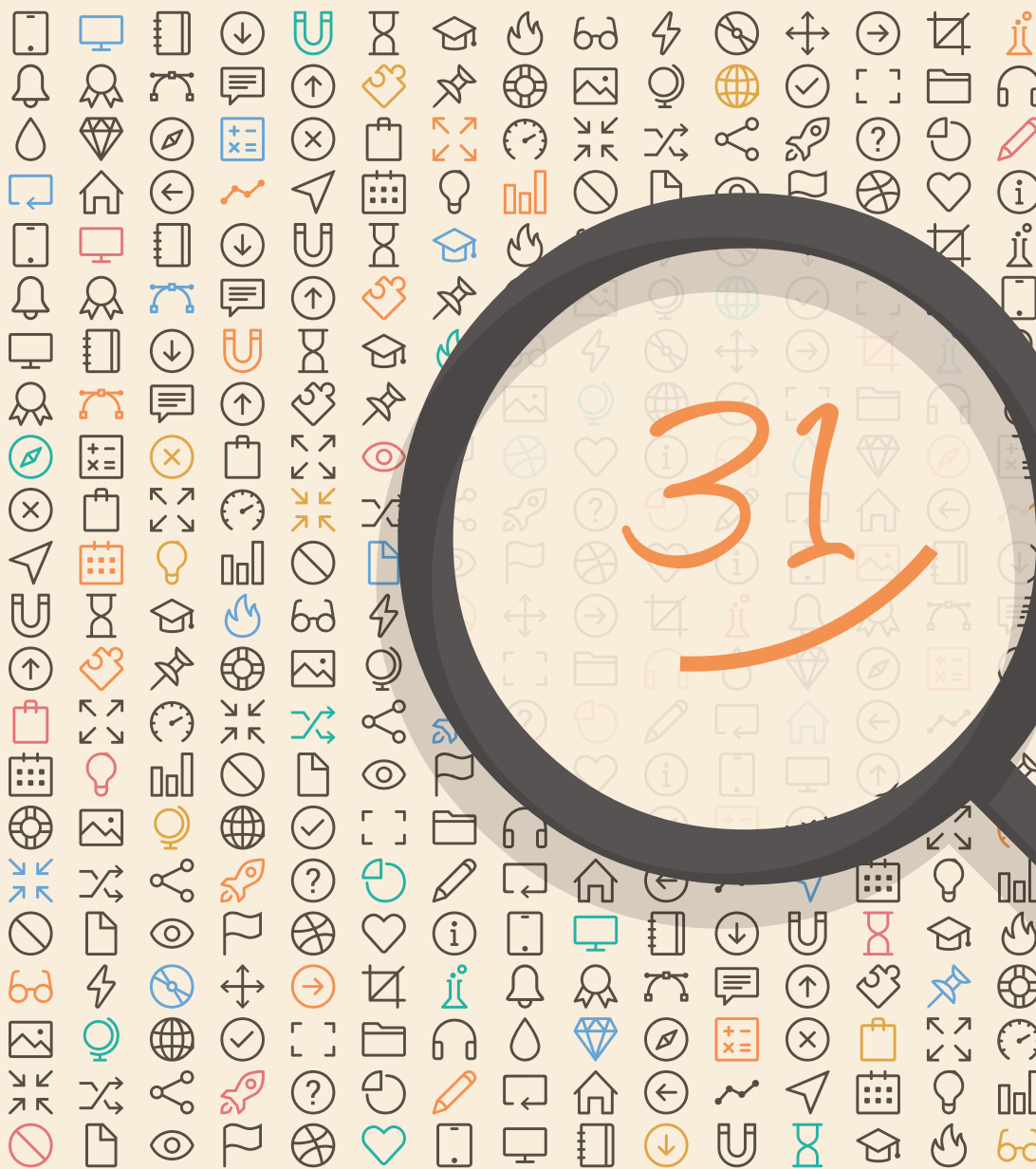


# ACTAS DEL **31º CONGRESO** **DE JÓVENES INVESTIGADORES**

CEULAJ, MOLLINA (MÁLAGA), 17-20 DE JUNIO DE 2019



## *Actas 31º Certamen Jóvenes Investigadores*

### **Directora General del Instituto de la Juventud**

Ruth Carrasco Ruiz

### **Secretario General de Universidades**

José Manuel Pingarrón Carrazón

### **Director Científico del Certamen**

Jesús F. Jordá Pardo

### **Coordinadoras de la publicación**

María Fernanda Martín Nieto

Adela Ibarra Sierra

### **Diseño gráfico y maquetación**

Elsa Paricio

### **Textos**

Autores de los proyectos seleccionados

© de los textos e imágenes, sus autores

### **Edita**

INJUVE (Instituto de la Juventud)

C/ Marqués del Riscal, 16, Madrid

[www.INJUVE.es](http://www.INJUVE.es)

### **Catálogo General de Publicaciones Oficiales**

<https://publicacionesoficiales.boe.es>

NIPO: 130-21-001-3

Madrid, 2021

# ÍNDICE

---

- 06 - Prólogo

- 08 - Presentación del Certamen

## - 15 - CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS

16 Tras la etiqueta

28 Los verdaderos dueños de nuestra información

39 Leyes electorales: Pequeños cambios matemáticos, grandes cambios sociales. Análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados obtenidos por el cambio de ley electoral en las elecciones de 2008 y 2016

50 Proyecto P.A.D.I.: "Prehistoria abierta, diversa e inclusiva". La evolución humana como punto de partida para conocerse a sí mismo y a nuestra sociedad

62 ¿Cuál es el impacto de la medicina alternativa en Cádiz?

## - 76 - ARTES Y HUMANIDADES

78 Con la muerte en los talones. Crónica de una fuga y dos guerras

90 Reflexión sobre la perspectiva utilitarista de P. Singer en torno al infanticidio  
¿Es justificable éticamente el infanticidio?

103 Verdad y libertad en George Orwell

115 Entre el pasado y el futuro: acercamiento virtual a la villa romana Los Villaricos

125 Causas de la intervención estadounidense en la crisis del Congo: una revisión historiográfica

137 Literatura leída mayoritariamente por mujeres en la actualidad. La novela erótico-romántica.

159 Palos de telégrafo de Lleida a Almería. Vida y obra de Celia Viñas

161 Medea en la literatura: variaciones sobre un mito. Desde la Antigüedad hasta el siglo XXI: Eurípides, Séneca, Anouilh y López Mondéjar

173 Enterramientos en decúbito prono de la iglesia de San Nicolás en Tudela (Navarra)

# ÍNDICE

---

## - 184 - CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA VIDA

- 186 O da la miúda: distribución, etología y fenología del lobo ibérico (*Canis lupus signatus*) en las proximidades del centro
- 199 Efectos del herbicida glifosato a bajas concentraciones: alteraciones en oenocitos y ovarios de *Drosophila melanogaster*
- 210 Estudio del gen SISKOR en plantas de tomate mediante edición génica (CRISPR-Cas9) y herramientas bioinformáticas
- 223 Evaluación de los niveles de vitamina D en población anciana de Lorca (Murcia)
- 232 Armónicos Hipoacústicos. De la genética de la sordera a la música
- 245 Posibles aplicaciones del óxido de grafeno para mejorar las complicaciones de los accesos venosos
- 254 El mejillón cebra, *Dreissena polymorpha*. Biología y modelización de la distribución por las aguas continentales de Cataluña
- 268 Análisis de las propiedades bactericidas de la plata
- 282 CRISPR-Cas9 y el Déficit de Merosina: el camino hacia la cura
- 294 Biomecánica aplicada a la natación: salida y viraje

## - 308 - TECNOLOGÍAS E INGENIERÍAS

- 310 Prueba de concepto sobre la construcción de prótesis accesibles
- 322 Sea energy project: la revolución de las olas
- 335 Factorización cuántica del número 15
- 344 Comunicación inalámbrica mediante luz visible: Implementación con Arduino UNO



# ÍNDICE

---

- 356 Valorización de los residuos de marisco. Síntesis de nanopartículas de quitosano con efecto antimicrobiano
- 370 Baby Safety: Desarrollo de sistemas para la prevención de la muerte súbita del lactante
- 382 12 Terrones y 4 cafés
- 395 Diseño y construcción de un túnel aerodinámico para la visualización del flujo alrededor de objetos y la comparación de estos con dinámica de fluidos computacional
- 405 Generating success – ecomochila
- 414 Esferificaciones de lactasa como tratamiento para la intolerancia a la lactosa: Efectividad de la lactasa inmovilizada sobre dos variables: concentración de alginato de sodio y tiempo transcurrido

## - 427 - CIENCIAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MATEMÁTICAS

- 429 Levitación acústica
- 440 Construcción de un detector de muones cósmicos
- 450 Cálculo del mínimo número de cuadrados que teselan un rectángulo de lados enteros
- 465 Estudio espectrofotométrico de fuentes de luz artificiales y de la luz solar
- 476 ¿En qué medida la geometría de los imanes y la separación entre ellos afecta a la velocidad de salida de un acelerador magnético (cañón de Gauss)?
- 493 Estudio del tratamiento tradicional del caqui “rojo brillante”: ¿Cuál es la relación entre la graduación del alcohol utilizado para el tratamiento y el tiempo requerido para eliminar la astringencia?



## PRÓLOGO

Mediante la Orden de 19 de octubre de 1987 publicada en Boletín Oficial del Estado núm. 254 de 23 de octubre, el Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno convocó en España el primer Certamen Jóvenes Investigadores para dar respuesta a la decisión de la Comisión Europea de convocar en el año 1989 el primer European Union Contest for Young Scientists, certamen continuador del Philips Contest que se había celebrado entre 1968 y 1988.

Así nació el Certamen de Jóvenes Investigadores, con el propósito de despertar la vocación investigadora de nuestros jóvenes, enfrentándoles a un triple reto: explorar su entorno en busca de nuevos enigmas, documentarse sobre el tema escogido, y proponer y demostrar, empíricamente una solución para su problema. Un desafío que demandaba curiosidad, imaginación y trabajo en equipo.

Muchos docentes acogieron la idea y animaron a sus pupilos a formar grupos de investigación. El resultado ha sido una extraordinaria compilación de trabajos sobre las más diversas disciplinas científicas. Sumergirse en la dinámica de la investigación supuso, para sus autores, una experiencia vital transformadora. El trabajo científico les ha demandado iniciativa y espíritu emprendedor, trabajo en equipo y coordinación de tareas, búsqueda crítica de información, redacción y comunicación pública y reflexión sobre el proceso legítimo de construcción y verificación del conocimiento.

Desde entonces hasta el día de hoy se han convocado y llevado a la práctica 31 certámenes de jóvenes investigadores.

El proyecto consta de un Certamen y un Congreso. El primero es una fase selectiva, en la que expertos designados por la Secretaría General de Universidades y el Instituto de la Juventud, evalúan los proyectos presentados relativos a cinco áreas de conocimiento: Ciencias de la Tierra y de la Vida; Ciencias Físicas, Químicas y Matemáticas; Ciencias Sociales y Jurídicas; Tecnologías e Ingenierías; y Artes y Humanidades.

Entre los trabajos presentados, procedentes de toda España, el Jurado, compuesto por diez especialistas, selecciona un máximo de 40. Posteriormente, en el Congreso, organizado por el Instituto de la Juventud (Injuve) y celebrado en el Centro Eurolatinoamericano de Juventud (CEULAJ) de Mollina, en Málaga, estos trabajos son presentados y defendidos públicamente por sus autores ante el Jurado y el resto de jóvenes investigadores participantes en el Congreso. En la 31ª edición del Certamen Jóvenes Investigadores el Congreso tuvo lugar entre los días 17 y 20 de junio de 2019.



Es de destacar la capacidad de transmisión del conocimiento que tienen los jóvenes investigadores durante la presentación de sus trabajos en el Congreso, a lo que se une el aplomo durante la exposición oral, la capacidad de respuesta a las preguntas y cuestiones, en ocasiones complicadas, que les plantean los miembros del jurado, y la adaptación a las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación.

Los chicos y chicas que han pasado por el 31º Congreso nos han ilusionado y maravillado con sus exposiciones, sus conclusiones y sobre todo con su ilusión y su vocación.

Este hecho está relacionado en gran medida con la existencia de los profesores tutores o coordinadores como figura obligatoria para poder presentar los trabajos, pues son ellos sin duda alguna los que realizan el primer filtro en el proceso de evaluación de la calidad de los proyectos que se presentan al Certamen. Sin la implicación personal y el trabajo continuo a lo largo del curso académico de los tutores o coordinadores los trabajos que se presentan no alcanzarían la calidad que tienen actualmente.

Esta trigésimo primera convocatoria se rigió por lo establecido en la Resolución de 2 de abril de 2019 de la Secretaría de Estado de Universidades, Investigación, Desarrollo e Innovación, por la que se convocan los premios del XXXI Certamen “Jóvenes Investigadores”.

En esta edición del Certamen las inscripciones fueron 312, con un total de 417 estudiantes, cuyo desglose por sexo fue de 224 mujeres y 193 hombres procedentes de 15 comunidades autónomas, y al Congreso asistieron 59 estudiantes (34 mujeres y 25 hombres) de casi todos los puntos de España.

El libro que el lector tiene entre las manos recoge los resúmenes de los cuarenta trabajos de investigación presentados en el 31 Congreso Jóvenes Investigadores, que corresponden a las áreas de conocimiento agrupadas en Ciencias de la Tierra y de la Vida, Ciencias Físicas, Químicas y Matemáticas, Ciencias Sociales y Jurídicas, Tecnologías e Ingenierías y Artes y Humanidades. Todos ellos son una buena muestra de la calidad de las investigaciones que realizan los jóvenes estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato o Formación Profesional en los institutos y colegios españoles. Esperamos que su lectura sea un aliciente para otros jóvenes estudiantes y un revulsivo para las autoridades educativas de las diferentes comunidades autónomas que permita impulsar la investigación en esas etapas de la formación anterior a la universidad.





## JESÚS F. JORDÁ PARDO

DIRECTOR CIENTÍFICO DEL XXXI CERTAMEN JÓVENES INVESTIGADORES

¡Siempre nos quedará Mollina!<sup>1</sup>

Como en ocasiones anteriores, me veo por decimosexta vez en la obligación de hacer balance del Congreso de Jóvenes Investigadores con el que ha concluido el trigésimo primer Certamen Jóvenes Investigadores, que, una vez más, se ha vuelto a desarrollar con éxito en el Centro Eurolatino-Americano de la Juventud de Mollina, en esta ocasión durante el mes de junio de 2019, después de sortear con éxito los obstáculos burocráticos de la ciertamente lenta administración española.

Durante estos días en los que el salón de actos del CEULAJ y su vestíbulo se han convertido en un foro de información y debate científico donde sesenta investigadoras e investigadores jóvenes habéis expuesto y defendido con pasión, soltura y rigor los proyectos científicos que habéis desarrollado con tenacidad, solvencia y buen hacer, después de haber estado investigando con tesón y con el apoyo y estímulo de vuestras profesoras y profesores durante todo este curso académico que ahora termina.

En estos tres frenéticos días, de sesiones apretadas, nervios a flor de piel y noches de insomnio, encerrados aquí, en el CEULAJ de Mollina, hemos viajado “entre el pasado y el futuro” en un “acercamiento virtual a la villa romana los Villaricos” para, posteriormente, acompañar a Miguel Quintillá Zanuy “con la muerte en los talones” en “una fuga y dos guerras”, el cual nos condujo a la costa de Granada, desde donde llegamos a Almería para conocer la “vida y obra de Celia Viñas” que nos indujo a desplazarnos hasta Lleida siguiendo los “palos de telégrafo” en sentido inverso a la autora, desde donde nos acercamos a la Cataluña de “George Orwell” para debatir sobre la presencia de “verdad y libertad” en su obra *1984*, en la que predijo quienes serían “los verdaderos dueños de nuestra información”, y reflexionar sobre las “causas de la intervención estadounidense en la Crisis del Congo”, a la vez que estudiábamos la “biología

---

1 “Siempre nos quedará Mollina” es la frase, inspirada en el final de la película *Casablanca*, acuñada por el profesor Manel Montoliu Bargalló del Col·legi Bell-lloc de Girona, tutor de numerosos trabajos de investigación presentados en el Congreso de Jóvenes Investigadores por sus estudiantes, para expresar la gran experiencia y el enriquecimiento personal que supone el haber participado en los congresos de jóvenes investigadores celebrados en Mollina, frase que suscribo y tomo prestada para titular las palabras que pronuncié en el acto de clausura del XXXI Congreso Jóvenes Investigadores 2019 con las que me despedí del Certamen como Director Científico.



y la distribución por las aguas continentales de Cataluña del mejillón cebrá, *Dreissena polymorpha*”.

Un alto en el camino nos permitió detenernos a tomar una ración de “tomates” cuyo “gen SLSKOR” habíamos modificado “mediante edición génica (CRISPR-Cas9) y herramientas bioinformáticas”, que acompañamos con un postre a base de “caqui rojo brillante” cuya astringencia habíamos modificado calculando “la relación entre la graduación del alcohol utilizado y el tiempo requerido para eliminarla”, para finalizar la ingesta con un gran vaso de leche, por supuesto asturiana, tratada mediante “esferificaciones de lactasa como tratamiento para la intolerancia a la lactosa”, a la que añadimos “12 terrones y 4 cafés”, todo ello ingerido en el marco de un entorno mediterráneo cuya insolación no permitía mantener adecuadamente “los niveles de vitamina D en la población anciana en Lorca (Murcia)”, déficit contra el cual nada podía hacer “la medicina alternativa de Cádiz” al igual que con “el déficit de Merosina” cuyo “camino hacia la cura” empezamos a vislumbrar, de nuevo utilizando la edición génica del ya conocido “CRISPR Cas9” que no es otra cosa que repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas.

De regreso al CEULAJ, cuyos pavimentos embaldosados habíamos remodelado mediante el “cálculo del mínimo número de cuadrados que teselan un rectángulo de lados enteros” y la “factorización cuántica del número 15”, nos fuimos a la piscina, donde nos sumergimos siguiendo las pautas de la “biomecánica aplicada a la natación” para mejorar nuestra “salida y viraje”, y, a continuación, nos secamos tomando el sol, cuya radiación analizamos mediante un “estudio espectrofotométrico de fuentes de luz artificiales y de la luz solar” que aprovechamos para la “construcción de un detector de muones cósmicos”.

De ahí pasamos a la biblioteca del centro, cuyas estanterías estaban llenas de “novelas erótico-románticas” “leídas mayoritariamente por mujeres en la actualidad” así como por las “variaciones sobre el mito de Medea en la literatura desde la Antigüedad hasta el siglo XXI”, mito que nos llevó de vuelta al pasado para estudiar “la evolución humana como punto de partida para conocerse a sí mismo y a nuestra sociedad” mediante el “proyecto P.A.D.I. (Prehistoria abierta, diversa e inclusiva)” que aplicamos a los huesos recuperados en los “enterramientos en decúbito prono de la iglesia de San Nicolás en Tudela”, en cuyo espacio desacralizado sometimos a debate las “Leyes electorales” para producir con “pequeños cambios matemáticos, grandes cambios sociales” que nos permitieran legislar sobre qué hay “tras la etiqueta”.

Tras recobrar fuerzas usamos como transporte “un acelerador magnético” cuya “velocidad de salida” habíamos mejorado “mediante la variación de la geome-



tría de los imanes y la separación entre ellos”, “cañón de Gauss” alimentado por la energía generada por “la revolución de las olas” que actuaban sobre la boya del “Sea Energy Project”, que nos llevó hasta los alrededores de Mondoñedo para estudiar la “distribución, etología y fenología de «O da la miúda», el lobo ibérico (*Canis lupus signatus*)”, donde nos arañamos con las zarzas del camuflaje de nuestras cámaras de fototrampeo, heridas que curamos utilizando un apósito de “nanopartículas de quitosano con efecto antimicrobiano” obtenido a partir de la “valorización de los residuos de marisco”, naturalmente gallego, reforzado por “las propiedades bactericidas de la plata” que introdujimos a través de un “acceso venoso” realizado con “óxido de grafeno”, zarzas que, por fortuna, no habían sufrido los “efectos del herbicida Glifosato a bajas concentraciones” y por tanto los “oocitos y ovarios de *Drosophila melanogaster*” estaban intactos.

Después de reflexionar sobre “la perspectiva utilitarista de P. Singer en torno al infanticidio” decidimos desarrollar “Baby Safety”, un conjunto de “sistemas para la prevención de la muerte súbita del lactante”, el cual, cuando crezca, podrá utilizar la “Ecomochila Generating Success” que proporcionará energía a la batería de su “prótesis accesible” controlada por una placa Arduino, naturalmente, mano con la que, incluso, podría interpretar al piano la obra génico-musical “Armónicos Hipoacústicos”, que transmitimos de forma segura mediante “comunicación inalámbrica mediante luz visible implementada con Arduino uno” a los ocupantes de un coche introducido en un “túnel aerodinámico para la visualización del flujo alrededor de objetos y la comparación de estos con dinámica de fluidos computacional”, tras cuya escucha, entramos en “levitación acústica”.

Como dije al principio, esta es la decimosexta vez en la que me encuentro hablando ante vosotras y vosotros, momentos antes de la entrega de los premios, y, quiero deciros que, además, será la última vez que me encuentre en esta agradable tesitura. Creo que, a menos de un año de cumplir los sesenta, me toca ya dejar la dirección científica de un certamen que se llama Jóvenes Investigadores, pues, si en el año 2003, cuando asumí esta responsabilidad, todavía podía considerarme joven, en esta fecha en la que mi barba ya peina canas, creo que es el momento adecuado para dejar que esta apasionante tarea la asuma una investigadora o un investigador menos madurito, cuya edad no rechine tanto con el nombre del certamen.

Después de estos dieciséis años al frente de la dirección científica del certamen he visto cambiar los nombres de los ministerios convocantes varias veces, he contado con la confianza de distintos directores generales del INJUVE y de varios responsables de la gestión de las universidades españolas, ya fueran direc-



tores o secretarios generales, y he trabajado mano a mano con diferentes subdirectores generales de formación y movilidad del profesorado universitario, con diferentes presidentes y vicepresidentes del CSIC y con más de una veintena de miembros del jurado. En estos dieciséis años he contado con la colaboración inestimable de más de un centenar de evaluadores, especialistas en las distintas disciplinas científicas, responsables de la valoración de vuestros trabajos, a muchos de los cuales nunca he conocido en persona, pero que me han transmitido de manera clara sus positivas impresiones sobre vuestros trabajos, y, sobre todo, he tenido el apoyo incondicional de las funcionarias y funcionarios de los dos organismos convocantes y de un equipo de personas de mi total confianza que me han ayudado en las labores organizativas del certamen. También, en estos años, he podido disfrutar de los conocimientos de más de una veintena de investigadores de alto nivel que nos han ilustrado con sus charlas de clausura o inauguración.

Pero, sobre todo, he contado con lo mejor que un director científico de un certamen de jóvenes investigadores puede encontrarse: vuestra participación en el certamen, que se resume en casi seis mil investigadoras e investigadores jóvenes que a lo largo de estos dieciséis años han presentado cerca de tres mil quinientos trabajos de investigación, jóvenes que forman parte de esa juventud española que no sale en los periódicos ni en los telediarios, pero que, sin duda alguna, es el sustento de la sociedad en la que queremos vivir, puesto que es una juventud que trabaja con honradez, pasión y amplitud de miras, sin miedo a la adversidad, a lo diferente ni a las dificultades, como bien habéis demostrado a lo largo de estos tres días.

Además, el Congreso de Jóvenes Investigadores me ha permitido conocer en persona a más de mil cien jóvenes que los diferentes jurados consideraron los más destacados entre los seis mil presentados; mil cien jóvenes de todos los lugares de España que han demostrado su valía no solo en el certamen sino también fuera de él, pues ya son maestras, químicas, médicos, abogadas, biólogos, arquitectas, ingenieros, físicos, historiadores o profesionales de otras muchas especialidades; muchos ya se han doctorado con éxito en nuestras universidades y en las más prestigiosas de Europa y América, y ejercen su profesión y magisterio tanto en nuestro país como fuera de él. Ellas y ellos, en este mismo salón, presentaron y defendieron con pasión, aplomo, solvencia y rigor científico seiscientos ochenta trabajos de investigación que fueron tutorizados por más de quinientos docentes, lo más granado de la enseñanza preuniversitaria española, los cuales han imbuido a sus estudiantes la pasión por la ciencia, por la investigación, por hacer bien las cosas y, sobre todo y más importante, la necesidad de ser buenas personas y ciudadanas y ciudadanos ejemplares.





Todas ellas y todos ellos, tanto los jóvenes como los adultos, me han enseñado, a lo largo de estos dieciséis maravillosos años, muchas cosas que, como simple geólogo que soy, desconocía, como, por poner un único y paradigmático ejemplo, “la estructura y la mecánica in vivo de las células ostiolares y la válvula aórtica del corazón de la larva de *Drosophila melanogaster* mediante el análisis de imágenes microscópicas de alta resolución”, pero, sobre todo, me han ofrecido su amistad sincera e incondicional, que es el bien más preciado que puedo llevarme de este certamen.

Tras estos dieciséis maravillosos años puedo decir, al igual que el protagonista de la novela de Philip K. Dick publicada en 1968 *¿Sueñan los androides con ovejas eléctricas?*, dice en la famosa película de Ridley Scott de 1982 titulada *Blade Runner*: “Yo he visto cosas que vosotros no creeríais”. Todas estas cosas “no se perderán en el tiempo como lágrimas en la lluvia” pues me acompañarán para siempre allá donde yo esté. Como dijo la profesora María Rosario García-Echave, del IES Rosalía de Castro de Santiago de Compostela, en el congreso del año 2009 a la joven investigadora Nassira El Hadri El Yousfi, ahora flamante abogada en Toronto: “cuando, dentro de unos años os encontréis en la cima de vuestras carreras profesionales podremos decir con orgullo que tuvimos la inmensa suerte de conoceros y pasar unos inolvidables días en Mollina en vuestra compañía”.

Queridas investigadoras, queridos investigadores, para finalizar mi intervención quiero recordaros las palabras que Sara Vima Grau, participante en el congreso de 2008 y ganadora de un segundo premio en el European Union Contest for Young Scientists de París (2009), escribió para el libro conmemorativo de los 25 años del certamen y que en estas líneas hago mías: “El legado de estos encuentros consiste en habernos impregnado de valores académicos y personales fundamentales en los tiempos que vivimos: importancia de la originalidad, pasión por el conocimiento, humildad e interés por el trabajo de los compañeros, interdisciplinaridad para enriquecer la propia especialidad...”, “... lo que más agradezco al Certamen de Jóvenes Investigadores es haberme acercado a personas brillantes a las que hoy puedo llamar amigos, y que son el mejor premio que uno puede llevarse a casa, un premio que ganamos entre todos.”

Ya solo me queda desearos lo mejor y deciros ¡hasta luego! con las palabras con las que los caballeros jedai despiden a sus aprendices o padawans cuando inician una nueva misión, versionadas a mi modo: ¡qué la ciencia os acompañe!

Mollina 20 de junio de 2019.

Jesús F. Jordá Pardo  
 Director Científico del XXXI Certamen Jóvenes Investigadores

the 1990s, the number of people with diabetes has increased in all industrialized countries, and this increase is continuing (1).

Diabetes is a chronic disease, and the long-term consequences of diabetes are determined by the degree of glycaemic control. The most serious complications of diabetes are cardiovascular disease, nephropathy, retinopathy, and neuropathy. The prevalence of these complications is directly related to the duration and severity of the disease (2). The prevalence of cardiovascular disease is 2–3 times higher in people with diabetes than in people without diabetes (3). The prevalence of nephropathy is 10–20% in people with diabetes (4). The prevalence of retinopathy is 10–20% in people with diabetes (5). The prevalence of neuropathy is 10–20% in people with diabetes (6).

The most important risk factor for the development of these complications is the degree of glycaemic control (7).

The degree of glycaemic control is determined by the amount of insulin that is administered (8).

The amount of insulin that is administered is determined by the degree of insulin resistance (9).

The degree of insulin resistance is determined by the degree of obesity (10).

The degree of obesity is determined by the degree of physical inactivity (11).

The degree of physical inactivity is determined by the degree of sedentary behaviour (12).

The degree of sedentary behaviour is determined by the degree of television watching (13).

The degree of television watching is determined by the degree of television advertising (14).

The degree of television advertising is determined by the degree of television programming (15).

The degree of television programming is determined by the degree of television ownership (16).

The degree of television ownership is determined by the degree of television sales (17).

The degree of television sales is determined by the degree of television advertising (18).

The degree of television advertising is determined by the degree of television programming (19).

The degree of television programming is determined by the degree of television ownership (20).

The degree of television ownership is determined by the degree of television sales (21).

The degree of television sales is determined by the degree of television advertising (22).

The degree of television advertising is determined by the degree of television programming (23).

The degree of television programming is determined by the degree of television ownership (24).

The degree of television ownership is determined by the degree of television sales (25).

The degree of television sales is determined by the degree of television advertising (26).

The degree of television advertising is determined by the degree of television programming (27).

The degree of television programming is determined by the degree of television ownership (28).



# CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS

---

## PRIMER PREMIO |

- 16 - **Tras la etiqueta**  
CRISTINA GARCÍA ARENAS

## SEGUNDO PREMIO |

- 28 - **Los verdaderos dueños de nuestra información**  
MARINA DE LA FUENTE GARCÍA
- 39 - **Leyes electorales: Pequeños cambios matemáticos, grandes cambios sociales. Análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados obtenidos por el cambio de ley electoral en las elecciones de 2008 y 2016**  
GUILLERMO CARRILLO MARTÍN

## PREMIO ESPECIAL FUNDACIÓN ONCE |

- 50 - **Proyecto P.A.D.I.: "Prehistoria abierta, diversa e inclusiva". La evolución humana como punto de partida para conocerse a sí mismo y a nuestra sociedad**  
NEREA DURÁN CALVO Y EMMA COBAS MÁRQUEZ

## ACCESIT |

- 62 - **¿Cuál es el impacto de la medicina alternativa en Cádiz?**  
DANIEL JOSÉ GARCÍA GARCÍA, ANDREA GARCÍA MANCILLA Y NURIA PÉREZ LÓPEZ



## Tras la etiqueta

---

/ PRIMER PREMIO

**AUTORA** | CRISTINA GARCÍA ARENAS

**COORDINADOR** | ANTONIO LOZANO MONREAL

**CENTRO** | IES INFANTA ELENA

**CIUDAD** | JUMILLA-MURCIA

### RESUMEN |

Anualmente se gastan en Europa más de 350.000 millones de dólares en ropa y se venden alrededor de 80.000 prendas en el primer mundo. Sin embargo, casi la mayoría de esta producción se sitúa en países como Bangladesh o Taiwan; conocidos por tener los salarios más bajos del planeta. A raíz de ello, cada día son más frecuentes en los medios escándalos en dichas fábricas textiles que atentan contra los Derechos Humanos e incriminan a las marcas más populares del mercado.

Este proyecto consta de dos objetivos principales, en el primero estudiaremos cómo declaran las grandes marcas que mejorarán las condiciones, y sobre todo cómo lo ponen en práctica; y en segundo lugar, nos centraremos en el consumidor para averiguar hasta qué punto apoyan esta situación (consciente o inconscientemente). Para estos objetivos se llevaron a cabo diferentes metodologías: por un lado realizamos una extensiva búsqueda de datos entre marcas, ONGs, sindicatos, etc. A partir de ahí creamos unos estándares (primarios y secundarios) para evaluar por separado en cada compañía las condiciones salariales, actores sociales, etc. Por otro lado, referente a consumidores, se diseñó una encuesta, cuyos datos se analizaron después estadísticamente. Las conclusiones obtenidas no fueron nada comparado con lo esperado inicialmente. Más del 80% de personas que trabajan en estas fábricas textiles son mujeres, por lo que a lo largo del trabajo se hará alusión a trabajadoras, entendiendo que la presencia de hombres es minoritaria.

“El aleteo de las alas una mariposa puede crear un Tsunami al otro lado del mundo” ¿qué impulsa este aleteo?



## ABSTRACT |

Currently, clothing manufacture more than 350.000 million of dollars in Europe and near 80.000 garments are sold in the First World. Nevertheless, the huge majority of this production is placed in countries like Bangladesh or Taiwan, renowned for having the lowest wages on hearth. Lately, the media has been publishing several scandals in textile factories, not only attempting against the Human Rights, but also incriminating the most popular fashion brands.

This project has two main objectives, the first one focus on how big brands state they will improve the conditions, and especially, evaluate how they put it into practice. Secondly, we investigated about consumers to focus on how they support that situation (consciously or unconsciously). To reach it, we used two different methodologies: on the one hand, we researched brands, ONGs, trade unions, etc. Then, we created standards to evaluate how brands brands were dealing with wages, CC, etc.. On the other hand, for studying consumers, we designed a survey which results were later statistically analysed. Final conclusions were completely different from initial expectations. More than 80% of the people who work in these factories are women, so we will be talking about employees (female), understanding that the presence of men is minority.

"The fluttering wings of a butterfly can create a Tsunami on the other side of the world" what drives this flutter?



## OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Este proyecto se divide en dos objetivos principales diferentes. En primer lugar, en lo referente a grandes **cadena de distribución** (conjunto de marcas), el objetivo es conocer los métodos de corrección y estrategias planteadas para mejorar las condiciones laborales. Secundariamente, nos también nos interesamos por cómo han puesto en práctica sus compromisos, qué resultados están teniendo y si estos resultados son coherentes con lo que declaran públicamente.

En segundo lugar, en relación a los **consumidores**, el principal objetivo consistirá en averiguar hasta qué punto son conscientes de la situación. Los objetivos secundarios de esta sección se centrarán en si los usuarios conocen otras alternativas (como el Comercio Justo), si su opinión es coherente con sus acciones y qué marcas son las más populares entre ellos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se divide en dos bloques (para los que se ha diseñado y llevado a cabo métodos de investigación diferentes): uno de ellos atiende a los objetivos referentes a las **cadena de distribución**, y el otro bloque a los **consumidores**.

En primer lugar, en la metodología seguida con las **compañías** se realizó un estudio del mercado textil y se seleccionaron 5 de las cadenas de distribución textiles “low cost” de mayor influencia (sin tener en cuenta el ámbito deportivo, ni textil de lujo, etc. sino la ropa que los usuarios suelen adquirir para el día a día). Estas fueron Inditex, Mango, H&M, C&A y Primark.

Posteriormente, se realizó una extensa búsqueda sobre cómo aborda cada una de estas cadenas cuestiones relativas a los salarios, jornadas laborales, actores sociales, etc. Los datos fueron extraídos principalmente, de las propias marcas, de fuentes públicas y de la Campaña Ropa Limpia (SETEM) que lleva a cabo investigaciones y proyectos sobre los derechos de las trabajadoras proveedoras. Toda la información proveniente de las propias compañías o organizaciones terceras ha tratado de ser contrastada y verificada con otras fuentes ajenas a estas, desechando de esta investigación todos aquellos datos que no han podido ser contrastados.

Para poder comparar las cadenas entre sí, evaluar la veracidad y efectividad de sus compromisos y seleccionar los datos que nos interesaban (sobre sus Códigos de Conducta, la transparencia, su postura respecto a los salarios, es decir, los aspectos ya mencionados objeto de la investigación), se confeccionaron manualmente una serie de estándares principales que se dividen en:

- **Qué establece el Código de Conducta.** Este estándar se centra lo que se dicta en el CC, en qué pretende cambiar la empresa o qué planes expone para mejorar la situación laboral en sus fábricas proveedoras. Se considera que pagar a las tra-



bajadoras un salario que como mínimo se corresponda con el salario necesario para vivir dignamente en el país propio es una de las mejores formas en que la empresa puede mostrar su compromiso con los derechos laborales. Por ello se ha decidido centrar esta parte, entre otros aspectos, en lo referente a los salarios mínimo y digno.

- **Estrategia para implantar el CC.** Aquí se exponen los aspectos estudiados para averiguar cómo han sido o está siendo implantado el Código de Conducta, es decir, las estrategias que han diseñado las cadenas de distribución para ponerlo en práctica. Así como la efectividad y coherencia con la que se están llevando a cabo estas estrategias, de acuerdo con la ONU y los Derechos Laborales reconocidos internacionalmente. Además se hace hincapié en la libertad de asociación, puesto que es un derecho fundamental que permite a las trabajadoras manifestar su descontento con las condiciones establecidas.

- **Actores sociales a los que pertenece.** Este es un punto trascendental dado que la implicación de la empresa con actores sociales permite que en el CC puedan influir sindicatos u otras organizaciones.

- **Transparencia.** Este aspecto refuerza la credibilidad de los compromisos y facilita la verificación de información, en este estándar sólo se tratará la transparencia con la que exponen al público sus Códigos de Conducta, proveedores, subcontrataciones, etc.

Lo que se establece en los estándares fijados puede verse como una evaluación del trabajo realizado por mejorar la situación actual. Los resultados obtenidos referentes a cada uno de estos cuatro estándares principales han sido clasificados en tablas comparativas según los estándares secundarios establecidos. Estas tablas se muestran a continuación en el apartado de resultados con su posterior discusión.

- En segundo lugar, para la metodología seguida con los **consumidores** se elaboró una encuesta online con la herramienta “Google Forms” y se eligió como técnica de muestreo la “Bola de Nieve”, para que el cuestionario llegase al máximo número de personas posible. Se eligió esta técnica muestral por las numerosas ventajas que presenta, como son la rapidez y veracidad con la que obtener un elevado número de respuestas. Sin embargo también presenta inconvenientes, como la posibilidad de caer en un sesgo. Para evitarlo, se pidió a los encuestados que enviaran el link a aquellos que creían que responderían de manera diferente a ellos, a fin de evitar sesgos. Antes de lanzarla, se realizó la encuesta a un grupo de control de 24 personas para ser validada.

En dicho formulario había preguntas sobre opinión, conceptos del sector (como qué es la deslocalización industrial y las cadenas de distribución) y sobre alternativas de Comercio Justo. Debido al extenso número de respuestas posteriormente se realizaron tablas y gráficos con Excell. Las preguntas fueron diseñadas de forma que después se pudieran cruzar y realizar así un análisis estadístico más extenso. Para hacerlo creamos una base de datos con el programa *IMB SPSS Statistics 24*. Esta herramienta nos permitió confeccionar tablas



cruzadas que nos proporcionaron nuevos gráficos y porcentajes, los cuales se detallan en el siguiente apartado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las siguientes tablas se corresponden con breves extractos de los resultados obtenidos al aplicar los estándares principales y secundarios a cada **cadena de distribución** estudiada:

Tabla 01

Estándares sobre qué se establece en el Código de Conducta.

\*Los datos sobre estos hechos no han sido publicados o no han podido ser contrastado con fuentes de más veracidad, por tanto no se puede declarar que la respuesta es SI o NO.

	C&A	H&M	INDITEX	MANGO	PRIMARK
1.1 Se responsabiliza de implantar el código de conducta a lo largo de toda la cadena de producción (incluidas las subcontrataciones) a través de los contratos	SI	SI	SI	SI	SI
1.2 Exige estrictamente que las relaciones laborales entre proveedores y empleadas se formalicen a través de contratos legales	NO	SI	SI	NO	*
1.3 Abarca medidas para hacer más efectiva la supervisión del cumplimiento de unas condiciones laborales favorables	SI	SI	SI	SI	SI
1.4 Declara que en caso de que existan ambigüedades entre las leyes internacionales y estándares locales, se tendrá en cuenta la condiciones que más favorezcan a la empleada	NO	NO	*	*	*
1.5 Declara que se compromete a pagar el salario mínimo establecido en cada país en el que se firme cualquier subcontratación	SI	SI	SI	SI	SI
1.6 Establece la obligación de pagar un salario digno necesario para subsistir en la región, independientemente de cuál sea el salario mínimo	NO	NO	NO	NO	NO
1.7 Menciona a la OIT y sus convenios fundamentales sobre el Salario Digno	NO	SI	NO	SI	NO





Tabla 02

Estándares sobre las estrategias para la implantación del Código de Conducta.

\*Los datos sobre estos hechos no han sido publicados o no han podido ser contrastado con fuentes de más veracidad, por tanto no se puede declarar que la respuesta es SI o NO.

	C&A	H&M	INDITEX	MANGO	PRIMARK
2.1 Incluye en sus contratos la obligación de que los proveedores y sus subcontratados deben cumplir el código de conducta	SI	SI	SI	SI	SI
2.3 Lleva a cabo la mayor parte de su producción en países donde la legislación no garantiza la libertad de asociación	SI	SI	SI	SI	SI
2.4 Establece un canal claro y rígido para recibir quejas y denuncias de sus trabajadoras, sobre todo en países donde la legislación no garantiza la libertad de asociación	NO	*	NO	NO	*
2.7 Desarrolla planes o estrategias para el cálculo e implementación del pago de un salario digno a sus trabajadoras	NO	NO	NO	NO	NO
2.9 Imparte formación sobre la debida diligencia de los derechos laborales a los directivos de sus fábricas proveedoras	NO	SI	SI	NO	SI
2.10 Involucración en conflictos públicos que implican vulneraciones de los Derechos Humanos hacia sus trabajadoras	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla 03

Estándares sobre la transparencia empresarial.

NP: significa que no hace públicos estos datos, pero los facilita a sindicatos y organizaciones en contra de la explotación laboral.

	C&A	H&M	INDITEX	MANGO	PRIMARK
4.3 Comparte un listado completo de los nombres de sus principales proveedores	NO	SI	NP	NP	NP
4.4 Comparte un listado completo de las subcontrataciones establecidas a partir de sus fábricas principales	NO	NO	NO	NO	NO



A continuación, la discusión de esta parte consistirá en clasificar los resultados de los estándares dentro de los diversos campos que son objeto de este estudio (Código de Conducta, jornadas laborales, actores sociales, transparencia, etc.), para obtener conclusiones directas posteriormente. Aquí se muestra una parte de este análisis:

En lo que respecta al **Código de Conducta** en sí:

- Según el estándar **1.1**: 5/5 cadenas estudiadas se responsabilizan de implantar el código de conducta a lo largo de toda la cadena de producción, por otro lado, según el **2.1**: 5/5 incluyen en sus contratos la obligación de que los proveedores contratados deben cumplir el CC. Sin embargo (véase en el estándar **1.2**), sólo 2/5 exigen que todas las relaciones se formalicen estrictamente a través de contratos legales.
- Por otra parte en el **2.2** queda reflejado que 3/5 planea emprender acciones para evaluar el impacto en la práctica de su CC. Además el 5/5 (estándar **1.3**) abarca medidas para hacer más efectiva la regulación, control y supervisión de las condiciones laborales. Como dice el **2.8**, en 3/5 cadenas el CC está traducido a los idiomas donde contratan fábricas, lo que facilita la comprensión de este. No obstante, como se ve en el **1.4**, en caso de ambigüedades entre las leyes internacionales y la legislación local, en ninguna empresas se hace prevalecer la ley que más favorezca a la trabajadora.

En lo referente a **salarios**:

- Como se establece en el estándar **1.5**, 5/5 cadenas se comprometen a pagar a sus empleadas el salario mínimo establecido en cada país en el que se implante. Pero (véase **1.7**) sólo 2/5 menciona a la OIT y sus convenios principales sobre el salario.
- Según los estándares **1.6** y **2.7**, respectivamente, ninguna de las multinacionales establece la obligación de pagar el salario digno necesario para subsistir en cada zona (independientemente de cuál sea el salario mínimo establecido); y tampoco desarrolla planes ni estrategias para el cálculo e implantación eficaz y pago de dicho salario.

Respecto a las condiciones de **libertad de asociación**: en el estándar **2.3** queda reflejado que 5/5 cadenas llevan a cabo la mayor parte de su producción en países donde la legislación no garantiza la libertad de asociación y negociación colectiva. Según los **2.4** y **2.5**, respectivamente, ninguna cadena establece un canal para recibir quejas y denuncias de las trabajadoras; y ninguna trabaja tampoco en medidas para fomentar la libertad de asociación y que las trabajadoras conozcan los sindicatos y sean libres de unirse a ellos, sobre todo en países donde la legislación no garantiza la libertad de asociación.

Queda reflejado en el **2.10** que 5/5 están involucradas en conflictos públicos que han sido dados a conocer en los medios de comunicación por escándalos que atentan contra los Derechos Humanos.



Sobre la **transparencia**: el estándar **4.1** refleja que todas exponen sus Códigos de conducta al público. Pero sólo 3/5 publican el resultado de sus auditorías e inspecciones (estándar **4.2**). En lo que respecta a los proveedores, 1/5 comparte un listado completo de cuáles son sus proveedores principales (véase en el **4.3**) y 0/5 publica las fábricas subcontratadas a partir de las principales (véase **4.4**).

Pasando a la metodología seguida con los **consumidores**, seguidamente se exponen los resultados obtenidos de la encuesta:

**Pregunta 1:** más del 90% de encuestados compra en una o más cadenas de las cadenas distribución estudiadas, siendo Inditex, H&M y Primark las 3 más consumidas.

**Pregunta 2:** alrededor del 50% de encuestados demostró conocer el significado de “deslocalización industrial” y en qué consiste.

**Pregunta 3:** se observa que a la hora de comprar los consumidores se preocupan más sobre si sacarán partido a la prenda o no, es decir, si la compra les será rentable o si están tirando el dinero. Por otro lado, la cuestión por la que los clientes mostraron menos inquietud fue: *¿Dónde y bajo qué condiciones habrá sido fabricado?*, siendo esta la única opción que alude directamente a las condiciones en las que se encuentran las trabajadoras textiles.

**Pregunta 4:** sobre el 50% de usuarios entiende qué es una “cadena de distribución textil” y en qué consiste.

**Pregunta 5:** casi el 40% de personas saben qué es el “Comercio Justo”

**Pregunta 6:** más del 65% de la población no ha comprado nunca una prenda de Comercio Justo, sólo un tercio lo ha hecho algunas vez.

**Pregunta 7:** más del 80% no conoce ninguna marca de Comercio Justo. De entre los que sí conocen alguna, sobresale con un 11% *Naturland*.

**Pregunta 8:** dado que esta pregunta no aporta datos relevantes para la extracción de conclusiones, se ha decidido anular y excluirla de las siguientes fases de esta investigación.

**Pregunta 9:** la mayoría (más del 90%) declara opinar que la falta de inspecciones puede ocasionar prácticas ilegales. Mientras, el 6,8% afirma no saber las consecuencias que puede traer consigo este tipo de situaciones y sólo un 1,7% está de acuerdo en que las inspecciones no son necesarias y cuánto más autónomo y libre de inspecciones sea un negocio, mejor funcionará.

**Pregunta 10:** de nuevo la mayoría (casi el 70%) piensa que la deslocalización puede dar pie a situaciones desfavorables para los trabajadoras de los países



productores. Por otro lado, el 23,3% declara no saber qué consecuencias puede traer la deslocalización y sólo una pequeña minoría está de acuerdo en que la deslocalización beneficia la economía de un país subdesarrollado.

**Pregunta 11:** otra vez la gran mayoría (más del 90%) piensa que las grandes firmas reciben un trato de favor en los medios de comunicación. Mientras, el 7,2% no sabe si a día de hoy se dan este tipo de situaciones o no y sólo un 0,7% (una parte de la población casi despreciable) piensa que apenas existe manipulación en los medios.

A continuación se muestra parte de discusión de resultados tras extraer nuevos datos estadísticos con el programa *IMB SPSS Statistics 24*:

- Al cruzar las preguntas 1, 2 y 3 se observa que alrededor del 50% de personas compran en cadenas de distribución que deslocalizan su producción, sabiendo lo que estos términos significan. Al cruzar estos porcentajes con la pregunta 10, la mayoría de estos usuarios ha calificado la deslocalización como algo desfavorable para el país productor (mayoritariamente un país subdesarrollado)

- En el cruce de las preguntas 1 y 6 se observa que el 90% de población consume productos de marcas “low cost” que han aparecido en titulares por haber atentado gravemente contra los derechos humanos. Mientras, sólo el 33,3% ha comprado alguna vez una prenda de Comercio Justo o similares.

- Al poner en común las preguntas 5, 6 y 7 se refleja la escasa popularidad del Comercio Justo: menos del 40% sabe qué es y en qué consiste, el 66,7% nunca ha comprado una prenda de Comercio Justo y el 81,1% no conoce ninguna marca. Por tanto sólo 28,96 % conoce y compra (o ha comprado alguna vez) prendas de Comercio Justo.

- De la tabla cruzada de las preguntas 9 y 10: una mayoría de población opina que la deslocalización es desfavorable para el país productor y tampoco está de acuerdo con lo que Amancio Ortega declara en los medios sobre las inspecciones y auditorías. Luego 66,55% de encuestados no está de acuerdo con las principales políticas de empresa por las que se rigen las cadenas de distribución en las cuales después compran.

## CONCLUSIONES

En el primer objetivo nos preguntábamos principalmente por la efectividad de los métodos de corrección que proponían las **cadenas de distribución** para mejorar las condiciones laborales. Estas son parte de las conclusiones:

1. El 100% de las principales cadenas de distribución textil se responsabiliza de que se implante el CC a lo largo de toda la cadena de distribución e incluye en sus contratos la obligación de cumplirlo. Sin embargo, sólo el 40% exige que todas las relaciones laborales (entre fábricas, trabajadoras, la marca, etc.) sean formalizadas mediante contratos legales. Con lo cual, en más de la mitad de casos sigue habiendo carencia



de medios para asegurar la implantación y cumplimiento del Código de Conducta.

2. Sólo el 60% ha emprendido acciones y estrategias para analizar y evaluar el impacto que tiene en la práctica las condiciones laborales establecidas en el Código de Conducta.

3. En caso de que existan ambigüedades entre las leyes internacionales y la legislación local de la zona de producción, ninguna cadena de distribución declara hacer prevalecer o tener en cuenta las condiciones que más favorezcan a las empleadas.

4. El 100% de cadenas se compromete a pagar el salario mínimo establecido en cada país en el que implante su producción, pero sólo el 40% hace referencia o menciona a la OIT y sus convenios fundamentales sobre el salario.

5. Ninguna afirma desarrollar estrategias para calcular el salario digno necesario para subsistir en la zona, ni garantiza que se pague esta cifra. Por tanto, el compromiso respecto a los salarios sigue siendo insuficiente para mejorar la situación de las trabajadoras.

6. El 100% de las cadenas más prestigiosas del mercado actual realiza su producción en países donde la legislación no garantiza ni reconoce como derecho fundamental la libertad de asociación. Tampoco establecen canales para recibir sugerencias, quejas o denuncias de las trabajadoras, sobre todo en países donde los sindicatos no están reconocidos de manera importante. Por consiguiente, aún quedan cambios por realizar para que se mejore el derecho de libertad de asociación que tienen las empleadas.

7. El 100% de las cadenas investigadas en este trabajo ha estado involucrada en conflictos públicos, difundidos en los medios de comunicación, por llevar a cabo prácticas que atentan contra los Derechos Humanos.

Por último, el segundo objetivo principal de esta investigación residía en las millones de personas que sustentan esta industria día a día: **los consumidores**. Parte de estas conclusiones fueron:

8. La cuestión que menos interesa al consumidor a la hora de comprar, sólo a un 20%, reside en las condiciones bajo las que habrá sido fabricado el producto y dónde. Por tanto, se deduce que la población muestra desinterés sobre las condiciones de producción y la mayoría no las tiene en cuenta a la hora de adquirir un producto.

9. La sociedad está poco informada sobre el Comercio Justo y sus ventajas, sólo casi el 40% sabe qué significa este término y 2/3 de la población no ha comprado nunca una prenda con un sello certificador de Comercio Justo.

10. Más del 80% de consumidores declara no conocer ninguna marca de Comercio Justo pero sí haber comprado en marcas asociadas a cadenas de distribución.

11. Alrededor del 70% de consumidores opina que algunas de las principales políticas de empresa por las que se rigen las cadenas de distribución textil más exitosas (deslocalización industrial y autonomía) son desfavorables para el país productor y no están de acuerdo con ellas. Sin embargo declaran haber comprado o comprar habitualmente en estos establecimientos.



## BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

Estas fueron parte de las fuentes consultadas:

- Amnistía Internacional. (2016). *En Tierra de Nadie*. Madrid.
- Comisión Europea. (5.7.2010). *Report from the Commission to the European Parliament, the council, the european economic and social Committee and the Committee of the Regions*. Bruselas.
- Coordinadora estatal de Comercio Justo. (2016). *Cuaderno de Comercio Justo*. Madrid.
- España, Ministerio de Empleo y Seguridad Social. (2017). Boletín Oficial del Estado. III Convenio Colectivo de Primark Tiendas, S.L.U. Madrid. Disponible en:  
<https://www.boe.es/boe/dias/2017/08/22/pdfs/BOE-A-2017-9949.pdf>
- H&M. (2016). *Annual Report 2016*. Suecia, Estocolmo.
- INDITEX. (2016). *Memoria Anual 2016*. A Coruña.
- International Trade Union Confederation. (2016). *ITUC Global Rights Index*. Europa.
- MANGO. (2016). *Sustainability Report 2016*. Barcelona: Palau-solità i Plegamans.
- Nicaise, G. (2004). *El Comercio Justo*. Trabajo Fin de Grado inédito en: Grado en Marketing y Comunicación Internacional. Escuela Superior de Marketing y Administración. España.
- San Millán Pérez, D. (2017). *La internacionalización como estrategia corporativa: Ralph Lauren vs Primark*. Trabajo de Fin de Grado inédito en: Grado en Economía. Universidad de León, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.





## Los verdaderos dueños de nuestra información

---

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTORA** | MARINA DE LA FUENTE GARCÍA

**COORDINADORA** | HELENA RUBIO FRANCO

**CENTRO** | IES PALAS ATENEA

**CIUDAD** | TORREJÓN DE ARDOZ- MADRID

### RESUMEN |

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación han irrumpido con fuerza en la sociedad del siglo XXI. En cuestión de años se ha multiplicado la cantidad de datos que se pueden recopilar y almacenar. El potencial de estos datos es enorme. Pero no se debe olvidar que se trata de información sobre personas reales, y que esta recopilación puede colocar su privacidad en entredicho. De hecho, en las vidas de hoy en día cada vez quedan menos secretos. Pero, ¿hasta qué punto hemos perdido nuestra privacidad, este bien tan preciado? Y, ¿cuán consciente es la sociedad de esta pérdida? Para averiguar la respuesta a estas preguntas, y con el objetivo añadido de analizar qué grupos de edad tienen una idea más acertada sobre la cuestión, se ha llevado a cabo una investigación teórica, además de un análisis de la situación a través de encuestas. Se ha averiguado que existe una falta de información sobre el valor de los datos y la pérdida de privacidad, que debería ser remediada a través de más medidas como el RGPD de la UE. Y sobre hasta qué punto llega esta pérdida de privacidad, la investigación revela que cualquier cosa que se desee saber sobre los usuarios es deducible a partir de sus datos.





## ABSTRACT |

Privacy, in the modern world, is becoming a word devoid of meaning. Our devices collect information from us every day- they know every place we go to, everything we do. But how aware are we of this practice? And, to what extent are we being observed? To answer these questions, research has been conducted in the form of polls to groups of different ages, to analyse the relationship each age group has with their data. The hypothesis was that most people, especially younger generations, would be somewhat aware of the problem, but that most of them would not do anything about it, assuming it is not serious enough. The findings are as follows: The youngest age group analysed is the most cautious when it comes to giving out their information, while also being the least aware of its value. The intermediate group is the most aware and careful of the three. Replies from the oldest age group show that, while being the most confident in their knowledge of their own privacy, they often underestimate the amount of information they give to apps. The overall conclusion that has been reached is that both misinformation and misconceptions about privacy are widespread in our society. More measures like the EU's GDPR should be taken to ensure this problem is fixed. As for our being observed, research shows that it is not an exaggeration to state that everything there is to know about us, is known or can easily be deduced from our data.



## CONCLUSIONES

El uso del teléfono inteligente se ha disparado: ha pasado en quince años de ser prácticamente desconocido a ser utilizado por más del noventa por ciento de la población. Entre los adolescentes es común utilizarlo durante más de seis horas diarias, casi el equivalente a una jornada de trabajo. Se ha descubierto que existe una edad, los diez o doce años, en la que la mayoría de los padres considera que sus hijos pueden tener un *Smartphone*.

A pesar de que hay una diferencia en el uso que se hace del móvil entre jóvenes y adultos, ya que estos últimos lo utilizan más como una herramienta, en todos los grupos de edad predomina el uso del *Smartphone* para relacionarse con otras personas a través de internet.

Se corrobora la hipótesis que dice que “existe un desconocimiento importante en cuanto a los riesgos en el uso de internet, redes sociales y apps, en lo que se refiere a la pérdida de control del individuo sobre su propia privacidad”. Sería conveniente añadir sin embargo una aclaración a la segunda parte de esta, en la que se dice “se piensa que este desconocimiento se da tanto en la población joven como en la adulta, y que los primeros, los más expuestos a estos riesgos por el mayor uso que hacen de internet y del móvil, son al mismo tiempo los que menos conocimiento tienen sobre la situación y los peligros que existen”. Es cierto que los más jóvenes son los que menos saben sobre el asunto, pero el grupo intermedio estaba casi a la par con los adultos en cuanto a su concienciación. Además, el hecho de que el grupo de 1º ESO sea el menos informado no implica que asuma más riesgos; al contrario, se ha comprobado que es el segmento de la muestra en el que más precauciones se toman. Esto podría deberse a que todavía no dependen tanto de las aplicaciones que los otros grupos no borrarían incluso si estuvieran filtrando su información. En conclusión, la hipótesis queda demostrada, con la aclaración de que menor conocimiento de los peligros, en el caso de los menores, no significa más riesgos asumidos.

Hay un gran porcentaje de usuarios que permite a Google Maps acceder a su ubicación, por lo que esta aplicación conoce la localización de estos individuos en todo momento y sus movimientos a lo largo de las veinticuatro horas del día, además de saber con quién está y de tener testimonio gráfico a través de Google Fotos (Ilustración 1). Esto proporciona una cantidad ingente de información a Google, lo que le permite a su vez ofrecer servicios de interés como datos sobre el tráfico en carretera. Pero esa información tiene una doble vertiente, ya que el hecho de estar continuamente localizados podría ser utilizado en contra de los intereses de los ciudadanos por un gobierno dictatorial, como en el caso de la vigilancia a los participantes en manifestaciones.

Una enorme cantidad de individuos, sin embargo, no es consciente de la información que da a las aplicaciones de sus móviles, o no le da excesiva importancia (Ilustración 2). Si las personas no son conscientes de que los gigantes



Ilustración 01

Cronología de un usuario de Google Maps.

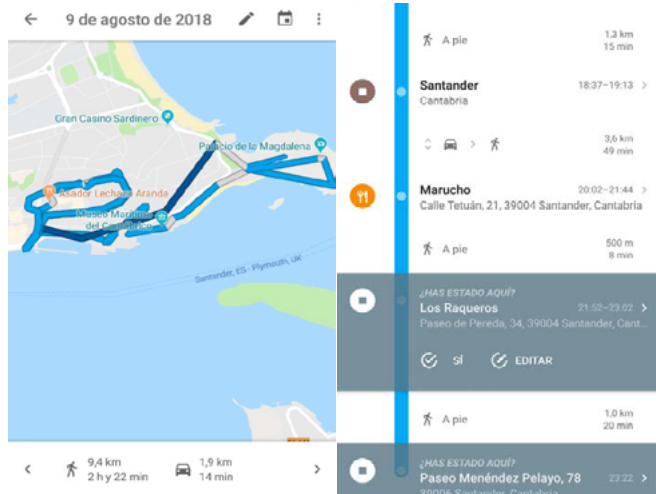
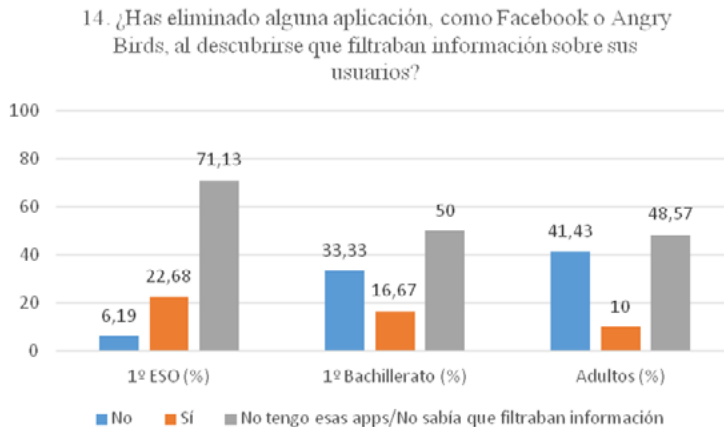


Ilustración 02

Pregunta 14 del formulario. Comparación entre todos los grupos.



tecnológicos tienen toda su información, entonces no pueden preocuparse porque se les robe la privacidad, ni sobre el alcance y los riesgos que este robo conlleva. Este puede ser el motivo por el que la privacidad se encuentre en riesgo. La realidad es que esta es una necesidad básica para los seres humanos; la persona no puede sentirse completamente libre sin ella. Por lo tanto, la privacidad no debería estar en peligro de desaparecer, y para garantizar que no lo haga se ha aprobado el RGPD.

La pérdida de privacidad puede ser un problema en sí mismo, pero todavía una preocupación mayor es el riesgo de que se haga un uso ilegal de nuestros datos. Los gigantes tecnológicos tienen en sus manos la capacidad de utilizar toda su información con fines fraudulentos o incluso de vender esa información a terceros; hasta el no protegerla adecuadamente puede tener consecuencias. De hecho, ha salido a la luz el caso de Cambridge Analytica, que consiguió influir



en las elecciones presidenciales de EEUU y en el referéndum del *brexit*, y no podemos saber si esto no será solo la punta del iceberg. Sin embargo, no parece que se pueda poner fin a esta práctica fácilmente, ya que incluso después de este descubrimiento, un gran porcentaje de usuarios afirma no haber eliminado aplicaciones aun sabiendo que filtraban información suya, lo que demuestra que no son conscientes de la gravedad que puede alcanzar el asunto.

Incluso en temas que plantean un riesgo más directo a las personas, no parece que haya mucha consciencia del peligro que existe. Esto lo demuestra el desconocimiento de cómo diferenciar una página web segura de una que no lo es, la no utilización de la pestaña de incógnito y el bajo uso de las tarjetas recargables.

La tecnología del Big Data es capaz de analizar datos para elaborar campañas publicitarias y políticas. Cuando una compañía que utiliza esta tecnología dispone de cantidades ingentes de datos, puede llegar, a través de sus algoritmos, a influir en elecciones y referéndums. Por eso las grandes empresas tecnológicas no deben vender ni permitir que se acceda a su información, ya que esto puede llegar a suponer un riesgo para el sistema democrático.

Si se hiciese otra investigación sobre este tema dentro de cierto tiempo, sería de interés analizar si la nueva ley europea ha cambiado la forma de actuar de las grandes empresas o si, por el contrario, los gigantes tecnológicos siguen intocables. No ha habido oportunidad de estudiar en profundidad cómo ha reaccionado el público ante el escándalo de privacidad de Facebook. Habría sido interesante estudiar si ha habido un cambio en la mentalidad de la población al descubrirse este, aunque los resultados de esta investigación parecen apuntar a que no, ya que es pequeño el porcentaje que ha tomado medidas y eliminado la app de Facebook de sus dispositivos.

Sería interesante profundizar en futuros estudios en los aspectos positivos de las nuevas tecnologías de la información, aspectos evidenciados por la rapidez con que se han integrado en la sociedad y por lo reacia que se muestra la mayoría a perder estos servicios a pesar de los riesgos que han demostrado que tienen. Ejemplos de buenos usos de la tecnología Big Data son: comunicación y compras a distancia; ayuda a cuerpos policiales, ofreciendo una herramienta con la que fácilmente comprobar coartadas; mejoras en sanidad, capacidad de predicción de enfermedades y detección precoz de epidemias; servicios especializados que solo se pueden ofrecer al conocer una gran cantidad de información sobre los que serán los recipientes de dichos servicios.

Cabe recalcar la necesidad de una legislación global que se cumpla en todo internet, para evitar más casos de manipulación de elecciones, o de gobiernos totalitarios adquiriendo el control sobre la red y utilizándola como medio para mantenerse en el poder. Internet ha sido definido desde su principio como un instrumento de la democracia; una ley tan global como la propia web es necesaria para que esta descripción se cumpla.



## BIBLIOGRAFÍA

- Anon., 2006. *Reporters Without Borders*. [Online] Available at: [https://web.archive.org/web/20060806021920/http://www.rsf.org/article.php3?id\\_article=17180](https://web.archive.org/web/20060806021920/http://www.rsf.org/article.php3?id_article=17180) [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Anon., 2017. *ABC*. [Online] Available at: [https://www.abc.es/tecnologia/moviles/aplicaciones/abci-como-google-maps-sabe-si-atasco-ruta-201706271050\\_noticia.html](https://www.abc.es/tecnologia/moviles/aplicaciones/abci-como-google-maps-sabe-si-atasco-ruta-201706271050_noticia.html) [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Anon., 2017. *Wikipedia (Jiang Lijun)*. [Online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Jiang\\_Lijun](https://en.wikipedia.org/wiki/Jiang_Lijun) [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *ABC* (Google te rastrea incluso aunque le digas que no lo haga). [Online] Available at: [https://www.abc.es/tecnologia/moviles/aplicaciones/abci-google-rastrea-incluso-aunque-digas-no-haga-201808140247\\_noticia.html#ns\\_campaign=mod-lo-mas&ns\\_mchannel=leido&ns\\_source=tecnologia&ns\\_linkname=&ns\\_fee=pos-5&vtm\\_loMas=si](https://www.abc.es/tecnologia/moviles/aplicaciones/abci-google-rastrea-incluso-aunque-digas-no-haga-201808140247_noticia.html#ns_campaign=mod-lo-mas&ns_mchannel=leido&ns_source=tecnologia&ns_linkname=&ns_fee=pos-5&vtm_loMas=si) [Accessed 28 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *ABC Redes: Protección de Datos recuerda que el reglamento no exige pedir consentimiento si ya se tuvo antes*. [Online] Available at: [https://www.abc.es/tecnologia/redes/abci-proteccion-datos-recuerda-reglamento-no-exige-pedir-consentimiento-si-tuvo-antes-201806041300\\_noticia.html](https://www.abc.es/tecnologia/redes/abci-proteccion-datos-recuerda-reglamento-no-exige-pedir-consentimiento-si-tuvo-antes-201806041300_noticia.html) [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *BBC News* (WhatsApp to raise minimum age limit to 16 in EU). [Online] Available at: <https://www.bbc.co.uk/news/business-43888647> [Accessed 28 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *BBC News: GDPR quiz: how will data privacy law affect you?*. [Online] Available at: <https://www.bbc.co.uk/news/technology-44224802> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *El Mundo*. [Online] Available at: <https://amp.elmundo.es/tecnologia/2018/07/10/5b447b59e5fdea8f068b45d3.html> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *Facebook* (Cookies y otras tecnologías de almacenamiento). [Online] Available at: <https://www.facebook.com/policies/cookies/> [Accessed Junio 2018].
- Anon., 2018. *Facebook* (Información sobre los anuncios de Facebook). [Online] Available at: <https://www.facebook.com/about/ads> [Accessed Junio 2018].
- Anon., 2018. *Facebook* (Política de Datos). [Online] Available at: <https://es-es.facebook.com/privacy/explanation> [Accessed Junio 2018].
- Anon., 2018. *Infobae*. [Online] Available at: <https://www.infobae.com/america/tecno/2018/03/20/7-datos-para-entender-el-escandalo-de-facebook-y-cambridge-analytica/> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *Wikipedia* (Aplicación móvil). [Online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Aplicaci%C3%B3n\\_m%C3%B3vil](https://es.wikipedia.org/wiki/Aplicaci%C3%B3n_m%C3%B3vil) [Accessed 28 Septiembre 2018].



- Anon., 2018. *Wikipedia* (Aplicación Web). [Online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Aplicaci%C3%B3n\\_web](https://es.wikipedia.org/wiki/Aplicaci%C3%B3n_web) [Accessed 28 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *Wikipedia* (Cambridge Analytica). [Online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cambridge\\_Analytica](https://es.wikipedia.org/wiki/Cambridge_Analytica) [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *Wikipedia* (Censura de Internet en la República Popular China). [Online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Censura\\_de\\_Internet\\_en\\_la\\_Rep%C3%ABlica\\_Popular\\_China](https://es.wikipedia.org/wiki/Censura_de_Internet_en_la_Rep%C3%ABlica_Popular_China) [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *Wikipedia* (Internet). [Online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Internet> [Accessed 28 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *Wikipedia* (Revolución Informática). [Online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Revoluci%C3%B3n\\_inform%C3%A1tica](https://es.wikipedia.org/wiki/Revoluci%C3%B3n_inform%C3%A1tica) [Accessed 28 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *Wikipedia* (Teléfono móvil). [Online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tel%C3%A9fono\\_m%C3%B3vil](https://es.wikipedia.org/wiki/Tel%C3%A9fono_m%C3%B3vil); [Accessed 28 Septiembre 2018].
- Anon., 2018. *Wikipedia* (Wang Xiaoning). [Online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wang\\_Xiaoning](https://en.wikipedia.org/wiki/Wang_Xiaoning) [Accessed 27 Septiembre 2018]
- Anon., n.d. *A Human Rights Watch Backgrounder*. [Online] Available at: <https://www.hrw.org/legacy/backgrounder/asia/china-bck-0701.htm> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Castelló Llantada, C., 2018. *Retina (El País)*. [Online] Available at: [https://retina.elpais.com/retina/2018/04/27/innovacion/1524829876\\_905287.html](https://retina.elpais.com/retina/2018/04/27/innovacion/1524829876_905287.html) [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Cellan-Jones, R., 2018. *BBC News* (Do we now trust facebook?). [Online] Available at: <https://www.bbc.co.uk/news/technology-44008655> [Accessed Julio 2018].
- Cellan-Jones, R., 2018. *BBC News* (GDPR: the great data privacy panic). [Online] Available at: <https://www.bbc.co.uk/news/technology-44240664> [Accessed Julio 2018].
- Cellan-Jones, R., 2018. *BBC News* (Your data in political hands?). [Online] Available at: <https://www.bbc.co.uk/news/technology-44809818> [Accessed Julio 2018].
- Conradt, S., 2017. *Mental Floss*. [Online] Available at: <http://mentalfloss.com/article/92958/how-does-google-maps-know-where-traffic> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Diego, G., 2016. *Súmate blog: ¿Cuánto crees que valen tus datos personales en Internet?*. [Online] Available at: <https://www.sumate.eu/2016/10/crees-valen-datos-personales-internet/> [Accessed 27 Septiembre 2018].



- Escolar, I., 2018. 280 dólares por todos tus datos. *eldiario.es*, Internet, el futuro y la libertad(20), p. 5. Faus, J., 2018. El País (Facebook desbarata una campaña de desinformación a cuatro meses de las legislativas de EE UU). [Online] Available at: [https://elpais.com/internacional/2018/07/31/actualidad/1533063515\\_375329.html](https://elpais.com/internacional/2018/07/31/actualidad/1533063515_375329.html) [Accessed 28 Septiembre 2018].
- Foxx, C., 2018. *BBC*. [Online] Available at: <https://www.bbc.com/news/technology-44252327> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Greenwald, G., 2014. *Why privacy matters*. s.l.:TEDGlobal.
- Harari, Y. N., 2016. *Financial Times* (Yuval Noah Harari on big data, Google and the end of free will). [Online] Available at: <https://www.ft.com/content/50bb4830-6a4c-11e6-ae5b-a7cc5dd5a28c> [Accessed Julio 2018].
- Harari, Y. N., 2018. *Why fascism is so tempting and how your data could power it up*. s.l.:TED Talks.
- Juliá, S., n.d. *GADAE: ¿En qué consiste el RGPD?*. [Online] Available at: <http://www.gadae.com/blog/en-que-consiste-el-rgpd/> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Lee, D., 2018. *BBC*. [Online] Available at: <bbc.co.uk/news/technology-44239126> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- López Morales, T., 2018. *El País Retina (Plata por data: la fórmula que quiere inquietar a Facebook y LinkedIn)*. [Online] Available at: [https://retina.elpais.com/retina/2018/04/11/innovacion/1523456700\\_091852.html](https://retina.elpais.com/retina/2018/04/11/innovacion/1523456700_091852.html) [Accessed Julio 2018].
- Muñoz, A., 2017. *TICbeat*. [Online] Available at: <http://www.ticbeat.com/socialmedia/estos-son-los-98-datos-que-facebook-sabe-sobre-ti/> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Ortiz, D. G., 2018. [Online] Available at: [https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoplora/apps/permisos-que-whatsapp-pide-instalarse-uno-uno\\_2014070257f787b70cf2fd8cc6aa8c89.html](https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoplora/apps/permisos-que-whatsapp-pide-instalarse-uno-uno_2014070257f787b70cf2fd8cc6aa8c89.html) [Último acceso: 23 Septiembre 2018].
- Orwell, G., 1949. 1984. Oxford: Heinemann Educational Publishers.
- Peirano, M., 2015. ¿Por qué me vigilan, si no soy nadie?. Madrid: TEDx Talks.
- Perasso, V., 2016. *BBC News*. [Online] Available at: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834> [Accessed 28 Septiembre 2018].
- Rosenberg, M., Confessore, N. & Cadwalladr, C., 2018. *The New York Times*. [Online] Available at: <https://www.nytimes.com/2018/03/17/us/politics/cambridge-analytica-trump-campaign.html> [Accessed 27 Septiembre 2018].
- Sfilippi, 2010. *Internet lab*. [Online] Available at: <https://www.internetlab.es/post/888/que-significa-el-protocolo-https-y-como-funciona/> [Accessed 24 Septiembre 2018].



Torresi, G., 2018. *La Vanguardia*. [Online] Available at:

<https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20180419/442715507038/facebook-cambios-privacidad-seguridad-terminos-y-condiciones-politica-datos.html>

[Accessed 27 Septiembre 2018].

Valery, Y., 2016. *BBC News*. [En línea] Available at:

[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160525\\_tecnologia\\_modos\\_privado\\_busqueda\\_no\\_es\\_incognito\\_y](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160525_tecnologia_modos_privado_busqueda_no_es_incognito_y) [Último acceso: 24 Septiembre 2018].









## Leyes electorales: Pequeños cambios matemáticos, grandes cambios sociales. Análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados obtenidos por el cambio de ley electoral en las elecciones de 2008 y 2016

---

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTOR** | GUILLERMO CARRILLO MARTÍN

**COORDINADORA** | MARÍA TRINIDAD CÁMARA MESEGUER

**CENTRO** | IES JUAN CARLOS I

**CIUDAD** | MURCIA

### RESUMEN |

Generalmente, un sistema electoral consta de un método de reparto y una forma en la que se establecen las circunscripciones. Partiendo de un enunciado matemático en el que se demuestra que no existe ningún sistema electoral que se corresponda en su totalidad a la realidad del voto emitido, he tratado de determinar por medio de un análisis estadístico si el cambio de método de reparto de escaños o el tipo de circunscripción es realmente determinante en la formación de un parlamento, así como un estudio de la sobrerrepresentación de cada método de reparto y tipo de circunscripción para observar cuál de ellos se acercaría más a la realidad del voto emitido. Los datos utilizados han sido los de las elecciones generales españolas de 2008 y 2016.

### ABSTRACT |

Mainly, an electoral system is form by a distribution method and a type of division, based on a mathematical theorem which says that there is not an electoral system that fits completely with the emitted vote, I have tried to determine statistically if the change of the distribution method or the type of division is truly determinant in the creation of a parliament, as I studied the upon representation of each distribution method and type of division to determine who will be closer to the emitted vote. The electoral results have been taken from the national Spanish election of 2008 and 2016.



## INTRODUCCIÓN

La idea de este trabajo surge en octubre de 2016, un periodo político convulso consecuencia de la incorporación de dos nuevos partidos políticos, lo que dificultó la formación de gobierno. En estas fechas encontrábamos noticias en los medios de comunicación sobre cómo la ley electoral actual favorece a ciertos partidos, y como modificándola se podría llegar a un parlamento más "políticamente justo".

Kenneth J. Arrow demostró en 1951 que: "si existe una comunidad de votantes que tiene al menos dos integrantes y al menos tres opciones entre las que debe decidir, entonces es imposible diseñar una regla de elección social que satisfaga simultáneamente todas estas condiciones" (Paulos, 2003, p. 244) es decir, no existe ningún sistema electoral que en condiciones variables sea exactamente igual al voto emitido.

Partiendo de la veracidad de este teorema, tratamos de identificar que métodos de reparto y tipos de circunscripción son los que más se acercan a la realidad del voto emitido y su influencia en la formación del congreso usando los resultados de las elecciones de 2008 (bipartidismo) y 2016 (tetrapartidismo).

## METODOLOGÍA

Comencé mi trabajo con la lectura de la LOREG (BOE, 1985) y otras fuentes con información sobre métodos de reparto y tipos de circunscripción.

Seleccioné 8 métodos de reparto de escaños y 4 tipos de circunscripción por ser los más conocidos o usarse en democracias consolidadas. Los métodos de reparto seleccionados fueron: Ley D'hont, Sainte-Laguë, Hill-Huntington, método sueco, Hare, Droop, Imperiali e Imperiali reforzado. Los cuatro primeros son métodos del divisor, es decir, basan su reparto en la división progresiva de los votos obtenidos por cada partido entre distintos divisores y se otorgan los escaños en orden decreciente a los cocientes obtenidos en estas divisiones. Nuestra Ley D'hont divide el número de votos obtenido entre 1; 2; 3...; Sainte-Laguë entre 1; 3; 5; 7...; Hill-Huntington entre  $\sqrt{n \cdot (n + 1)}$ ; y el método sueco coge como primer divisor  $\sqrt{2}$  y los demás los de Sainte-Laguë. Los otros cuatro métodos son métodos por cuotas, es decir, se establece una cuota de votos para alcanzar un escaño. En el caso de la ley de Hare la cuota se obtiene dividiendo el número de votos totales entre el número de escaños, Droop divide los votos entre el número de escaños más uno y suma uno al resultado, Imperiali divide entre el número de escaños más dos e Imperiali reforzado entre el número de escaños más tres. Todos utilizan el método de los restos mayores para repartir los escaños sobrantes. **Los tipos de circunscripción** estudiados fueron: por provincias, por comunidades, única y mixta (mitad de escaños calculados por circunscripción única y mitad por provincias).



A continuación, recopilé los resultados de las elecciones de 2008 y 2016 de la página web “el periódico” y usando la calculadora de escaños “Leyes™” calculé los escaños obtenidos por cada partido político para cada método de reparto usando como circunscripción la provincial. No consideré Ceuta y Melilla para este estudio debido a que su presencia generaba anomalías matemáticas. A partir de estos datos, hallé para cada partido el número de escaños medio y el coeficiente de variación (CV), lo que me permitió además definir el método *Media* como el que asigna a cada partido el número de escaños obtenido de la media de los 8 métodos (tablas 1 y 2).

Posteriormente, para cada provincia calculé la sobre-infrarrepresentación de cada partido y cada método de reparto. Esta sobre-infrarrepresentación se obtiene al restar el porcentaje de escaños obtenidos menos el porcentaje de votos obtenidos. Hice la media (tablas 3 y 4) y las desviaciones medias de todas las provincias, para cada partido y cada método.

Por último, realicé un estudio similar para los distintos tipos de circunscripción usando como método de reparto la ley D’hont. Para calcular los escaños que corresponderían a las nuevas circunscripciones, recopilé los datos de población española por provincias y comunidades, en 2008 y 2016 del padrón municipal.

Tabla 01

Escaños conseguidos por los partidos en las elecciones de 2008 con los distintos métodos de reparto.

	2008					
	PSOE	PP	CiU	PNV	ERC	OTROS
D’hont	169	151	10	6	3	9
Sainte-Lagüe	160	152	10	6	5	15
Hill-Huntington	171	150	11	6	3	7
Método sueco	163	154	11	6	3	11
Hare	162	153	10	5	4	14
Droop	166	151	10	5	5	11
Imperiali	167	153	10	6	4	8
Imperiali (ref.)	164	160	11	5	3	5
<b>Media</b>	165,25	153	10,375	5,625	3,75	10
<b>CV</b>	0,02	0,02	0,09	0,05	0,24	0,34

Tabla 02

Escaños conseguidos por los partidos en las elecciones de 2016 con los distintos métodos de reparto.

	2016							
	PP	PSOE	PODEMOS	C’s	ERC	CDC/CiU	PNV	OTROS
D’hont	135	82	74	32	9	8	5	3
Sainte-Lagüe	121	83	78	43	9	7	4	3
Hill-Huntington	143	86	67	26	10	8	6	2
Método sueco	126	84	73	38	9	8	5	5
Hare	125	80	78	41	9	7	4	4
Droop	132	80	73	38	9	7	4	5
Imperiali	132	82	74	33	9	8	5	5
Imperiali (reforzado)	147	85	68	22	9	8	6	3
<b>media</b>	132,625	82,75	73,125	34,125	9,125	7,625	4,875	3,75
<b>CV</b>	0,07	0,03	0,05	0,21	0,04	0,07	0,17	0,08



Tabla 03

Sobre-infrarrepresentación media para cada partido político y con cada método de reparto en 2008..

	2008					
	PSOE	PP	CiU	PNV	ERC	OTROS
D'hont	4,77%	4,04%	-0,53%	7,50%	-4,74%	-11,04%
Sainte-Lagüe	2,51%	4,54%	-0,53%	7,41%	5,68%	-19,61%
Hill-Huntington	5,11%	3,72%	5,72%	7,41%	-4,74%	-17,22%
Método sueco	3,43%	4,91%	3,63%	7,41%	-4,74%	-14,64%
Hare	3,26%	4,66%	-0,53%	3,24%	-0,57%	-10,06%
Droop	4,16%	4,18%	-0,53%	3,24%	-0,57%	-10,48%
Imperiali	2,82%	6,12%	-0,53%	7,41%	-0,57%	-15,25%
Imperiali (reforzado)	0,78%	8,96%	5,72%	-0,92%	-4,74%	-9,80%

Tabla 04

Sobre-infrarrepresentación media para cada partido político y con cada método de reparto 2016.

	2016							
	PP	PSOE	PODEMOS	C's	ERC	CDC/CiU	PNV	OTROS
D'hont	7,74%	2,25%	-1,28%	-5,93%	0,87%	4,01%	5,26%	-12,92%
Sainte-Lagüe	2,18%	2,32%	0,89%	-1,94%	0,87%	-0,16%	-0,29%	-3,87%
Hill-Huntington	10,91%	3,28%	-4,01%	-7,89%	7,12%	4,01%	9,43%	-22,85%
Método sueco	5,35%	2,98%	-1,44%	-4,50%	0,87%	4,01%	5,26%	-12,53%
Hare	2,92%	1,70%	2,06%	-3,21%	0,87%	-0,16%	-0,29%	-3,89%
Droop	6,54%	1,70%	-0,28%	-4,50%	0,87%	-0,16%	-0,29%	-3,88%
Imperiali	7,19%	2,20%	-0,78%	-5,81%	0,87%	4,01%	5,26%	-12,94%
Imperiali (reforzado)	13,17%	2,13%	-3,59%	-8,92%	0,87%	4,01%	9,43%	-17,10%

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos al variar el método de reparto son:

Al analizar el CV de cada partido al variar los métodos de reparto (tabla 5) observé que en 2008 éste es mayor en los partidos con pocos votos, como son ERC y OTROS y menor en los dos partidos mayoritarios, PSOE y PP. En 2016 el intervalo entre el mayor y el menor CV se reduce, aun así, siguen siendo los partidos con más votos los que tienen un menor CV.

Tabla 05

CV de cada partido al variar el método de reparto de escaños..

	2008						2016							
	PSOE	PP	CiU	PNV	ERC	OTROS	PP	PSOE	PODEMOS	C's	ERC	CiU	PNV	OTROS
CV	0,02	0,02	0,09	0,05	0,24	0,34	0,07	0,03	0,05	0,21	0,04	0,07	0,17	0,08

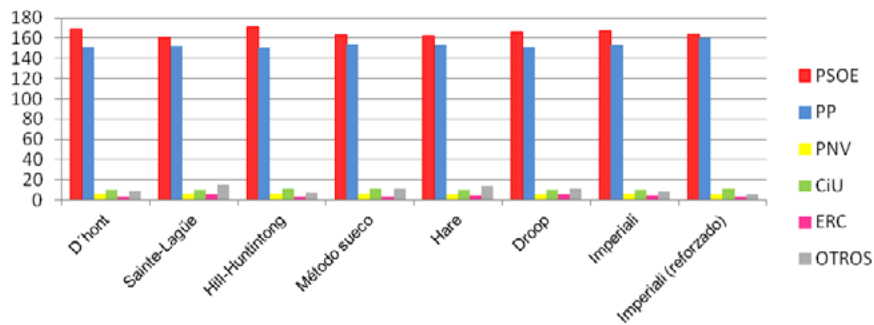
Al pasar los datos de las tablas 1 y 2 a un diagrama de barras (gráficas 1 y 2) observamos que las diferencias, en número de escaños, entre el primer y el segundo partido, en 2008, son máximas con el método Hill-Huntington (21 escaños)



y mínimas en Imperiali reforzado (4 escaños). Con la ley D'hont la diferencia fue alta, 18 escaños. En 2016 estas diferencias son máximas con Imperiali reforzado (62 escaños) y mínimas con Sainte-Lagüe (38 escaños). Con la ley D'hont la diferencia fue también alta, 52 escaños.

Gráfica 01

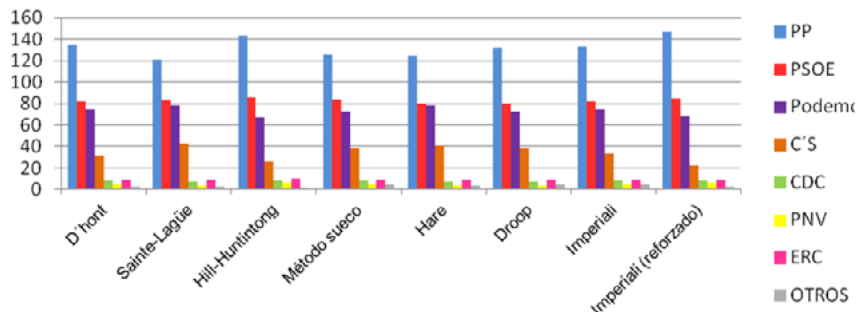
Escaños conseguidos por los partidos políticos en las elecciones de 2008 con los distintos métodos de reparto.



Con la ley D'hont la diferencia fue también alta, 52 escaños.

Gráfica 02

Escaños conseguidos por los partidos políticos en las elecciones de 2016 con los distintos métodos de reparto.



Para el análisis del método que hemos llamado media, realicé una nueva tabla con valores obtenidos de la resta entre los escaños obtenidos por cada partido con cada método de reparto y la Media por partido. Los valores positivos de la tabla indican métodos que dan a ese partido resultados por encima de la media y los negativos por debajo. Hallé la desviación media de estos valores para cada método de reparto (tablas 6 y 7). Observamos que, en 2008, los valores más altos de la desviación son Imperiali reforzado seguido de Sainte-Lagüe y Hill-Huntington, y el valor más bajo es de Imperiali, el valor de la ley D'hont se encuentra en la mitad. En 2016, al igual que en 2008 los valores más altos de desviación son del método Imperiali reforzado seguido de Sainte-Lagüe y Hill-Huntington, y el valor más bajo es de Imperiali, el valor de la ley D'hont esta vez está el segundo desde abajo.



Tabla 06

Comparativa entre el método Media y los demás en 2008.

	2008						Desv. típica
	PSOE	PP	CiU	PNV	ERC	OTROS	
D'hont	3,75	-2	-0,375	0,375	-0,75	-1	2
Sainte-Lagüe	-5,25	-1	-0,375	0,375	1,25	5	3,33
Hill-Huntington	5,75	-3	0,625	0,375	-0,75	-3	3,23
Método sueco	-2,25	1	0,625	0,375	-0,75	1	1,28
Hare	-3,25	0	-0,375	-0,625	0,25	4	2,33
Droop	0,75	-2	-0,375	-0,625	1,25	1	1,24
Imperiali	1,75	0	-0,375	0,375	0,25	-2	1,22
Imperiali (reforzado)	-1,25	7	0,625	-0,625	-0,75	-5	3,92

Tabla 07

Comparativa entre el método Media y los demás en 2016.

	2016								Desv. típica
	PP	PSOE	PODEMOS	C's	ERC	CDC/CiU	PNV	OTROS	
D'hont	2,375	-0,75	0,875	-2,125	-0,125	0,375	0,125	-0,75	1,32
Sainte-Lagüe	-11,625	0,25	4,875	8,875	-0,125	-0,625	-0,875	-0,75	5,85
Hill-Huntington	10,375	3,25	-6,125	-8,125	0,875	0,375	1,125	-1,75	5,69
Método sueco	-6,625	1,25	-0,125	3,875	-0,125	0,375	0,125	1,25	2,98
Hare	-7,625	-2,75	4,875	6,875	-0,125	-0,625	-0,875	0,25	4,44
Droop	-0,625	-2,75	-0,125	3,875	-0,125	-0,625	-0,875	1,25	1,92
Imperiali	-0,625	-0,75	0,875	-1,125	-0,125	0,375	0,125	1,25	0,82
Imperiali (reforzado)	14,375	2,25	-5,125	-12,125	-0,125	0,375	1,125	-0,75	7,44

A partir de la tabla de las medias de la sobre-infrarrepresentación (tablas 3 y 4) he hallado la desviación media para cada método de reparto con el fin de estudiar el método que más se acerca a la realidad del voto emitido (Tabla 8). En 2008 podemos observar que los métodos con menor desviación media son Hare seguido de Droop, la ley D'hont es la tercera con menor desviación. En 2016 los resultados cambian, y el método con menor desviación es Sainte-Lagüe, seguido de Hare y Droop, en este contexto la ley D'hont es la tercera con mayor desviación.

Tabla 08

Comparativa entre el método Media y los demás en 2016.

	Desv. Media	
	2008	2016
D'hont	5,44%	5,03%
Sainte-Lagüe	6,71%	1,57%
Hill-Huntington	7,32%	8,69%
Método sueco	6,46%	4,62%
Hare	3,72%	1,89%
Droop	3,86%	2,28%
Imperiali	5,45%	4,88%
Imperiali (reforzado)	5,15%	7,40%

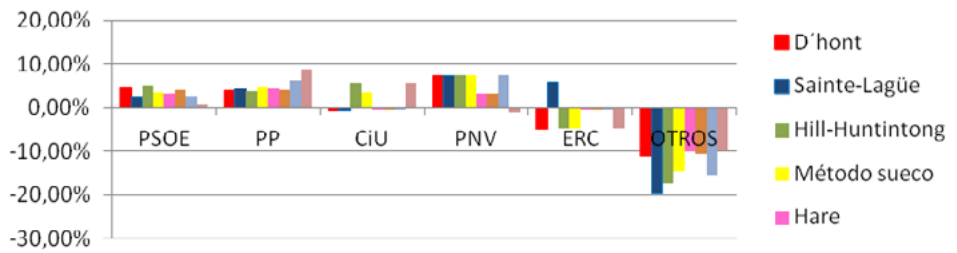
Al pasar los datos de las tablas anteriores a gráficos (gráficas 3 y 4), observamos que hay algunos partidos que siempre obtienen sobrerrepresentación, algunos siempre infrarrepresentación y otros varían en función del método de reparto.





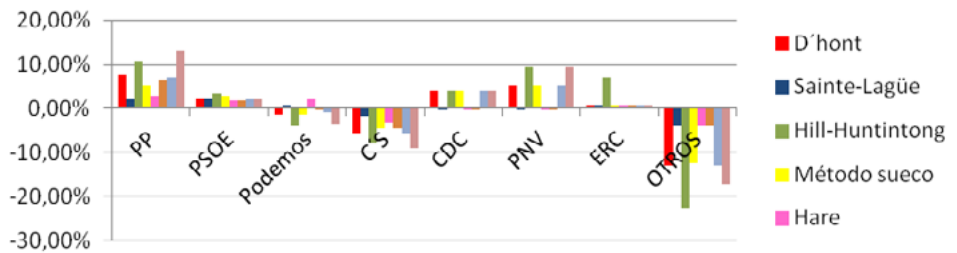
Gráfica 03

Sobre-infrarrepresentación media en 2008.



Gráfica 04

Sobre-infrarrepresentación media en 2016.



Los resultados obtenidos al variar el tipo de circunscripción son:

Al analizar el coeficiente de variación (tabla 9) se observa que en 2008 este es mayor en los partidos con pocos escaños, como son ERC, PNV y OTROS y pequeño en los dos partidos mayoritarios. Al contrario que en el estudio anterior, en 2016 el intervalo entre el mayor y el menor CV aumenta, aun así, siguen siendo los partidos con más votos los que tienen un menor CV.

Tabla 09

Escaños obtenidos al variar el tipo de circunscripción.

	2008						2016							
	PSOE	PP	CiU	PNV	ERC	OTROS	PP	PSOE	PODEMOS	C's	ERC	CiU	PNV	OTROS
Provincial	169	151	10	6	3	9	135	82	74	32	9	8	5	3
Comunidades	164	141	11	5	4	23	119	77	77	44	10	7	5	9
Única	162	147	11	4	4	20	119	81	76	47	9	7	4	5
Mixta	166	150	11	4	3	14	134	84	69	33	11	8	5	4
<b>CV</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,047</b>	<b>0,202</b>	<b>0,165</b>	<b>0,378</b>	<b>0,071</b>	<b>0,036</b>	<b>0,048</b>	<b>0,20</b>	<b>0,1</b>	<b>0,08</b>	<b>0,11</b>	<b>0,50</b>

También observamos que las diferencias entre los dos partidos mayoritarios son mínimas con la circunscripción única, en ambos contextos y máximas en 2008 por comunidades (23 escaños) y en 2016 por provincias (53 escaños).

Para comparar con el método *media* nuevamente he realizado una tabla con la resta entre los escaños obtenidos y la *Media* por partido (tablas 10 y 11). Hallando la desviación media se observa que, en 2008, el valor más alto es en el tipo por provincias seguido de comunidades y el más bajo es el mixto. En 2016 todos los valores de la desviación son similares.



Tabla 10

Comparativa entre el tipo Media y los demás en 2008.

	2008						Desv. Media
	PSOE	PP	CiU	PNV	ERC	OTROS	
Provincial	3,75	3,75	-0,75	1,25	-0,25	-7,5	<b>4,16</b>
Comunidades	-1,25	-6,25	0,25	0,25	0,5	6,5	<b>4,08</b>
Único	-3,25	-0,25	0,25	-0,75	0,5	3,5	<b>2,18</b>
Mixto	0,75	2,75	0,25	-0,75	-0,25	-2,5	<b>1,74</b>

Tabla 11

Comparativa entre el tipo Media y los demás en 2016.

	2016								Desv. Media
	PP	PSOE	PODEMOS	C's	ERC	CDC/CiU	PNV	OTROS	
Provincial	8,25	1	0	-7	-0,75	0,5	0,25	-2,25	<b>4,21</b>
Comunidades	-7,75	-4	3	5	0,25	-0,5	0,25	3,75	<b>4,22</b>
Único	-7,75	0	2	8	-0,75	-0,5	-0,75	-0,25	<b>4,30</b>
Mixto	7,25	3	-5	-6	1,25	0,5	0,25	-1,25	<b>4,24</b>

Al igual que en los métodos de reparto, hemos hallado la desviación media de las medias de la sobre-infrarrepresentación obtenidas por cada tipo de circunscripción (Tablas 12 y 13). En 2008, las cifras menores corresponden a la circunscripción única seguida de la circunscripción por comunidades. En 2016 observamos un comportamiento similar al 2008 aunque las distancias entre los valores de las desviaciones son mayores. Al pasar las tablas anteriores a diagramas de barras (gráficas 5 y 6), observamos que hay algunos partidos que siempre tienen sobrerrepresentación, algunos siempre infrarrepresentación y otros varían.

Tabla 12

Sobre-infrarrepresentación media para cada partido político y con cada tipo de circunscripción en 2008.

	2008						Desv. Media
	PSOE	PP	CiU	PNV	ERC	OTROS	
Provincial	4,77%	4,04%	-0,53%	7,50%	-4,74%	-11,04%	<b>5,44%</b>
Comunidades	3,08%	2,32%	0,22%	2,30%	-0,14%	-7,78%	<b>2,64%</b>
Única	2,42%	2,06%	0,11%	-0,05%	-0,02%	-4,52%	<b>1,53%</b>
Mixta	2,97%	6,83%	7,75%	-3,83%	-7,16%	-6,56%	<b>5,85%</b>

Tabla 13

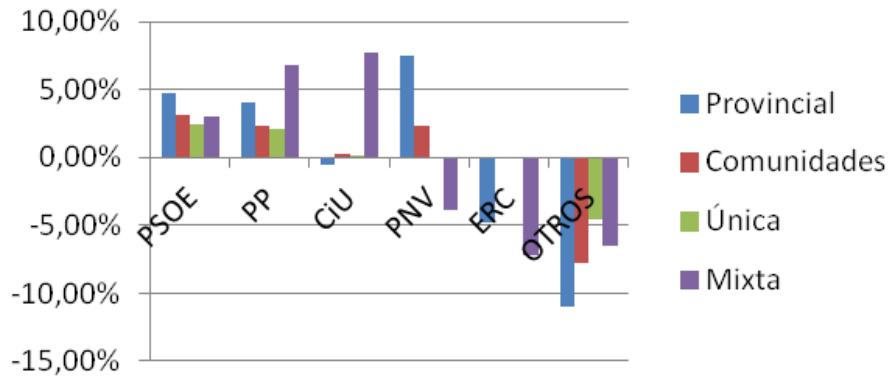
Sobre-infrarrepresentación media para cada partido político y con cada tipo de circunscripción en 2016.

	2016								Desv. Media
	PP	PSOE	PODEMOS	C's	ERC	CDC/CiU	PNV	OTROS	
Provincial	7,74%	2,25%	-1,28%	-5,93%	0,87%	4,01%	5,26%	-12,92%	<b>5,03%</b>
Comunidades	2,63%	-0,41%	1,11%	-2,04%	1,05%	-0,45%	4,50%	-6,39%	<b>2,32%</b>
Única	0,97%	0,47%	0,61%	0,38%	-0,06%	-0,01%	-0,06%	-2,30%	<b>0,61%</b>
Mixta	15,81%	1,70%	-5,32%	-9,59%	9,61%	4,85%	3,94%	-21,00%	<b>8,98%</b>



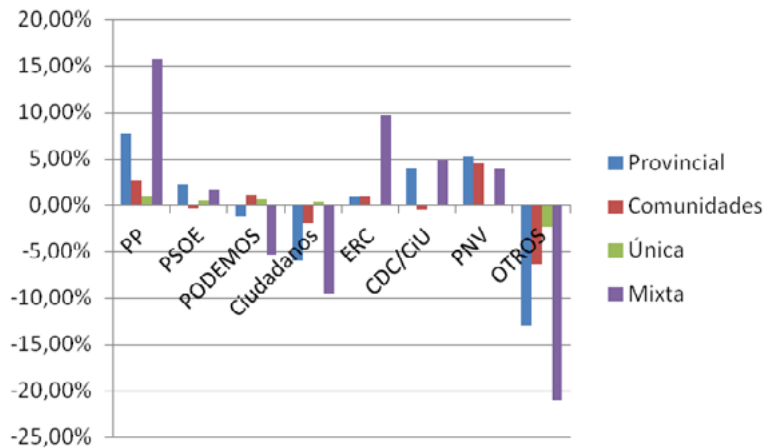
Gráfica 05

Medias de la Sobre-infrarrepresentación 2008 de cada partido para cada tipo de circunscripción.



Gráfica 06

Medias de la Sobre-infrarrepresentación 2016 de cada partido para cada tipo de circunscripción.



## CONCLUSIONES

Los partidos a los que les afecta más un cambio de sistema de reparto son los que poseen menos votos por circunscripción.

Con todos los métodos de reparto siempre ganan los mismos partidos y en el mismo orden.

Con la ley D'hont las distancias entre el primero y el segundo son de las más altas.

El método de reparto que tiene un comportamiento más homogéneo al comparar con el método *Media* es el Imperiali y el que es menos Imperiali reforzado.



La ley D'hont, es una de las más homogéneas respecto al reparto que obtendríamos como media de los ocho métodos.

Los métodos de reparto que más se acercan a la realidad del voto emitido son Hare y Droop en 2008 y Sainte-Laguë, Hare y Droop en 2016. D'hont es de las menos cercanas a la realidad del voto emitido, sobre todo en 2016.

Los partidos a los que les afecta más el cambio de tipo de circunscripción son los que poseen menos escaños.

Independientemente del tipo de circunscripción, siempre ganan los mismos partidos en el mismo orden.

Las diferencias entre los dos partidos mayoritarios son mínimas con la circunscripción única, y con la circunscripción por provincias estas distancias son de las más altas.

El tipo que se acerca más a la realidad del voto emitido es la circunscripción única.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen Paulos, J. (2003) *Más allá de los números*. Barcelona: Tusquets Editores.
- Barceló, B. (2001). *Sistemas electorales*. Recuperado el 7 de abril de 2018, de [https://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/barcelo/sistemas.html](https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/barcelo/sistemas.html)
- BOE (1985). *Ley Orgánica 5/1985, de 19 de junio, del Régimen Electoral General* de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1985-11672>
- El Periódico (s.d.) *Resultados de las elecciones* de [http://elecciones.elperiodico.com/resultados/generales/2016/espana/?\\_ga=1.178874468.1901949245.1479820249](http://elecciones.elperiodico.com/resultados/generales/2016/espana/?_ga=1.178874468.1901949245.1479820249)
- Instituto Nacional de Estadística (s.d.) *Estadística del Padrón Continuo a 1 de enero de 2008. Datos a nivel nacional, comunidad autónoma y provincia* de <http://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t20/e245/p04/a2008/I0/&file=0ccaa001.px>
- Instituto Nacional de Estadística (s.d.) *Estadística del Padrón Continuo a 1 de enero de 2016. Datos a nivel nacional, comunidad autónoma y provincia* de <http://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t20/e245/p04/a2016/I0/&file=0ccaa001.px&L=0>





# Proyecto P.A.D.I.: “Prehistoria abierta, diversa e inclusiva”.

## La evolución humana como punto de partida para conocerse a sí mismo y a nuestra sociedad

---

/ PREMIO ESPECIAL FUNDACIÓN ONCE

**AUTORAS** | NEREA DURÁN CALVO Y EMMA COBAS MÁRQUEZ

**COORDINADOR** | IVÁN NADAL LATORRE

**CENTRO** | IES CARLES VALLBONA

**CIUDAD** | GRANOLLERS-BARCELONA

### RESUMEN |

¿Cómo nos podemos aproximar a una población lo más diversa posible para explicar la Prehistoria de una manera dinámica y atractiva? A partir de esta pregunta se presenta en este proyecto toda una serie de herramientas que permiten combinar la metodología clásica para el conocimiento de esta época de la historia humana con el uso de otras digitales para hacer cumplir uno de nuestros objetivos prioritarios: que la Prehistoria forme parte de las personas por naturaleza. La ayuda recibida por diferentes instituciones públicas y privadas relacionadas con esta temática han permitido poner las bases para abordar tal objetivo. La combinación de conocimientos científicos, didácticos, así como la perspectiva aportada por el alumnado son los tres ejes vertebradores del mismo.

A lo largo del tiempo, los homínidos han ido paulatinamente cambiando, dando lugar a diversas estructuras anatómicas que conocemos actualmente. Este proceso se ha dado a conocer como "hominización". En el entorno de la anatomía y la tecnología (especialmente la lítica y ósea por su grado de conservación), el trabajo presentado aporta diversas herramientas TIC que, en combinación con los conocimientos más científicos de los investigadores y la visión más didáctica del alumnado y del profesorado, han permitido obtener una serie de resultados que combinan datos relacionados con esta doble evolución, anatómica y tecnológica, así como la creación de una gran diversidad de materiales didácticos que complementan los aportados por las instituciones con las que hemos colaborado.

**Palabras clave:** homínidos, prehistoria, evolución humana, tecnología, alimentación, odontología, diversidad, TIC, materiales didácticos.



## ABSTRACT |

How can we approach a population as diverse as possible to explain prehistory in a dynamic and attractive way? From this question we present in this project a whole series of tools that allow us to combine the classical methodology for the knowledge of this era of human history with the use of other digital ones to enforce one of our priority objectives: that Prehistory forms part of people by nature. The help received by different public and private institutions related to this issue have allowed to lay the foundations to address this objective. The combination of scientific, didactic knowledge, as well as the perspective provided by the students are the three backbone of the same.

Over time, hominids have been gradually changing, giving rise to various anatomical structures that we know today. This process has been known as "hominization". In the environment of anatomy and technology (especially lithic and bone for its degree of conservation), the presented work provides various ICT tools that, in combination with the most scientific knowledge of researchers and the most didactic vision of students and teachers, have allowed to obtain a series of results that combine data related to this double evolution, anatomical and technological, as well as the creation of a great diversity of didactic materials that complement those provided by the institutions with which we have collaborated.

**Keywords:** hominids, prehistory, human evolution, technology, dentistry, nutrition, diversity, ICT, teaching materials.



## INTRODUCCIÓN

Durante el tiempo transcurrido desde la Prehistoria hasta la actualidad la humanidad ha asistido a múltiples cambios físicos y psíquicos. A este respecto, nos preguntamos: ¿qué cambios se han dado tanto desde el punto de vista craneal como mandibular en los principales homínidos? ¿Ha tenido y tiene alguna influencia su alimentación en esta evolución? Pasando al ámbito educativo, ¿qué materiales aportados por las instituciones son suficientemente atractivos para alumnado? ¿Pueden crearse materiales que se contextualicen y adapten a una población tan diversa como es la nuestra para la consecución de ciertos conocimientos? Estas son algunas de las preguntas que han servido como punto de partida para la realización del presente proyecto.

El cráneo humano ha cambiado paulatinamente durante los últimos 3 millones de años. La evolución desde el Australopithecus hasta el Homo sapiens, significó el aumento de la capacidad craneana, el achatamiento del rostro, el retroceso de la barbilla y la disminución del tamaño de los dientes, entre otros muchos de tipo anatómicos. Los científicos (Castellanos, F., 2010) piensan que el increíble crecimiento de tamaño del cerebro puede estar relacionado, entre otros aspectos, con la mayor sofisticación del comportamiento de los homínidos. Por otra parte, a lo largo de todo el Paleolítico podemos distinguir distintas tecnologías vinculadas a las elaboraciones de instrumentos líticos que con el paso de los siglos se van refinando y complejizando cada vez más (Ruiz Cobo, J., 1994; ). En definitiva, la tecnología lítica será la más longeva de las habilidades técnicas del hombre, extendiéndose desde los albores de la humanidad, hace 2,5 millones de años en el Paleolítico, hasta bien entradas las Edades de los metales, pasado el Neolítico, unos 1.000 años a.C., cuando el hombre descubra el más duro de los metales hasta entonces, el hierro, que irá desplazando a la piedra paulatinamente.

Si se analiza el segundo gran bloque del presente trabajo, la didáctica, el contexto de la Prehistoria se pretende tratar en el currículum de secundaria y, en concreto, en la materia de Ciencias Sociales (CC.SS.) de 1º de la E.S.O., aunque también es ampliable a la materia optativa de Biología y Geología (ByG) de 4º de la E.S.O. En el conjunto de las competencias asociadas a ambas dimensiones, el presente trabajo pretende crear vínculos con la situación de los acontecimientos en el tiempo y un marco que los explique desde una perspectiva dinámica e integradora, así como valorar la preservación de las memorias plurales de los protagonistas del pasado, y de todas aquellas evidencias que facilitan comprender mejor cómo eran, cómo vivían, cómo pensaban los hombres y las mujeres que nos han precedido en el tiempo y que han tenido un papel en la construcción del presente.

Finalmente, el nexo de unión de estos dos grandes bloques de trabajo es el uso de plataformas TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación).





El conjunto de aspectos comentados hasta el momento y del hecho que la Prehistoria la veamos como el origen de la humanidad, de los grandes cambios físicos y culturales que nos han llevado al presente y, por lo tanto, como una forma de que el pasado nos ayude a entendernos a nosotros tanto cultural como socialmente, ha sido la gran motivación que nos han llevado a la realización del presente proyecto. El carácter interdisciplinario del mismo es un aspecto enriquecedor y motivador, que no suele estar presente en trabajos de investigación de este tipo de carácter didáctico y pedagógico. Además, el hecho de colaborar con instituciones de reconocido prestigio internacional en el campo de la investigación, caso del CSIC, y crear un grupo de trabajo colaborativo en que cada uno de los componentes, aporta ideas y sinergias para un proyecto común y enriquecedor para todas las partes implicadas: alumnado, profesorado, investigadores y familiares.

En definitiva, no podemos entender lo que somos hoy, con nuestras actitudes, diversidades, entre otras características, sin recurrir a las sociedades prehistóricas.

## OBJETIVOS

En primer lugar, digitalizar y representar en formato 3D una serie de piezas del Paleolítico y del Neolítico, así como cráneos y mandíbulas de las principales especies de homínidos.

Posteriormente, describir y analizar los principales componentes anatómicos del cráneo y de las mandíbulas superior e inferior, así como el desarrollo craneal, asociado a una mayor complejidad del cerebro, así como las variaciones que tuvieron lugar en las mandíbulas, y que permitieron diversificar las pautas alimenticias de los homínidos a lo largo de su historia.

Finalmente, diseñar y crear de materiales didácticos en diferentes formatos para que lleguen a una población más diversa posible, combinando métodos clásicos e innovadores (realidad virtual y realidad aumentada, audiolibros, juegos...) que ayude a acercar los conocimientos incluidos en la Prehistoria de manera atractiva y dinámica.

## MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS

El grupo de Arqueología de las Dinámicas Sociales del Instituto Milá y Fontanals (CSIC) y la Empresa Regirarocs presentó hace unas semanas dos maletas con diferentes materiales relacionados con la Prehistoria (figs. 1 y 2). Su pregunta inicial fue de cómo hacerlas utilizar como herramienta didáctica. A partir de aquí se llevaron a cabo diferentes reuniones de coordinación (fig. 3).



Figura 01

Actividad "Conocimiento de la Prehistoria desde los cómics" punto de partida de este proyecto.  
Fuente: propia.



Figura 02

Imagen de las dos maletas didácticas.  
Fuente: propia.



Figura 03

Reunión inicial para la presentación del proyecto en el instituto.  
Fuente: propia.

Posteriormente, se analizaron un conjunto de 12 cráneos correspondientes a 2 especies de *Australopithecus* y 4 de *Homo*, con dos muestras para cada una de ellas (fig. 4). Para ello, se realizó una serie de medidas (fig. 5) craneométricas (distancia GI, altura de la bóveda craneal y de la cara, entre otros) y mandibulares (recuento, si fuera posible, del número de dientes; ancho y profundidad, grado de prognatismo, entre otros). También se parametrizaron los maxilares inferiores con GeoGebra para estudiar su evolución a lo largo del tiempo (fig. 6).



Figura 04

Muestras de alguno de los cráneos utilizados en el estudio.  
Fuente: propia.

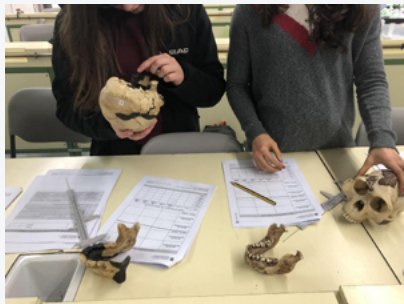


Figura 05

Análisis craneométrico con los alumnos de 1º de Bachillerato de CTMA.  
Fuente: propia.

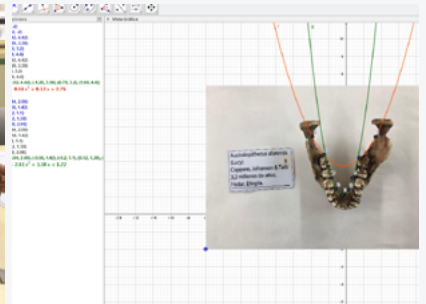


Figura 06

Parametrización del maxilar de *A. afarensis*, con las dos parábolas diferenciadas.  
Fuente: propia.





Finalmente, se convirtieron el conjunto de herramientas y cráneos en formas 3D con la aplicación Qlone (fig. 7) con el propósito de trabajar la Realidad Aumentada (RA) en cada una de las fichas didácticas (fig. 8). Se diseñaron y crearon actividades didácticas, formadas por tres grandes bloques: actividad en general, RA y diversidad. Para la segunda se utilizó el software y aplicación Augment para crear las parejas de RA, mientras que para la tercera, la aplicación Book Creator (fig. 9), para la realización de los audiolibros dirigidos, entre otros, a personas con ceguera y sordera.



Figura 07

Realización de las muestras 360° con la aplicación Qlone.  
Fuente: propia.

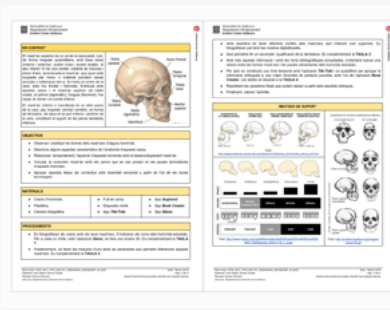


Figura 08

Detalle de una de las fichas didácticas desarrolladas.  
Fuente: propia.



Figura 09

Trabajando en el audiolibro con la aplicación Book Creator.  
Fuente: propia.

## RESULTADOS

Se han convertido en formato 3D (RA) las gran mayoría de piezas de las maletas del Paleolítico y de Neolítico que se podrán escanear con la app Augment de RA (fig. 10). Posteriormente, se han obtenido un total de 4 fichas didácticas, así como, dos líneas temporales con Tiki-Toki para mostrar el carácter dinámico de la prehistoria (fig. 11). Finalmente, con Book Creator, dos audiolibros, "El Paleolítico" y "El Neolítico" donde se ha introducido contenidos visuales y escritos (para personas sordas) y audios (para personas ciegas), pero abierto al resto de colectivos (fig. 12). Finalmente, se ha creado una ficha para cada herramienta, escrita también en Braille y con el contorno de la pieza y del cráneo, gracias a la colaboración de la ONCE.

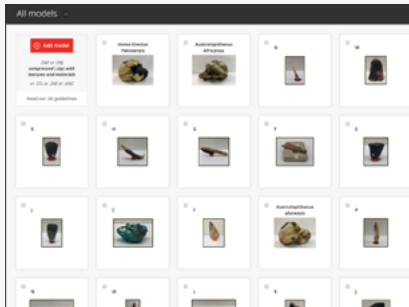


Figura 10

Detalle de la organización de las piezas escaneadas en Augment.  
Fuente: propia.

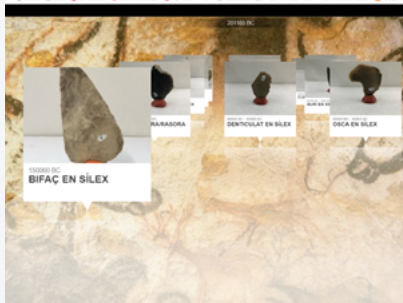


Figura 11

Línea del tiempo 3D del Paleolítico (herramientas) realizada con Tiki-Toki.  
Fuente: propia.



Figura 12

Detalle de uno de los audiolibros, sobre el Paleolítico, abierto en ordenador con Calibre.  
Fuente: propia.

Por lo que respecta a los cráneos, los resultados recogen hasta ahora un total de 12 datos de algunos parámetros anatómicos de la mitad de las muestras estudiadas (6 cráneos, de *Australopithecus afarensis* y *A. africanus*, y de *Homo sps.*). Los gráficos indican que, en relación con la evolución craneal, el paso de los australopitecos hasta los *Homo* más modernos fue bastante rápido, aunque *Homo sapiens* no tiene el volumen medio del cráneo más grande de todos (fig. 13). Por lo que respecta al resto de datos, destaca el aumento absoluto de la bóveda craneal y de la cara, así como la reducción progresiva de los arcos supraorbitales (fig. 14). Para los maxilares, se han estudiado el inferior y se ha observado que el hombre actual se encuentra entre los extremos que fueron *Australopithecus afarensis* y *H. neardenthalensis* en la relación profundidad vs. anchura del mismo. Igualmente, esta relación ha ido aumentando progresivamente (1,21 en *H. sapiens*), pero siendo ligeramente menor que *H. neardenthalensis* (1,24). También

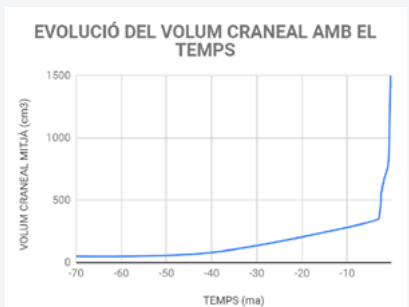


Figura 13

Evolución temporal del volumen craneal.  
Fuente: propia.



Figura 14

Relación entre la evolución de la bóveda craneal y la cara en los homínidos estudiados.  
Fuente: propia.

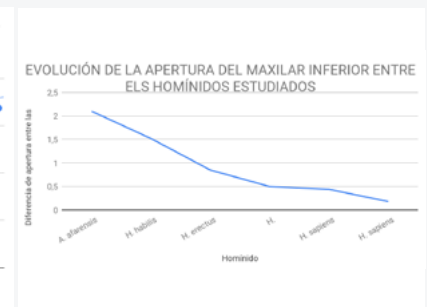


Figura 15

Gráfica de la evolución del parámetro a en el maxilar inferior de los homínidos estudiados.  
Fuente: propia.



ha habido una apertura progresiva de los mismos y una regularidad en toda su estructura si se parametrizan como si fueran parábolas. Todos los materiales realizados hasta el momento tienen, en mayor o menor medida, un formato que favorece su uso por colectivos muy diversos, sobre todo en aquellos con diversidad sensorial (fig. 16). La reunión realizada con la ONCE en Barcelona (fig. 17) y los correos compartidos han permitido crearlos bajo la supervisión de dicha institución.

Finalmente, y en relación a los materiales propiamente didácticos, se ha diseñado hasta el momento un total de cuatro fichas didácticas siguiendo la estructura explicada anteriormente, con una versión para el alumnado y otra para el profesorado (fig. 18).



Figura 16  
Contorno de una de las piezas estudiadas (herramienta bifacial en sílex), adaptado para personas ciegas (texturas).



Figura 17  
Reunión con el sr. Ramon Coma en la sede de la ONCE en Barcelona.  
Fuente: propia.



Figura 18  
Detalle de la actividad "Un poco de historia".  
Fuente: propia.

## CONCLUSIONES

El estudio anatómico de las muestras estudiadas hasta el momento han permitido observar una clara evolución de los parámetros relacionados con el cráneo. La evolución importante de los arcos supraorbitales entre los homínidos se puede explicar por el desarrollo del párpado superior. Esto habría permitido tener una mayor visión panorámica superior y, en consecuencia, podría haber afectado positivamente a un cambio en el modelo de alimentación.

El uso de tecnologías de diseño 3D como Qlone, ha permitido obtener muestras tridimensionales de algunos de los cráneos que servirán para observarlos y analizarlos en cualquier momento e interpretar mejor los cambios que estos han tenido a lo largo del tiempo. Su asociación con Augment, por tener una versión de ordenador y otra de móvil, ha generado que las muestras puedan





verse en 3D (RA), aspecto que favorece su observación y/o estudio sin tener necesidad de tener las muestras en vivo. El conjunto de aplicaciones utilizadas, en general, ha tenido un impacto muy positivo sobre el alumnado ya que han permitido descubrir formas de trabajo que, en combinación con otras más tradicionales, han dado como resultado un aprendizaje más globalizado.

La colaboración con instituciones como el CSIRE-CDEC, la IMF-CSIC y la ONCE ha permitido crear materiales mucho más completos e inclusivos. De todas formas, esta fase también se está realizando actualmente y se espera, en un futuro tener una mayor cantidad de los que ya están hechos (por ejemplo, el estudio de los maxilares convertirlo en una actividad en la cual el alumnado pueda trabajar, entre otras, la competencia matemática). En este sentido, la valoración de los alumnos que las han utilizado ha sido muy positiva ya que han trabajado la evolución humana de una manera más interdisciplinaria y aplicada, como si fueran investigadores.

En definitiva, este trabajo permite acercar, utilizando las nuevas tecnologías y de manera inclusiva, todo el contexto de la Prehistoria a una población cada vez más diversa. El próximo paso es mostrar, en los meses que siguen, este materiales y otros que se irán haciendo a las diferentes entidades colaboradoras para que forme parte de este proyecto que con tantas ganas hemos empezado a hacer y que todavía presenta un recorrido bastante grande e interesante.

Como propuestas de futuro tenemos pensadas las siguientes:

Continuar con el estudio matemático de los maxilares superiores y de las bóvedas craneales para acabar de parametrizarlos, y convertir los datos, posteriormente, en una o más actividades didáctica, implicando, si fuera necesario, al departamento de matemáticas.

Analizar la forma de los maxilares y las piezas dentales, tanto en número como en diversidad para corroborar si ha existido o no alguna influencia en relación con el hábito alimentario de los homínidos estudiados.

Aumentar la colaboración entre las instituciones comentadas anteriormente, para intentar estudiar un mayor número de cráneos, como para proponer el conjunto de materiales diseñados a otras del ámbito educativo, como los Centros de Recursos del Profesorado (CRP), para hacerlos llegar a centros educativos.

Crear una página web para facilitar el intercambio de experiencias y la comparación de todo este material.

Finalmente, que las actividades puedan ser revisadas, además por los investigadores de la IMF-CSIC por responsables de didáctica del CSIRE-CDEC y profesores de nuestro centro, especialmente, del área de las Ciencias Sociales.



## BIBLIOGRAFÍA

NOTA: La bibliografía que se indica en el presente apartado es una parte de la totalidad utilizada en el trabajo completo.

Augment.com. *The augmented reality platform for product visualization*. [Consultado: 15 de noviembre de 2018]. Disponible a:  
<https://www.augment.com/>

Bermúdez de Castro, J.M.(2016). *Reflexiones de un primate. ¿Existe una relación entre la dieta y el tamaño de los dientes?* Revista Quo. [Consultado: 25 de enero de 2018]. Disponible en:  
<http://reflexiones-de-un-primate.blogs.quo.es/2016/02/04/existe-una-relacion-entre-la-dieta-y-el-tamano-de-los-dientes/>

Canals, R. (2017). *Teaching and learning social sciences today: a subject-based or a problem-based approach?* Universitat Autònoma de Barcelona. [Consultado: 27 de noviembre de 2018]. Documento electrónico disponible en:  
<https://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000257/00000058.pdf>

Castellanos, F. (2010). *Análisis multifactorial de características craneológicas en póngidos y homínidos*. Universidad Autónoma de Madrid. [Consultado: 27 de noviembre de 2018]. Documento electrónico disponible en:  
<http://www.somobacteriasyvirus.com/hominidos.pdf>

Crítica Histórica. *Industrias líticas en el Paleolítico*. [Consultado: 23 de octubre de 2018]. Disponible en:  
<http://criticahistorica.com/industrias-liticas-en-el-paleolitico/>

EducaMadrid. (n.d.) Unidad didáctica 8. La prehistoria. [Consultado: 27 de noviembre de 2018]. Disponible en:  
[http://www.educa.madrid.org/web/cepa.arganda/sociedad\\_n1/Temas/LA%20PREHISTORIA.htm](http://www.educa.madrid.org/web/cepa.arganda/sociedad_n1/Temas/LA%20PREHISTORIA.htm)

Generalitat de Catalunya. Departament d'Educació (2015). *Currículum de l'educació secundària obligatòria. Àmbit social* (en catalán). [Consultado: 15 de noviembre de 2018]. Documento electrónico disponible en:  
<http://xtec.gencat.cat/web/.content/curriculum/eso/curriculum2015/documents/ANNEX-6-Ambit-s>

Generalitat de Catalunya. Departament d'Educació (2016). *Competències bàsiques de l'àmbit científicotecnològic* (en catalán). [Consultado: 15 de noviembre de 2018]. Documento electrónico disponible en:  
<http://ensenyament.gencat.cat/web/.content/home/departament/publicacions/colleccions/competencies-basiques/eso/eso-cientificotecnic.pdf>

Generalitat de Catalunya. Departament d'Educació. CSIRE-CDEC (Generalitat de Catalunya, Departament d'Educació). [Consultado: 27 de noviembre de 2018]. Disponible en: <http://srvcnpbs.xtec.cat/cdec/>



- Generalitat de Catalunya. Departament d'Educació. CSIRE-CDEC (Generalitat de Catalunya, Departament d'Educació). [Consultado: 27 de noviembre de 2018]. Disponible en:  
<http://svcnpbs.xtec.cat/cdec/index.php/material-en-prestec/protocols-i-material-bio-i-geo>
- Guichard, V. (2007). *Bibracte: une expérience de gestion intégrée d'un site archéologique*. Actes de la table ronde de Beroun (CZ). Institut archéologique de Bohême centrale, 2008, p.71-84.
- Institución Milà y Fontanals - CSIC. [Consultado: 27 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://www.imf.csic.es/>
- Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia López Piñero (Universidad de Valencia - CSIC). *La evolución del hombre*. [Consultado: 15 de noviembre de 2018]. Disponible en:  
[http://hicido.uv.es/Expo\\_medicina/Morfologia\\_XIX/evolucion.html](http://hicido.uv.es/Expo_medicina/Morfologia_XIX/evolucion.html)
- Lifeder. *¿Qué son los arcos supraciliares?* [Consultado: 25 de enero de 2019] Disponible en: <https://www.lifeder.com/arcos-superciliares/>
- Kate Wong. Scientific American (2001). *Early Humans Had Woodworking Technology*. [Consultado: 23 de octubre de 2018]. Disponible en:  
<https://www.scientificamerican.com/article/early-humans-had-woodwork/>
- Mr. Craneo & Mrs. Raquis (2014). *La evolución del cráneo humano*. [Consultado: 23 de octubre de 2018]. Disponible en:  
<https://elcraneoyusmisterios.wordpress.com/2014/11/19/la-evolucion-del-craneo-humano/>
- Nivart, A et al. (2001). *Les différents mode d'approche de l'archéologie en Europe*. Synthésés Ptomélee.
- Parque Lineal de Manzanares. *Las herramientas de piedra en nuestra historia*. [Consultado: 23 de octubre de 2018]. Disponible a:  
<http://www.parquelineal.es/historia/prehistoria/herramientas-liticas/arque>
- Programa EscoLab (Ayuntamiento de Barcelona). [Consultado: 27 de noviembre de 2018]. Disponible en: <http://escolab.bcn.cat/es>
- Programa Escolab. CSIC. *Conociendo la Prehistoria desde los cómics*. [Consultado: 27 de noviembre de 2018]. Disponible en:  
<http://www.dicat.csic.es/dicat/es/agenda/details/480>
- Qlone. *The all in one tool for 3D Scanning*. [Consultado: 10 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.qlone.pro/>
- Regirarocs. [Consultado: 27 de noviembre de 2018]. Disponible en:  
<http://regirarocs.com/>
- Ramón, J. (2015). *Didáctica de la Prehistoria*. Trabajo de final de grado. Universidad de La Rioja. [Consultado: 27 de noviembre de 2018].





Documento electrónico disponible en:

[https://biblioteca.unirioja.es/tfe\\_e/TFE001193.pdf](https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE001193.pdf)

RTVE.es (2018). *El documental - El Neolítico, puerta de la civilización:*

<http://www.rtve.es/alacarta/videos/el-documental/documental-neolitico-puerta-civilizacion/3842812/>

Ruiz Cobo, J. (1994). *La industria lítica en la Prehistoria cerámica de Cantabria.*

MUNIBE (Antropología-Arkeología), nº 46, pp. 69-86. ISSN 1132-2217.

[Consultado: 23 de octubre de 2018]. Documento electrónico disponible en:

<http://www.aranzadi.eus/fileadmin/docs/Munibe/1994069086AA.pdf>

Tiki-Toki. *Beautiful web-based timeline software.* [Consultado: 10 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.tiki-toki.com/>

Youtube. *Las huellas de uso en la industria lítica* (2012):

<https://www.youtube.com/watch?v=bArgDpVzmfI>



## ¿Cuál es el impacto de la medicina alternativa en Cádiz?

/ ACCESIT

**AUTORES** | DANIEL JOSÉ GARCÍA GARCÍA, ANDREA GARCÍA MANCILLA Y NURIA PÉREZ LÓPEZ

**COORDINADOR** | JESÚS MANUEL MATOS DELGADO

**CENTRO** | CC AMOR DE DIOS

**CIUDAD** | CÁDIZ

### RESUMEN |

Con este proyecto de investigación pretendemos averiguar el impacto que tiene la medicina alternativa en Cádiz (extramuros), sobre todo centrándonos en la “homeopatía” y la “acupuntura” como remedios alternativos a la medicina. A partir de la pregunta realizamos una fundamentación para buscar información sobre estos remedios. Surgieron en el seno del grupo tres hipótesis: los ciudadanos de a pie sólo conocen la acupuntura y no la consideran medicina alternativa, que la mayoría de las farmacias venden productos homeopáticos y los recomiendan, y respecto al personal del hospital, pensábamos que dicho personal estaría en contra de la medicina alternativa. Para llevar a cabo nuestra investigación la estructuramos en tres bloques. El primero puramente experimental, indagando en los productos homeopáticos, su composición y su fabricación, desarrollando una experiencia para comprobar la veracidad de la base de la homeopatía, la memoria del agua. El segundo bloque dedicado a una investigación de carácter social dividido a su vez en tres apartados: a) un primer estudio se encargó de realizar un trabajo estadístico sobre las opiniones del personal sanitario del Hospital Puerta del Mar de Cádiz, b) otro analizó la de los ciudadanos de a pie y c) el tercero analizó la oferta de productos homeopáticos en farmacias. Se han realizado en total más de 500 encuestas. Además, un tercer bloque que ha completado la investigación con un último experimento, hemos inventado un “producto milagro” y analizaremos la reacción de las personas ante dicho producto.

**Palabras clave:** medicina alternativa, homeopatía, acupuntura, pseudociencia.



## ABSTRACT |

With this research project we intend to find out the impact of alternative medicine in Cadiz (outside the walls), especially focusing on homeopathy and acupuncture as alternative remedies. On the basis of the original question we made a justification in order to search for information about these remedies. Three hypotheses arose within the group: we thought that the average citizen only has knowledge of acupuncture and does not consider it as an alternative therapy, that most pharmacies sell and recommend homeopathic remedies, and that hospital staff would be against alternative medicine. In order to carry out our research, we structured it in different sections. On the first one, purely experimental, we looked into what homeopathic remedies are made of and how they are manufactured, developing an experimental design in order to test whether the basis of homeopathy, water memory, exists. The second section focused on social research, consisting of three subsections: a) a first study carried out a statistical work about the opinions of the health staff working in Puerta del Mar Hospital (Cadiz), b) another study analysed the opinion of the average citizen, and c) a third study analysed the offer of homeopathic remedies in pharmacies. More than 500 surveys have been conducted. In addition, a third section has completed our research with a last experiment: we have invented a “miracle product” and will analyse different people’s reactions to it.

**Keywords:** alternative medicine, homeopathy, acupuncture, pseudoscience.



## 1. INTRODUCCIÓN

La “medicina alternativa” engloba a toda aquella práctica que dice tener efectos sanadores pero cuya veracidad no está comprobada científicamente, más allá del efecto placebo. Aunque en muchos casos, al ser tratamientos inocuos, no suponen ningún peligro para el enfermo ya que no tienen efectos secundarios, sí que están teniendo un efecto muy preocupante para la sociedad al sustituir los tratamientos de la medicina y retrasar su aplicación en tiempo necesario para la cura. Además, aunque son los menos, están apareciendo “productos milagro” que sí tienen efectos secundarios y suponen una estafa para enfermos o personas mayores.

Bajo la denominación de “medicina alternativa”, a la que a partir de ahora la denominaremos “pseudomedicina”, se incluyen prácticas como la homeopatía, acupuntura, naturopatía, quiropraxia, medicina tradicional china, etc. Son tantas, y algunas de tan reciente aparición, que sería complicado hacer una lista completa.

Debido a la imposibilidad de abarcar a todas estas “pseudomedicinas”, nos centramos en nuestra investigación sobre las dos que consideramos más conocidas: la acupuntura y la homeopatía. Dicho esto, sería obvio editar la pregunta “¿Cuál es el impacto de la homeopatía y la acupuntura en Cádiz?”. También debemos puntualizar que el estudio se ha realizado en la zona de extramuros, con una mayor población que la zona centro, ya que es donde está situado nuestro centro escolar y nuestras viviendas, por lo que de forma definitiva la pregunta a la que buscaremos respuesta en esta investigación sería “¿Cuál es el impacto de la homeopatía y la acupuntura en Cádiz (extramuros)?”.

Para llevar a cabo nuestra investigación la estructuramos en dos bloques. El primero puramente experimental, indagando en los productos homeopáticos, su composición y su fabricación, y un segundo bloque dedicado a una investigación de carácter social dividido a su vez en tres apartados: la opinión del personal sanitario del Hospital Puerta del Mar, la de los ciudadanos de a pie y la de las farmacias. Además, se ha completado la investigación con un último experimento, hemos inventado un “producto milagro” y analizaremos la reacción de las personas ante dicho producto.

Por último, y en virtud de los derechos de la propiedad, debemos señalar que todas las gráficas, tablas y fotografías son de autoría propia.

## 2. FUNDAMENTACIÓN

Para poder llevar a cabo este proyecto de investigación deberemos tener claro los siguientes conceptos:

- **Medicina alternativa**, o pseudomedicina, según la RAE el prefijo “pseudo-” significa falso, con lo cual podemos concluir en que pseudomedicina es la falsa



medicina. En general, se denomina con este término a los tratamientos cuya veracidad no está científicamente comprobada y que se utilizan en lugar de los sí demostrados científicamente.

- **Homeopatía**, la RAE la define como un sistema curativo que aplica a las enfermedades, en dosis mínimas, las mismas sustancias que, en mayores cantidades, producirían síntomas iguales o parecidos a los que se trata de combatir. Cabe destacar que dicho remedio se sustenta en la supuesta memoria del agua, no demostrada, según la cual las moléculas del agua almacenan las propiedades curativas de un compuesto homeopático sometido a diluciones en serie durante su preparación.
- **Acupuntura**, método de procedencia oriental que es, según la RAE, una técnica consistente en clavar agujas en puntos determinados del cuerpo humano. Al existir unos “canales de energía” curan alguna enfermedad o dolencia.

Según un estudio realizado por Adolfo Peña<sup>1</sup> y Ofelia Paco<sup>2</sup> en 2007(1), el uso actual de las medicinas alternativas está muy extendido, tanto en el mundo industrial como el preindustrial. Parte del creciente uso de las terapias alternativas se debe a su reciente validación profesional; muchos textos de divulgación general claman y justifican su uso, basándose en información académica no necesariamente de rigor científico.

Otro estudio realizado por Gualberto Díaz Sáez<sup>3</sup>, Gemma Moreno Sánchez<sup>4</sup> y Sylvaine Balmy<sup>5</sup> en 2010/2011(2) basado en un cuestionario on-line con más de 3000 muestras de adultos en España concluye con que la homeopatía es una opción terapéutica cada vez más demandada. Este estudio a nivel nacional afirma que uno de cada tres españoles (33%) ya la ha utilizado en alguna ocasión para aliviar o tratar distintos problemas de salud, y un 27% lo hace de forma ocasional o habitual mientras que un 75% de la población conoce la homeopatía.

### 3. HIPÓTESIS

Las hipótesis que nos planteamos inicialmente hacían referencia únicamente al frente social de la investigación:

- Los ciudadanos de a pie sólo conocen la acupuntura y no la consideran medicina alternativa.
- La mayoría de las farmacias venden productos homeopáticos y los recomiendan, ya que serán más rentables.

---

1           Presidente Senior de Medicina Interna, Good Samaritan Hospital. Cincinnati, Ohio, USA.

2           Servicio y Manejo de Datos, PPD Global Central Labs. Highland Heights, Kentucky, USA.

3           Médico homeópata, centro médico Conde de Orgaz, Madrid, director médico de laboratorios Boiron España, Alcobendas, Madrid, España.

4           Directora de comunicación de Laboratorios Boiron España, Alcobendas, Madrid, España.

5           Responsable de documentación de Laboratorios Boiron, Alcobendas, Madrid, España.



- El personal sanitario estará en contra de la medicina alternativa.

#### 4. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que decidimos utilizar para llevar a cabo la investigación tenía tres frentes que fueron analizado independientemente para posteriormente llegar a unas conclusiones comunes.

- **Experimentación homeopática**, donde basándonos en las diluciones con las que trabaja la homeopatía íbamos a poner a prueba sus teorías.
- **Investigación social**, a través de encuestas analizaríamos la aceptación de la homeopatía y la acupuntura a tres niveles: a) Hospital Universitario Puerta del Mar de Cádiz; b) Farmacias de la zona de extramuros de Cádiz; c) Habitantes de la zona de extramuros de Cádiz.
- **Producto “milagro”**, diseño, invento y análisis de las reacciones de las personas ante un producto que es capaz de reducir la masa corporal de una persona en 2 Kg en tan sólo diez minutos.

##### 4.1. EXPERIMENTACIÓN HOMEOPÁTICA

###### 4.1.1 EXPERIMENTO 1. LAS DILUCIONES HOMEOPÁTICAS.

En este primer experimento queríamos saber qué cantidad de producto quedaba tras las diluciones que utilizan para preparar los productos homeopáticos. Como soluto utilizamos el color como variable. Realizamos las diluciones en tubos de ensayo de mL, tomando en cada muestra de la anterior 100µL hasta llegar a quince diluciones (C-15). Con las muestras preparadas, contactamos con el Profesor D. Carlos Moreno Aguilar del Departamento de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz, el cual nos recibió en el laboratorio.

Una vez allí analizamos las muestras con el espectrofotómetro del cual obtuvimos como resultado que a partir de la sexta dilución el instrumento ya no detectaba restos de principio activo (violeta cristal), tras esto llegamos a las conclusiones siguientes: o bien el aparato no tenía suficiente rango de lectura como para seguir detectando restos de soluto o bien estaba en lo cierto y no quedaban restos del soluto.

###### 4.1.2. EXPERIMENTO 2. REGADÍO HOMEOPÁTICO.

En este segundo experimento queríamos comprobar la base teórica de la homeopatía: “la memoria del agua”, para ello diseñamos un experimento con plantas y veneno homeopático. Preparamos 3 recipientes iguales y con la misma cantidad de tierra para sembrar habichuelas, cada una de las plantas las regamos con agua del grifo (A), veneno (B) (Disolución 0,074M HgCl<sub>2</sub>) y veneno homeopático (C) (Disolución C-15 de la disolución 0,074M HgCl<sub>2</sub>).



Empezamos el regadío el día 8 de febrero de 2019, regando las plantas 3 veces a la semana; lunes, miércoles y viernes. Después de 10 semanas de riego pudimos comprobar como la planta (A) creció con normalidad, la planta (B) llegó a brotar pero en la misma semana murió y, la planta (C), creció también con normalidad. Tras esto, la base teórica de la homeopatía pierde su consistencia debido a que de ser cierta la planta (C), hubiera diferenciado de su crecimiento del de la planta (A), debería haber muerto también.

#### 4.1.3. EXPERIMENTO 3. ORINA HOMEOPÁTICA.

El tercer experimento tenía doble intencionalidad, por un lado, conseguimos llamar la atención de los oyentes durante nuestra ponencia en el XIV Encuentro de Alumnado Investigador EUREKA y por otro lado, estábamos añadiendo un soporte más a nuestra investigación. Durante la ponencia le planteamos al público la siguiente cuestión: “¿Quién sería capaz de beber orina homeopática?”. Nuestra hipótesis principal sería que la mayoría de las personas de la sala no levantarían la mano pero que seríamos capaces de cambiar esa primera respuesta. Para provocar este cambio de mentalidad, explicamos el proceso a seguir para convertir la orina en orina homeopática; además de demostrar mediante cálculos numéricos los valores de la urea. La orina homeopática consiste en diluir orina hasta la disolución C-15, tal y como hicimos en el primer experimento. Los valores de la urea fueron calculados de antemano teniendo en cuenta que la orina está compuesta por un 95% de agua y un 5% de urea. Los datos obtenidos están reflejados en la tabla mostrada.

Tabla 01

Dilución 1:	$5 \cdot [10]^{(-2)} \text{ g/ml}$
Dilución 2:	$5 \cdot [10]^{(-4)} \text{ g/ml}$
Dilución 3:	$5 \cdot [10]^{(-6)} \text{ g/ml}$
.....	
Dilución 14:	$5 \cdot [10]^{(-28)} \text{ g/ml}$
Dilución 15:	$5 \cdot [10]^{(-30)} \text{ g/ml}$

Con estos datos demostramos cómo, a partir de la sexta dilución, no queda ni una molécula de urea, exactamente 0,0000005 moléculas de urea; por tanto, hablamos de tan solo agua en las diluciones restantes.

#### 4.2 INVESTIGACIÓN SOCIAL

El segundo frente de la investigación versa sobre el aspecto social de la homeopatía y la acupuntura. Analizamos las variables que podrían darnos más información y a través de cuestionarios (formularios de Google) encuestamos a ciudada-



nos de a pie, al personal sanitario del Hospital del Servicio Andaluz de Salud de Cádiz, y entrevistamos todos los despachos de farmacia de Cádiz (extramuros).

### **Personal sanitario del Hospital Universitario Puerta del Mar de Cádiz.**

Contactamos con la Jefa de Enfermería del Hospital, Dña. Rosario García Juárez, que llevó nuestra propuesta a la Dirección del Hospital y tras el visto bueno de la Dirección, hizo llegar los formularios a través de canales internos, a todo el personal para que lo completaran. Conseguimos unas muestras con bastante fiabilidad en tres grupos: auxiliares de enfermería, enfermeros/as y médicos/as.

Las variables que trabajamos se observan en las capturas del “Formulario de Google”. Pero que las podemos resumir en la especialidad y la creencia o no en la homeopatía y la acupuntura. Hicimos un total de 237 encuestas para una población de 1.858 trabajadores en el hospital. Los datos obtenidos se trabajaron y analizaron utilizando el programa: “Hojas de cálculo de Google”.

ESPECIALIDAD	POBLACIÓN H.P. DEL MAR	ENCUESTAS REALIZADAS	GRADO DE CONFIANZA
Auxiliar de enfermería	646	58	90 %
Enfermer@s	723	116	93 %
Médic@s	489	63	91 %

Tabla 02

Encuestas realizadas en el hospital y grado de confianza.

### **Ciudadanos de a pie residentes en Cádiz (extramuros).**

Para el estudio estadístico de los ciudadanos de a pie se realizaron 300 encuestas a personas adultas residentes en la zona de extramuros de Cádiz. La población de residentes en la zona de extramuros es de aproximadamente 84.000 personas y realizamos 300 entrevistas con un grado de confianza del 91,75 % (con desplazamiento). También estos datos fueron tratados con “Hojas de cálculo de Google”. En relación con la pregunta: “¿Qué entiende usted por medicina alternativa?”, elaboramos un concepto tipo, de forma que en función de la respuesta nosotros éramos los encargados de validar “Si lo entiende” o “No lo entiende”.

### **Despachos de farmacia de Cádiz (extramuros).**

Las variables que nos interesaban en este análisis estadístico eran básicamente si vendían productos homeopáticos, el volumen de venta, cuál era el producto “estrella” y si los vendedores eran contrarios o no a la homeopatía. La población era de 46 despachos de farmacia y se intentó entrevistar a todos, pero sólo aceptaron a contestar a todas las preguntas 33 de ellos.





La pregunta que no querían contestar era la referente a si estaban a favor o en contra de la medicina homeopática.

### Producto “milagro”.

El tercer frente de la investigación consistía en el diseño e invención de una nueva línea de investigación ficticia, “*Endocrinocuántica Retrotemporal*” y de una bebida adelgazante basada en ella, la “*Acxion Reductil*”.



Preparamos una campaña de marketing y, por supuesto, una balanza “trucada” a través de un Arduino para que apareciera en la balanza una masa reducida en 2Kg transcurridos diez minutos tras haber bebido 5mL de “Acxion Reductil”. Obviamente el producto milagroso era agua con colorante comercial de heladería, inocuo, sin sabor y sin olor.

Nuestro objetivo era analizar el comportamiento de las personas ante un producto que ofrecería algo increíble pero muy apetecible para la sociedad actual, adelgazar sin esfuerzo. Para fundamentar el producto, elaboramos un dossier exhaustivo avalado por una Universidad y un prestigioso científico (también inventados) y lo dotamos de un contenido basado en un texto sin fundamento, pero con gran cantidad de palabras científico-sonantes, de tal forma que no pasaría ningún control científico pero que sí podría superar los controles de personas que no tuvieran nociones científicas. Para darle mayor carácter profesional al “engaño” diseñamos unas etiquetas y cajas con aspecto de medicamento.

## 5. ANÁLISIS DE DATOS

En este apartado haremos un análisis de cada una de las preguntas realizadas en cada uno de los sectores encuestados, dejando las gráficas más representativas.

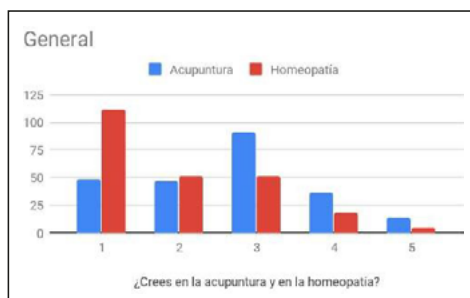
### 5.1. HOSPITAL PUERTA DEL MAR DE CÁDIZ

#### ¿Crees en la acupuntura/homeopatía?

Como se puede observar en la gráfica, los resultados obtenidos muestran un número que podemos considerar como bajo de personal del hospital que cree



en la homeopatía, sin embargo, la acupuntura arroja un índice que podemos considerar muy elevado. Agrupando los que creen algo hasta los que creen mucho (valoraciones 2 a 5), el porcentaje de personal sanitario que no cree nada en la homeopatía es del 53% y en la acupuntura sólo un 20%, es decir,



el 80% del personal sanitario del Hospital Puerta del Mar de Cádiz cree algo en la acupuntura como medicina alternativa, y un 47% en la homeopatía. (Valoraciones: 1 Nada a 5 Mucho).

Tabla 03

Datos relevantes obtenidos en los encuestados en el hospital.

ESPECIALIDAD	NO CREEN NADA HOMEOPATÍA (1)	NO CREEN NADA ACUPUNTURA (1)	CREEN HOMEOPATÍA (2 A 5)	CREEN ACUPUNTURA (2 A 5)
Auxiliar de enfermería	26%	16%	74%	84%
Enfermer@s	40%	12%	60%	88%
Médic@s	92%	42%	8%	58%

Observamos que cuanto mayor es el nivel de estudios del personal sanitario más baja es la creencia en la medicina alternativa. No obstante, los datos de creencia en la acupuntura son cuando menos preocupantes.

### ¿La ha practicado usted alguna vez?

Ante esta pregunta la mayoría contestó que no la ha practicado nunca, pero hay un 40% que la ha practicado alguna vez, mayoritariamente la acupuntura.

### ¿Se lo recomienda a algún familiar, amigo, conocido...?

Similares resultados hemos obtenido en el caso de recomendarla a conocidos.

### ¿Conoce usted a alguien que afirme que le ha funcionado la acupuntura?

La acupuntura es la medicina alternativa estrella, el impacto que tiene la acupuntura es tan grande y su efecto placebo ayuda a los resultados de esta pregunta.



Consideramos que al igual que los mitos, el efecto boca a boca es muy efectivo para los casos favorables, pero esto es sólo nuestra opinión subjetiva.

### ¿Sabe de algún paciente, conocido o familiar que se trate también con medicina alternativa?

Casi un 70% de los conocidos se tratan con medicina alternativa... muy preocupante.

### ¿Conoce usted a algún homeópata?

El 42,2% del personal sanitario conoce a algún homeópata, y tras hacer esta investigación, hemos comprobado que no necesariamente tienen que ser médicos, de hecho nuestro profesor se sacó el título en dos minutos por internet (a modo de comprobación de la poca fiabilidad científica que tiene).

### ¿Conoce usted a alguien que afirme que le ha funcionado la homeopatía?

Casi el 50% del personal sanitario conoce a alguien que cree que le ha funcionado la homeopatía. Parece que las autoridades sanitarias deberían informar más a la sociedad y dar un paso adelante ante estas “pseudomedicinas”, pero parece que económicamente es complicado.

## 5.2. CIUDADANOS DE A PIE CÁDIZ EXTRAMUROS

### ¿Cree en la acupuntura/homeopatía?

Con los datos podemos ver claramente que el impacto es bastante mayor en el caso de la acupuntura, donde casi una cuarta parte no cree nada en ella, sin embargo, en el caso de la homeopatía, la mitad de la población no cree en ella.

Tabla 02

Encuestas realizadas en el hospital y grado de confianza.

	NO CREEN NADA HOMEOPATÍA (1)	NO CREEN NADA ACUPUNTURA (1)	CREEN HOMEOPATÍA (2 A 5)	CREEN ACUPUNTURA (2 A 5)
Ciudadano de a pie	51%	28%	49%	72%

### ¿Ha practicado alguna?

A pesar de tener un impacto muy algo, su uso no es correlativo, lo que nos hace pensar que se trata de un remedio secundario, o al menos eso esperamos.



### **¿Recomienda este tipo de medicina alternativa?**

Y tampoco parece que estén tan seguros de su efecto, pues tampoco la recomendarían en un alto porcentaje (69,4%).

Relación estudios-creencia medicina alternativa.

Nos interesaba mucho comparar estas variables, para ver si se producía el mismo caso que con el personal sanitario, sin embargo, a la vista de los resultados, parece que es al contrario, es decir, parece que el aumento en la creencia se da para mayores estudios. Podemos analizar un poco estos resultados y desde un punto de vista interpretativo, consideramos que las personas con menos estudios no conocen bien la medicina alternativa y por tanto, no creen tanto en ella, además de la posible relación socioeconómica que pueda tener. Es decir, el uso de la medicina alternativa requiere de un gasto elevado y quizás no dispongan de esos recursos económicos.

### **5.3. DESPACHOS DE FARMACIA DE CÁDIZ EXTRAMUROS.**

#### **¿Están a favor o en contra de los productos homeopáticos?**

Pensamos que más de un 40% de vendedores (auxiliares y farmacéuticos), están a favor de los productos homeopáticos, de todas formas, creemos que estos datos están un poco falseados debido al efecto intimidatorio que tenía la pregunta.

#### **¿Venden productos homeopáticos?**

El 57% de los despachos de farmacia vendían productos homeopáticos de forma directa o bajo pedido.

#### **¿Cuánta cantidad suelen vender?**

Sin embargo, parece que su venta no es muy alta, posiblemente por los altos precios que tienen y que no son recetados por la Seguridad Social y, por tanto, no tienen descuentos.

## **6. CONCLUSIONES**

Durante el análisis de los datos hemos estado sacando conclusiones, pero podemos resumirlas en las siguientes:

- La mayoría de los encuestados tenían conocimiento o estaban al tanto de la homeopatía y la acupuntura, sobre todo esta última.
- Dentro de las distintas especialidades que trabajan en el Hospital Puerta del Mar de Cádiz: a mayor nivel académico, menos es la creencia en este tipo de remedios. Sin embargo, los resultados obtenidos por los ciudadanos, resulta sorprenden-



temente lo contrario, a mayor nivel académico mayor es su nivel de creencia en los remedios alternativos.

- La mayoría del personal sanitario del hospital conoce a alguien que “dice” haberle funcionado la acupuntura y/o que se trate con ella.

- En la mayoría de las farmacias se pueden adquirir con gran facilidad (o los tienen o bajo pedido) productos homeopáticos y el personal de estos centros no alertan de ser un remedio sin base científica.

- Una de las conclusiones que surgió a partir del producto “milagroso”, era la facilidad para engañar a un público necesitado de Ciencia.... ¡menos mal que no somos estafadores!

- Desde este grupo de investigación queremos denunciar la impartición de cursos sobre acupuntura en la Universidad de Cádiz.

En resumen, podemos dar respuesta a la pregunta inicial de la investigación de la siguiente manera:

*La homeopatía no tiene muchos seguidores en la ciudad de Cádiz, sin embargo, la acupuntura goza de una aceptación preocupante que hasta llega a ser asociada con Ciencia.*



## 7. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

©Guía de la homeopatía (n.d.).

<http://www.guiadelahomeopatia.com/uncategorized/homeopatia/>

©Real Academia Española (RAE) (2018)[en línea]. Disponible en

<https://dle.rae.es/?w=diccionario>

©Saludemía (n.d.) [en línea]. Disponible en <https://www.saludemia.com/>

Biótica Bioquímica Analítica SL (n.d.). Biotica. [en línea]. Disponible en

[www.biotica.es/es/empresa/nuestra-tecnologia](http://www.biotica.es/es/empresa/nuestra-tecnologia)

Boiron (n.d.). [en línea]. Available from

<http://www.boiron.es/medicamentos-homeopaticos#>

Boticariagarcia (2017) ¿Quién le pone el nombre a los medicamentos? Boticaria García. [en línea]. 19 de mayo de 2017. Disponible en

<https://boticariagarcia.com/quien-pone-nombre-medicamentos>

<http://scielo.isciii.es/pdf/dolor/v20n5/tecnicasinter.pdf>

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1025-55832007000100012&script=sci\\_arttext&lng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1025-55832007000100012&script=sci_arttext&lng=en)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1888852612701571>

Mejía, R. Así se elabora un medicamento homeopático. Salud y medicinas.

[en línea]. Febrero de 2018. Disponible en

<https://www.saludymedicinas.com.mx/centros-de-salud/homeopatia/art>

## 8. AGRADECIMIENTOS

Queremos desde aquí agradecer la colaboración de nuestra profesora Dña. Mar Santos Mayone, que nos ayudó con el estudio estadístico y colaboró en todo el proceso de investigación, sin la cual esta investigación no podría haberse llevado a cabo. A Dña. Victoria Vizcaíno García, que nos ayudó en la parte divulgativa, tanto en la presentación como en la ponencia oral. A los profesores del Departamento de Química Analítica de la Universidad de Cádiz: D. Carlos Moreno Aguilar y D. Juan José Pinto Ganformina. Y, por último, a la persona que nos facilitó el acceso al personal del hospital Universitario Puerta del Mar de Cádiz, Dña. Rosario García Juárez.





# ARTES Y HUMANIDADES

---

## PRIMER PREMIO |

- 78 - **Con la muerte en los talones. Crónica de una fuga y dos guerras**  
CLÀUDIA PUBILL QUINTILLÀ

## SEGUNDO PREMIO |

- 90 - **Reflexión sobre la perspectiva utilitarista de P. Singer en torno al infanticidio**  
**¿Es justificable éticamente el infanticidio?**  
ESTELA MORENO APARICIO

## TERCER PREMIO |

- 103 - **Verdad y libertad en George Orwell**  
CLAUDIA RODRÍGUEZ GARCÍA
- 115 - **Entre el pasado y el futuro: acercamiento virtual a la villa romana Los Villaricos**  
MARIA JOSÉ GANGA VICENTE

## PREMIO ESPECIAL UNIVERSIDAD DE MÁLAGA |

- 125 - **Causas de la intervención estadounidense en la crisis del Congo: una revisión historiográfica**  
ELENA ROLLÁN MARTÍN





# ARTES Y HUMANIDADES

---

## ACCESIT |

- 137 - **Literatura leída mayoritariamente por mujeres en la actualidad. La novela erótico-romántica**  
SERGIO BAENA SÁNCHO
- 159 - **Palos de telégrafo de lleida a almería. Vida y obra de Celia Viñas**  
CARLA VADILLO FABRA
- 161 - **Medea en la literatura: variaciones sobre un mito. Desde la Antigüedad hasta el siglo XXI: Eurípides, Séneca, Anouilh y López Mondéjar**  
ELISABETH CUEVA REDONDO
- 173 - **Enterramientos en decúbito prono de la iglesia de San Nicolás en Tudela (Navarra)**  
MARÍA COMPÉS AGRAMONTE, CARMEN AGUIRRE LOSTADO  
Y MARIO SANZ SANZ



# Con la muerte en los talones. Crónica de una fuga y dos guerras

---

/ PRIMER PREMIO

**AUTORA** | CLÀUDIA PUBILL QUINTILLÀ

**COORDINADORA** | MARÍA TERESA CLOSA VIDAL

**CENTRO** | IES GUINDÀVOLS

**CIUDAD** | LLEIDA

## RESUMEN |

A partir de una cinta grabada el propio protagonista antes de morir, aunque incompleta, y un par de fotografías, la presente investigación ha pretendido reconstruir de forma histórica y documental contrastada la biografía de Miguel Quintillà Zanuy, un carpintero miembro del consejo municipal republicano de Purroy, pequeño pueblo de la Ribagorza, que en mayo de 1938 consiguió escapar de una muerte segura a manos de la guardia civil, y en su huida se convirtió en combatiente republicano en las batallas del Segre y del Ebro; luego en prisionero de Franco y, habiéndose fugado de nuevo de un batallón de trabajo en el pirineo navarro, en soldado aliado en la Segunda Guerra Mundial, primero en las filas de la *Légion étrangère française*, participando en la batalla de Narvik en los fiordos noruegos, y luego en la *Number One Spanish Company del Ejército* británico, que desembarcó en Normandía como tropa auxiliar de las fuerzas de combate.

Para dicha reconstrucción se ha recurrido a todo tipo de fuentes históricas: archivos privados y públicos, nacionales e internacionales; entrevistas a familiares y expertos; bibliografía especializada y documentación de todo tipo. A pesar de que mi análisis no se ha fijado en un colectivo, sino que ha pretendido retratar la realidad individual de un carpintero que se convirtió involuntariamente en fugitivo, prisionero y soldado en dos guerras, puede servir de reivindicación extensible a la figura y aportación de tantas personas anónimas que han sido protagonistas de la HISTORIA en mayúsculas



## ABSTRACT |

Based on some family pictures and a recording made by the protagonist himself, which does not cover the whole period dealt with, I have tried to reconstruct Miguel Quintillà Zanuy's biography. A carpenter and member of the Republican Council of Purroy, in the Ribagorza region (Spain), he managed to escape execution by the Guardia Civil in May 1938 and after his escape became a republican combatant in the Segre and Ebro battles. After being taken prisoner by the Franco regime, he managed to escape again, this time from a work battalion in the Navarre Pyrenees. He joined the French Légion étrangère and fought against Hitler during the Second World War in the battle of the Norwegian fjords. After that, he was a soldier of the Number One Spanish Company of the British Army, which landed on the Normandy coast serving as auxiliary troops for the fighting forces.

In order to carry out my research I had to make use of several types of historical sources: I consulted private and public archives, both national and international ones and interviewed family members and experts in biography and different kinds of documents. Even though my analysis has not focused on any particular social group and it is basically an attempt at portraying a carpenter who became a fugitive, a prisoner and a soldier in two wars against his own will, it may be a way of recognising the role played by anonymous people, the true heroes in History.



## 1. INTRODUCCIÓN

El azar y la coincidencia de apellidos hizo que un desconocido hiciera llegar en 2015 a nuestra casa una cinta de audio que un tío de mi abuelo grabó un año antes de morir, a los 101 años. A partir de este audio, nació mi curiosidad para saber quién era y qué le pasó a Miguel Quintillá, un exiliado republicano de una aldea de la Ribagorza, cuya biografía era prácticamente desconocida para sus propios familiares que le perdieron el rastro de 1938 a 1978, sin saber los detalles de las penalidades sufridas y las muchas aventuras vividas por él durante la Guerra civil española y la Segunda Guerra Mundial.

## 2. ANTECEDENTES – ESTADO DE LA CUESTIÓN

Son muchísimos los estudios que se han ocupado de los diferentes temas que se abordan en mi trabajo.

Sobre la guerra civil en la Ribagorza, Cataluña y el valle del Ebro, he tenido como guía básica a C. Barrull y O. Jané (2010), *La Guerra Civil a la Ribagorça: textos y pensaments sobre la República, la guerra i l'exili al Pirineu* y a J. Sànchez y P. Clua (2005), *La Batalla de l'Ebre. Un riu de sang*.

A propósito de las víctimas de la represión franquista, es esencial V. Pardo y R. Mateo (2016), *Todos los nombres: víctimas y victimarios* (Huesca, 1936-1945), con 559 biografías de víctimas.

En cuanto a la *Légion étrangère* y la 13e DBLE, me ha sido muy útil el artículo en línea de S. Cornil, “Le ralliement d'une unité: la 13e demi brigade de Légion étrangère”, en la *Fondation de la France Libre*. Sobre el *Pioneer Corps* y la *Number One Spanish Company*, aparte de D. Gaspar y D. Arasa, he usado la biografía de Francesc Dalmau (Marco, 2015) y la autobiografía de Antonio Grande (2002).

Finalmente, sobre el desembarco en Normandía, me ha servido de guía la página web del Museo del desembarco en Arromanches y la del Overlord Museum, en el cementerio americano de Colleville-sur-Mer y algunas de sus publicaciones.

## 3. OBJETIVOS

El objetivo general de mi investigación ha sido reconstruir de forma documental contrastada la biografía de Miguel Quintillá Zanuy. Este objetivo, contiene otros objetivos parciales: 1) Recuperar un fragmento de la historia familiar, silenciado por el ambiente represivo de la dictadura franquista; 2) Certificar el grado de coincidencia entre la versión narrada en el audio y la historia “oficial”; 3) Reflexionar sobre la motivación que empuja a alguien a dejar testimonio de lo vivido: necesidad de auto justificación o de supervivencia a



través del recuerdo; 4) Aprender a usar fuentes históricas diversas y a reconstruir mediante otras fuentes las lagunas en la historia oral de un informante; 5) Demostrar que el estudio de la historia individual es imprescindible para completar la historia colectiva que aparece en los libros de historia escolares; 6) Reivindicar la figura y aportación de personas anónimas que vivieron hechos cruciales de nuestra historia reciente, víctimas del azar que han determinado nuestro presente y que deberían guiar nuestro futuro.

#### 4. METODOLOGÍA

Muchos y diversos pasos han sido necesarios, que a guisa de resumen son los siguientes: 1) Transcribir el audio en el que Miguel explica su vida; 2) recabar toda la información bibliográfica posible sobre la guerra civil y los españoles republicanos en la 2GM; 3) Contactar con investigadores destacados sobre el tema; 4) Consultar archivos oficiales y privados nacionales e internacionales (registro civil, AHN -Causa general-, ANC, Armée française, British Army, etc); 5) Contactar con familiares y entrevistarlos; 6) Conseguir la hoja de servicio del protagonista de mi investigación en la *Légion Étrangère* y la *British Army* (NOSC); 7) Visitar *in situ* los escenarios del desembarco de Normandía y la ruta seguida por Miguel Quintillà hasta el fin de la 2GM en Europa; 8) Hacer un relato biográfico contrastado; 9) Confeccionar un mapa de localización geográfica y una línea temporal interactiva; 10) Elaborar unas conclusiones.

#### 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS. LA RECONSTRUCCIÓN BIOGRÁFICA

El protagonista de mi investigación, Miguel Quintillà Zanuy, nacido en 1907, creció en el pequeño pueblo ribagorzano de Purroy, donde aprendió el oficio de carpintero y se casó el verano de 1932 con Adelina Llena, también de Purroy. Acababa de nacer su hijo y morir su esposa, cuando en 1936 estalló la guerra civil.

De ideología anarcosindicalista, estuvo involucrado directamente en la política local (fue miembro del consejo municipal republicano) y también miembro del comité revolucionario del pueblo durante el periodo 1936- 1938, durante el cual se hizo un intento de colectivización y otras acciones revolucionarias. En mayo de 1938, después de la llegada de las tropas nacionales a Purroy y Benabarre, Miguel es detenido -y es en este momento cuando empieza su narración en formato audio-.

Según explica y las pruebas documentales corroboran, él y otros miembros del consejo municipal de Purroy son detenidos e interrogados en el cuartel de la guardia civil de Benabarre, acusados de actos violentos contra la propiedad y las personas, acusaciones por las cuales algunos compañeros suyos son condenados y ejecutados al garrote vil en la prisión de Huesca 7 meses más tarde. A la salida de uno de los interrogatorios, consigue huir y esconderse.



Inicia entonces su primera ruta de fugitivo en solitario, desde finales de mayo hasta medios de junio de 1938, durante la cual recorrerá a pie y de noche unos 80 km por las montañas, desde Benabarre hasta Tremp.

En Tremp se incorpora a las filas de las tropas republicanas, con las cuales iniciará su particular peregrinaje de derrotas, desde junio hasta noviembre de 1938: pasando por Sant Guim, el CRIM de Manresa, participando en la sangrienta batalla de Vilanova de la Barca y en la terrible batalla del Ebro en la serra de Cavalls, donde las tropas republicanas son casi aniquiladas.

Derrotados, él y sus compañeros se repliegan a pie hacia Barcelona y a la altura del Vendrell, cuando eran llevados nuevamente al frente, sufren un accidente de camión en el cual él resulta gravemente herido, con una pierna rota.

Empieza entonces, desde noviembre de 1938 hasta febrero de 1939, un particular circuito por hospitales de guerra, en Sitges y en Barcelona, primero en el Hospital de Sant Gervasi y después en el Hospital de la Alianza Obrera, atendido por un discípulo del Dr. Trueta.

Ya con Franco en Barcelona, en febrero de 1939 Miguel empieza la penosa ruta de los esclavos de Franco: primero es internado al campo de concentración de Horta de Barcelona y después es llevado a trabajos forzados a Banyoles, Figueres, Irún, Elizondo y el valle del Roncal. Miguel soportará las miserias de esta esclavitud 8 meses, hasta que finalmente decide y consigue escaparse.

El 8 de septiembre de 1939 consigue cruzar a pie la frontera francesa, a la altura del pueblo de Sainte Engrâce, según mis cálculos.

Una vez allí, es llevado al campo de Gurs. Pero el ambiente no le gusta y decide alistarse en la Legión extranjera francesa por un periodo de 5 años.

Empieza entonces su viaje como legionario bajo bandera francesa, viaje que desde octubre de 1939 a marzo de 1940 lo llevará de Marsella a Oran, Sidi Bel Abbès, el Sáhara argelino, y nuevamente a Marsella.

A partir de marzo y hasta junio de 1940 participará como soldado de la famosa Décimo tercera Media Brigada de la Legión extranjera francesa, en la campaña de Noruega, que durará 3 meses y donde perderán la vida muchos legionarios españoles en las ciudades noruegas de Bjerkvik y Narvik, siendo una de las pocas victorias aliadas anteriores al día D.

Pero la ocupación alemana de Francia provocará la evacuación de las tropas de Narvik, en las que está Miguel, y repliegue a territorio inglés de lo que queda del ejército francés en junio de 1940.

Es entonces cuando el general de Gaulle pronuncia su famoso *Appel* y se for-



man las Fuerzas de la *France Libre*, a las que se incorporará una parte de los legionarios de origen español.

Pero Miguel y otros 169 legionarios se amotinan en el puerto de Bristol el 1 de julio de 1940 y se niegan a volver a luchar bajo bandera francesa por miedo a ser entregados a Franco. Después de muchas horas de tensión, finalmente el War Office inglés acepta que formen parte de una unidad especial de las tropas auxiliares del ejército británico, la Number One Spanish Company.

En esta unidad, formada íntegramente por excombatientes republicanos españoles y comandada por oficiales ingleses, Miguel cumple servicio en las tareas y preparativos para el día D, en diferentes campamentos en el sur del Reino Unido, desde julio de 1940 hasta agosto de 1944.

El 14 de agosto de 1944, las tropas auxiliares desembarcan en la costa de Normandía, en Arromanches, para apoyar a las tropas de asalto que habían desembarcado 2 meses antes.

Desde agosto de 1944 hasta septiembre de 1945, Miguel como miembro activo de la NOSC se moverá por Francia y Bélgica, desde Arromanches hasta Las Ardenas, pasando por Caen, Le Neubourg o Romedenne, hasta que la guerra en Europa se acaba, con la derrota alemana y la victoria aliada.

Desgraciadamente, el testimonio oral de Miguel se interrumpe a principios de 1945, pero su ficha militar me ha permitido reconstruir a grandes rasgos sus pasos.

En septiembre de 1945, embarca con el resto de la NOSC en el puerto de Ostende y vuelve a Inglaterra, donde permanecerá en el servicio activo hasta principios de 1946, cuando las tropas británicas participantes en la segunda guerra mundial son desmovilizadas.

Ya como civil, se instala como puede en Londres, encuentra un trabajo de servicio en el lujoso hotel Grosvenor y en 1949 hace los trámites para que su único hijo Miquelet, de entonces 13 años y que durante estos años se había criado como un hermano más de mi abuelo en el pueblo de Purroy, se reúna con él.

A partir de entonces, padre e hijo, prácticamente unos desconocidos, inician su vida en común en Londres.

Miguel padre conocerá a su segunda esposa, Eloísa Gómez, una granadina también exiliada por la guerra civil, con un hijo de más o menos la misma edad y se casará con ella en 1964.

Miquelet, ahora Michael, por su parte, se convertirá en un auténtico inglés y se casará con una londinense llamada Ann en 1965.



Miguel y su familia no se atreverán a volver a España hasta después de la muerte de Franco y la ley de Amnistía de octubre de 1977. Entonces se reencontrará, en su primera visita después de 40 años de ausencia forzosa, con familiares y amigos.

En la década de los 90, ya jubilados, Miguel y Eloísa se instalarán definitivamente en Carchuna, en la costa granadina, tierra de Eloísa, donde morirán primero ella y, finalmente, Miguel, a la edad de 101 años.

## 6. CONCLUSIONES

A pesar de la falta inicial de datos fiables sobre la vida de nuestro protagonista y su entorno antes y durante la guerra civil, y, a pesar de la ausencia de testigos vivos de los hechos ocurridos y la borrosa memoria de quienes entonces eran unos niños demasiado pequeños para recordarlo, creo que he conseguido reconstruir bastante detalladamente la involuntaria peripecia de Miguel Quintillá por Europa, desde el pequeño pueblo de Purroy hasta los puertos del sur de Inglaterra, pasando por las dunas del desierto de Argelia o las nieves escandinavas de Narvik.

Habiendo finalizado, puedo decir que son diversas las conclusiones a las cuales he llegado.

Así, en cuanto a la coincidencia entre las vivencias explicadas por nuestro protagonista con las teorías historiográficas sobre el itinerario de los exiliados españoles durante la Segunda Guerra Mundial, puedo afirmar que esta coincidencia es, con algunas excepciones sin relevancia, total. Hechos narrados por Miguel que de entrada podían parecer fruto de su imaginación o una exageración, han resultado totalmente coincidentes con los hechos que la crónica oficial relata.

Sobre la fidelidad de los recuerdos y la necesidad de dejar testimonio de los hechos vividos, he concluido que el tiempo va deteriorando poco a poco el recuerdo de las experiencias vividas, pero la esencia del relato y los hechos importantes están increíblemente fijados en su memoria.

En cuanto a la historia oral como método de investigación, he comprobado que el testimonio de Miguel recoge una experiencia vital que de otra manera se perdería con el paso del tiempo, de forma que el audio que he analizado se puede considerar un documento histórico único. Así pues, creo que ha quedado demostrado que la historia oral permite llegar a conocer aquello que no pueden los documentos históricos clásicos: los sentimientos, la actitud y el espíritu.

A pesar de que mi trabajo ha pretendido retratar la realidad individual y personal de un carpintero que se convirtió involuntariamente en fugitivo, prisionero y soldado en dos guerras, creo que puede servir de reivindicación extensible





a tantas personas anónimas que han sido las verdaderas protagonistas de la historia en mayúsculas.

Finalmente, puedo concluir que hacer este trabajo me ha abierto la mente: me ha mostrado la cara más dura de la guerra y, a la vez, la actitud más resistente y de supervivencia ante las situaciones más desesperadas.

Con mi investigación he pretendido cumplir el deseo secreto del propio Miguel cuando grabó la cinta que ha sido el origen de mi investigación: dejar testimonio de lo que vivió él y muchos otros, y dar a su relato la importancia que merece, haciendo oír su voz más allá de su vida y lo sobreviva después de su muerte.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Dadas las características de mi trabajo, el apartado de agradecimientos es especialmente extenso, aunque aquí solo pueda exponer mi agradecimiento de forma muy resumida. En primer lugar, a mi tutora de investigación, por su apoyo constante. He de dar las gracias también a todos los miembros de las familias Quintillá, Zanuy, Llena y Cardona, así como a los hermanos Gómez-Amate, por enviarme el audio que ha sido el origen de toda mi investigación. También quiero expresar mi agradecimiento a los investigadores Diego Gaspar, Francesc Marco y Mercedes Oriol, por ayudarme de forma especialmente generosa y desinteresada.

---

## 8. BIBLIOGRAFÍA, WEBGRAFÍA Y FUENTES DOCUMENTALES

### 8.1 BIBLIOGRAFÍA

- Arasa, D. (1990): *Els Catalans de Churchill*. Barcelona: Curial.
- Arasa, D. (1991): *Los Españoles de Churchill*. Barcelona: Armonía.
- Barrull, C. y Jané, O. (eds.) (2010): *La Guerra civil a La Ribagorza: textos i pensaments sobre la República, la guerra i l'exili al Pirineu*. Lleida: Pagès.
- Beaumont, E. y Mendiola, F. (2006): *Esclavos del Franquismo en el Pirineo: la carretera Igal-Vidangoz-Roncal (1939-1941)*. Tafalla: Txalaparta.
- Cornil, S. (2009): "Le ralliement d'une unité: la 13e demi brigade de Légion étrangère", *Fondation de la France Libre*, 20/11/ 2009.  
Online: <http://www.france-libre.net/ralliement-unite/>
- Gaspar, D. (2010): *Republicanos aragoneses en la Segunda Guerra Mundial. Una historia de exilio, trabajo y lucha. 1939/1945*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Gaspar, D. (2015): *La guerra continúa: voluntarios españoles al servicio de la Francia libre (1940-1945)*. Madrid: Marcial Pons.



- Gaspar, D. (2016): “De una guerra a otra. Oscenses en la Resistencia en Francia. 1939-1945”, *Revista Argensola* 126, pp. 15-39.  
Online: <http://revistas.iea.es/index.php/ARG/article/view/2651/2645>
- Grande, A. (2002): *Number one Spanish Company. Memorias de Antonio Grande*. Madrid: Club universitario.
- Légout, G. (2014): *El Día D y la batalla de Normandía*. Bayeux: Éditions Orep.
- Majoulet, C. y Brunel, A. (2010): “La campagne de Norvège 9 avril - 13 juin 1940. Dossier n° 1: la campagne vue du côté français”, *Les Chemins de la Mémoire*.  
Online: <http://archives.ecpad.fr/wpcontent/uploads/2010/06/norvege.pdf>
- Marco, F. (2015): *Francesc Dalmau. De Normandía a Palamós*. Barcelona: Fundació Josep Irla.
- Monfort, A. (2007): *Barcelona 1939: Ocupació y repressió militar. El camp de concentració d’Horta i les presons de la ciutat*. Tesis Doctoral. Departament d’Història Moderna i Contemporània. Universitat Autònoma de Barcelona. Online: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/4818/amc1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Oriol, M. (2016) *El giro ideológico de Francisco Oriol Catena a través de sus artículos en la prensa granadina (1923-1938)*. 2 vols. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias de la Información. Dept. Periodismo. Univ. Complutense de Madrid.
- Pardo, V. y Mateo, R. (eds.) (2016): *Todos los nombres: víctimas y victimarios (Huesca, 1936-1945)*. Zaragoza: Rolde de Estudios Aragoneses. 2 vols.
- Rhodes-Wood, E.H. (1960): *A War History of the Royal Pioneer Corps, 1939-1945*, London: Aldershot Gale & Polden.
- Sánchez, J. y Clua, P. (2005): *La Batalla de l’Ebre. Un riu de sang*. Gandesa: Comebe.

## 8.2 WEBGRAFÍA

- Asociación por la Recuperación de la Memoria Histórica de Aragón:  
<https://www.armharagon.com/>
- Centro republicano “Manolín Abad” de Huesca:  
<http://www.republicahuesca.org/Documentos/Lista/F.html>
- Espais de Memòria de Vilanova de la Barca*:  
<http://www.emvb.cat/es>
- Memorial democràtic de Catalunya:  
<https://www.memoriacatalunya.org/index.html>
- Navío Anárquico-Asociación Isaac Puente:  
<http://www.navioanarquico.org/index.php/sangre/represion/B/0 Portal>



Portal DARA del Gobierno de Aragón:  
<http://www.sipca.es/dara/memoriademocratica/>

Víctimas de la guerra civil terres de Lleida:  
<http://www.victimesguerracivilfranquisme.udl.cat/presentacio.php>

Sobre la 13e Demie Brigade de la Légion Étrangère y la NOSC  
<http://royalpioneer corps.co.uk/rpc/contact.htm>;  
<http://www.fightingbasques.net/es-es/13e-Demi-brigade>; <http://www.fightingbasques.net/es-es/sancho-de-beurko>

<http://www.france-libre.net>; <http://www.lalegionetrangere.fr/historique-13dbble.php>

<http://www.musee-arromanches.fr/historique>

<http://www.overlordmuseum.com/musee/presentation-du-musee/>

<http://www.researchingww2.co.uk/ww2-abbreviations-acronyms/>

<http://www.rlcarchive.org/ContentRPCspanish-company-number-one.html>

[https://www.legion-etrangere.com/mdl/info\\_seul.php?id=306&titre=Les-missions-du-BALE](https://www.legion-etrangere.com/mdl/info_seul.php?id=306&titre=Les-missions-du-BALE)

Imperial War Museum: <http://www.iwm.org.uk>; <http://www.naval-history.net/xDKWW2-3900Intro.htm>

### 8.3 FUENTES DOCUMENTALES

Portal de Archivos Españoles:  
<http://pares.mcu.es/victimasGCFPortal/staticContent.form?viewName=copia>

Centro Documental de la Memoria Histórica de Salamanca Archive

Archivo Histórico Nacional (AHN), Madrid: Causa General (CG): Huesca, L. 1408-1415; Sección Político-Social (Aragón). Cajas 1-145; Fondos Contemporáneos. P. principal, L. 1460 (1) Exp. 1; L. 1460 (2), Exp. 4; L. 1468, Exp. 2, p. 2; Exp. 3 p. 3: “Cárceles y Sacas de presos”.

AHP Huesca: <http://www.patrimonioculturaldearagon.es/archivo-historico-provincial-de-huesca>

House of Commons Hansard archives – UK Parliament:  
<https://api.parliament.uk/historichansard/sittings/1947/jan/index.html>

Arxiu Nacional de Catalunya: <http://ancaula.cultura.gencat.cat/>

National Archives (UK):  
<http://www.nationalarchives.gov.uk>; [www.armymuseums.org.uk](http://www.armymuseums.org.uk)

Registro civil de Benabarre.

Registro civil de Rincón de la Victoria.



## 9. ILUSTRACIONES



Imagen 1: Doda de Miguel Quintillá y Adalina Llana. Purroy, 8 agosto 1932. Fuente: archivo familiar



Imagen 2. 1925: Miguel Quintillá en la "mil". Foto de M. Gallifa, Barbastro. Fuente: archivo familiar



Imagen 3. Vista actual de la bocacalle por donde huyó Miguel, c/Vicente Piniés 24. Benabarre. Foto propia.



Imagen 4. Ruta cuartel GC – cárcel y punto de huida. Elaboración propia con Google Maps

PUEYO YUSTE José	6.9.1908	españ.	Lég. Etrang	PAU	
	LOARRE				
PUIG GRAU José	28.12.1914	?	d°	d°	
	PERPIGNAN				
PUNTSCHARD Adam	24.7.1914	suisse	d°	d°	
PUYO PARDO Joaquín	11.5.1908	españ.	d°	d°	R.D.2 leix; 19.10.1939
	LUNA				
QUERO CHICA Juan	13.9.1916	d°	d°	d°	
Antonio	PORENNA				
QUILES Jean	24.6.1918	d°	d°	d°	
	KICHE DE LA				
QUINTANA José	5.10.1919	d°	d°	d°	
	SON BENITO				
QUINTILLA Miguel	15.8.1907	d°	d°	d°	
	ROUEY				
RABAT Messaoud	29.11.1911	d°	d°	d°	enga g. Rés 116 le 27.11.1939

Imagen 5. Listado de la oficina de reclutamiento de la LE, en el que aparece Miguel Quintillá. Foto propia del documento original.

PART II  
Description of Miguel Quintilla on Enlistment.

Apparent Age 33 years 0 months.  
(To be determined by examining Medical Officer and based on physical development according to the instructions given in the Regulations for Army Medical Services.)

Height 5 ft 7 ins.  
Weight 140 lbs.  
Chest measurement (Girth when fully expanded) 36 1/2 ins.  
(Range of expansion) 1 1/2 ins.

Complexion Dark  
Eyes Dark Brown  
Hair Dark  
Religious Denomination R.C.

Distinctive marks, and marks indicating congenital peculiarities or previous disease.  
(Should the Medical Officer be of opinion that the recruit has served before, he will, unless the man acknowledges to any previous service attach a slip to that effect, for the information of the Approving Officer.)

\*Precise denomination to be entered viz. Church of England, Presbyterian (including Church of Scotland, United Free Church of Scotland, Free Church of Scotland, Presbyterian Church of England, Presbyterian Church in Ireland, and Presbyterian Church of Wales or the Calvinistic Methodist Church of Wales), Roman Catholic, Methodist (including Wesleyan, Primitive Methodist or United Methodist), Baptist, Congregationalist, Jewish, or other denomination stated by the recruit.  
†Comprising the United Army Band.

Imagen 6. Parte de la hoja de Servicio de Miguel, con su descripción física el día de ingreso en la compañía. Foto propia del original.

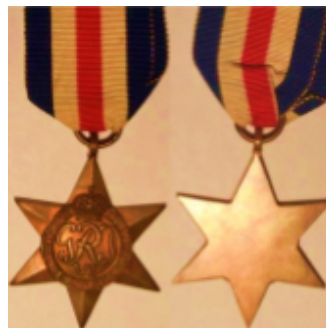


Imagen 7. La France & Germany Star concedida a Miguel. Foto: archivo familiar





Imagen 9. Visita a los restos del puerto artificial. Arromanches, 10/8/2018. Foto propia

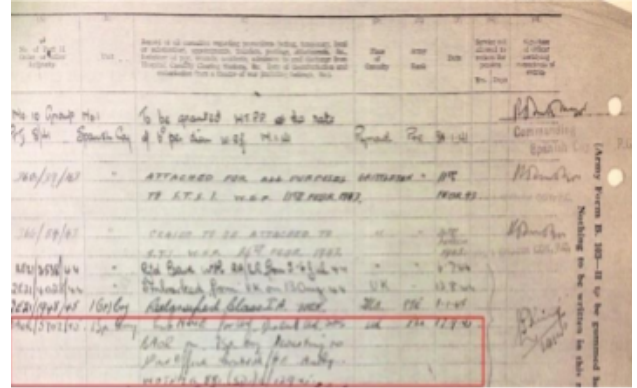


Imagen 10. Detalle de la hoja de servicio de Miguel donde constan sus destinos. Foto propia del documento.



Imagen 11. Familia Quintillá-Zanuy. Purroy, 1947. Fuente: archivo familiar



Imagen 13. Vacaciones en la playa de la Pineda, 1979. Eloísa y Miguel en el apartamento de mis abuelos Joaquín y Lidia. Fuente: archivo familiar



Imagen 12. De dcha a izda: Miguel, Miquelet y José Pino. Londres, 1950. Fuente: archivo familiar



Imagen 14. Miguel con la nieta de su hermano José, M<sup>a</sup> Pilar Meler Quintillá, en Carchuna, poco antes de morir. Julio, 2007. Fuente: archivo familiar



# Reflexión sobre la perspectiva utilitarista de P. Singer en torno al infanticidio

## ¿Es justificable éticamente el infanticidio?

---

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTORA** | ESTELA MORENO APARICIO

**COORDINADOR** | FRANCISCO JAVIER SALAS GARCÍA

**CENTRO** | IES CARDENAL LÓPEZ DE MENDOZA

**CIUDAD** | BURGOS

### RESUMEN |

El infanticidio consiste en matar a niños (bajo condiciones concretas). ¿Es justificable esta forma de pensar? Sin realizar un análisis crítico minucioso parece impensable defender esta práctica, pero dentro de unos ciertos supuestos puede tener cabida. Esta es la postura de Peter Singer, afamado filósofo contemporáneo.

Singer expone esta reflexión en varios de sus libros, como *Ética Práctica*, o *Repensar la vida y la muerte*. En ellos razona la justificación del infanticidio. Según él, todo el dilema moral se basa en un silogismo, en el que las dos premisas iniciales son: Está mal matar a un ser humano inocente, y el feto humano es un ser humano inocente.

La conclusión de estas proposiciones es que matar a un feto humano está mal. La deducción es correcta, pero Singer basará todo su argumento en la primera premisa, ya que afirma que matar a un ser humano no está mal.

Esto deriva de la diferencia entre ser humano y persona, es decir, para Singer el feto humano es un *Homo sapiens*, pero no es persona, ya que para él esta condición se obtiene al presentar autonomía propia, consciencia de sí mismo y racionalidad.

Este tema de actualidad, inscrito en la bioética, suscita un gran debate hoy en día debido al gran número de perspectivas de la sociedad. Al tener el infanticidio repercusiones tan importantes, la muerte de un niño, considero que es útil y hasta cierta medida necesario realizar un estudio detallado y profundo sobre esta práctica, y su posible justificación moral.



## ABSTRACT |

Infanticide consist in killing children (under concrete conditions). But, is this way of thinking justifiable? Without performing a thorough critical analysis, it seems unthinkable to defend this practice, but within certain assumptions it may have a place. This is the position of Peter Singer, a famous contemporary philosopher.

Singer presents this reflection in several of his books, such as in *Practical Ethics*, or in *Rethinking Life and Death*. In them he reasons the justification of infanticide. According to him, the whole moral dilemma is based on a syllogism, in which the two initial premises are: It is wrong to kill an innocent human being, and the human fetus is an innocent human being.

The conclusion of these propositions is that killing a human fetus is wrong. The deduction is correct, but Singer will base all his argument on the first premise, since he claims that killing a human being is not wrong.

This derives from the difference between human being and person. For Singer the human fetus is a *Homo sapiens*, but it is not a person, since for him this condition is obtained by presenting its own autonomy, self-awareness and rationality.

This current issue, registered in bioethics, provokes a great debate today due to the large number of perspectives of society. As infanticide has important repercussions, the death of a child, I consider it useful and to a certain extent necessary to carry out a detailed and profound study on this practice, and its possible moral justification.



## INTRODUCCIÓN

En el pasado ha sido habitual que desde la religión y la filosofía se defendiera el puesto especial que ocupa el ser humano en el conjunto de la “creación” y el valor especial de su vida en relación con el resto de seres que habitan el planeta. Su vida tenía un valor especial, único, sagrado... Lo cual no impedía que en circunstancias especiales se pudiera justificar matar a seres humanos. Algunas de estas circunstancias en las que matar se podía justificar era en el caso de que fuera en defensa propia, en las guerras, enfermos terminales, embarazos no deseados o hijos con malformaciones. Uno de estos casos, aunque más marginal, es el del infanticidio. En esta investigación examinaré y juzgaré si son válidos los argumentos utilizados en torno a este tema por el filósofo contemporáneo Peter Singer. Para ello, me basaré principalmente en dos de sus libros: *Ética práctica* y *Repensar la vida y la muerte*. En ellos Singer, al hilo de sus principios utilitaristas y de su concepción sobre la persona y sus atributos concluye que en ciertas circunstancias no es inmoral matar a niños recién nacidos y sí en cambio matar a primates no humanos como los chimpancés.

En este trabajo analizaré críticamente los argumentos utilizados por Singer para justificar el infanticidio deteniéndome en el uso que hace del principio de utilidad y sobre todo en su manera de entender el concepto de persona que no es extensivo a todos los seres humanos y en el que se incluyen algunos primates. Iré a su vez mostrando mi desacuerdo con los principios de los que parte y con la conclusión que defiende, alejándome de cualquier justificación del infanticidio. Y señalando que existen casos extremos en los que es sumamente difícil emitir juicios morales.

## AGRADECIMIENTOS

Durante este trabajo he recibido ayuda de mi coordinador, Javier Salas, que me ha asistido durante todo el proceso, sugiriéndome bibliografía para la investigación, prestándome libros, aportando las correcciones necesarias... Le quiero agradecer todo el tiempo y el esfuerzo que ha dedicado a ayudarme, ya que sin él habría tenido muchas más dificultades para desarrollar y completar la monografía.

## INFANTICIDIO: ANÁLISIS DE LA PERSPECTIVA UTILITARISTA DE PETER SINGER

### 1. CONSIDERACIONES HISTÓRICAS

En el pasado ha sido habitual que desde la religión y la filosofía se defendiera el puesto especial que ocupa el ser humano en el conjunto de la “creación” y el valor especial de su vida en relación con el resto de seres que habitan el planeta. Su vida tenía un valor especial, único, sagrado... Lo cual no impedía que en circunstancias especiales se pudiera justificar matar a seres humanos, o por lo





menos que se perdiera el consenso anterior sobre la calificación de inaceptable e inmoral del hecho de matar. Algunas de estas circunstancias en las que matar se podía justificar era en el caso de que fuera en defensa propia, en las guerras, enfermos terminales, embarazos no deseados o hijos con malformaciones... Por la importancia para este ensayo nos centraremos en estos últimos casos.

Históricamente, culturas precursoras de la nuestra, como la griega, romana o la tribu Kung sacrificaban a los niños débiles y enfermos, ya que en su sociedad no tenían futuro (Singer, 1993, p. 111). Con la llegada del cristianismo a Europa, se extendió la creencia de que la vida humana había sido creada directamente por Dios. Por tanto, al ser sus criaturas, solo Él puede decidir el momento de la muerte de cada uno. Además, al creer en la vida eterna, al matar a un ser humano, estamos condenando su alma a un destino eterno. Por estas razones se extendió la consideración de que la vida humana tiene un carácter sagrado e incondicional. Hoy en día, aunque uno no crea en estas doctrinas, este pensamiento ha sobrevivido y sigue vigente en gran medida (Singer, 1993, p. 112).

Pero, a pesar de la creencia generalizada sobre el carácter “sagrado” de la vida humana, en los años 60 empezaron a producirse los primeros movimientos a favor del aborto, y en 1968 se legalizó en Inglaterra. La sociedad empezó a justificar el aborto como un derecho de la mujer, y hoy en día está permitido abortar en la mayoría de países desarrollados. Llevamos más de cincuenta años con esta situación y la tendencia es que más países se sumen al movimiento abortista. Pero, ¿Qué diferencias existen entre un feto al final del periodo de gestación y un niño prematuro? Biológicamente hablando, no muchas. Los dos presentan un grado parecido de racionalidad, reaccionan ante los mismos estímulos... La única diferencia es el lugar en el que se desarrollan. Por tanto ¿Por qué matar a un feto, el cual puede estar en una etapa de desarrollo superior es aceptable, mientras que matar a un bebe prematuro no?.

El infanticidio se define como la acción de matar a un niño pequeño. El primer pensamiento que pasa por la mente de una persona es que es una acción inhumana y un crimen horrible. Sin embargo, Peter Singer ha reflexionado sobre el porqué de este rechazo y, siguiendo su línea de pensamiento utilitarista, ha dado razones para defender porqué esta práctica no debería ser considerada peor que el aborto, y en su caso en concreto justifica ambos siempre que se den ciertas condiciones. ¿Es justificable éticamente el infanticidio? Esta es la pregunta que voy a analizar críticamente a partir de las reflexiones que ha realizado Peter Singer, uno de los filósofos morales más importantes del siglo XX.

## 2. ¿SON EQUIVALENTES SER HUMANO Y PERSONA?

P. Singer expone en *Ética práctica* el origen de esta problemática. Frecuentemente se dice que “la vida es sagrada”, pero al decir esa frase nos referimos únicamente a la vida humana, ya que no consideramos la vida de un insecto igual que la nuestra. A los integrantes de nuestra especie se nos ofrece un cuidado y



protección especial. No es así para otras especies, como los grandes simios, a pesar de que nos asemejamos más de lo que parece.

Un ser humano es un miembro de la especie *Homo sapiens*, es decir, que incluye el embrión humano recién concebido, un niño gravemente discapacitado o un anciano a punto de morir. En cambio, utilizando la definición de Joseph Fletcher, a la cual alude Singer, un ser humano tiene, además, que cumplir unos “indicadores de la condición humana” para ser considerado persona, entre los cuales destacan tres: racionalidad, autonomía y conciencia de sí mismo. La racionalidad se define como la capacidad que controla comportamientos lógicos humanos como pensar y actuar. La autonomía es la capacidad del individuo para tomar sus propias decisiones y asumir las consecuencias. Por último, la conciencia es la capacidad del ser humano para entender la realidad y reconocerse en ella. Si estos indicadores se aprecian en el sujeto, se afirmaría que posee “cualidades verdaderamente humanas”, y se le podrá clasificar como persona.

Esta definición más reciente se complementa con otras ya existentes, como la que existe para persona: “ser pensante inteligente que tiene razón y reflexión y puede considerarse a sí mismo como sí mismo, la misma cosa pensante, en diferentes tiempos y lugares” (Singer, 1993, p. 95).

Se aprecia claramente como estos dos conceptos se superponen, pero no siempre coinciden. Es decir, el embrión, el neonato o el enfermo de Alzheimer en estado muy avanzado, son todos *Homo sapiens*, pero no son conscientes de sí mismos, ni presentan racionalidad o autonomía, por lo que no serían considerados personas. Desde esta óptica, la equivalencia entre ser humano y persona aceptada habitualmente se rompe.

Singer se distancia de las ideas predominantes en la religión y en la filosofía, ya que rompe la equivalencia entre ser humano y ser personal (en el pasado esa equivalencia se había roto al incluir dentro de las personas a los dioses: un solo Dios y tres personas distintas), recalcando que algunos seres humanos en ciertas circunstancias no son personas, y defendiendo por el contrario que algunos animales son seres personales, como es el caso de los grandes primates, entre los que se encuentran los orangutanes, gorilas y chimpancés, con las implicaciones que tiene respecto a sus derechos, y superando el especismo.

Lo razona así: “Algunos miembros de otras especies son personas, algunos miembros de nuestra propia especie no lo son. Ninguna valoración objetiva puede apoyar la postura de que en todas las ocasiones es peor matar a miembros de nuestra especie que no sean personas, que a miembros de otras especies que sí lo son. Por el contrario, como hemos visto, existen argumentos de peso para pensar que quitar la vida a una persona resulta, por sí mismo, más grave que quitar la vida a alguien que no sea persona. Por lo tanto, parece que matar, por ejemplo, a un chimpancé es peor que matar a un ser humano que, debido



a una discapacidad intelectual congénita, no es ni podrá ser nunca persona” (Singer, 1993, p. 146).

A medida que se han realizado investigaciones sobre los animales, más barreras se han roto. Muchos eran los que defendían que solo el *Homo sapiens* utilizaba herramientas, pero hay imágenes de orangutanes, focas y pájaros utilizando palos y piedras. Luego se matizó que solo las personas fabricábamos herramientas, pero se ha visto a monos capuchinos y chimpancés sacar punta a piedras (Singer, 1997, p. 175) ... El último argumento utilizado para separar nuestra especie de otras es el lenguaje. Sin embargo, algunos investigadores han conseguido que primates como orangutanes y chimpancés aprendan la lengua de signos, hasta un total de 350 palabras diferentes. Además, estudios como el que hizo Lyn Miles, han descubierto que los orangutanes son conscientes de sí mismos y son conscientes del pasado y futuro (Singer, 1993, p. 138). A estos datos hay que añadir que nuestra diferencia genética con los chimpancés (1,6) es menor a la que tienen ellos con los gorilas (2,3). Lo que quiere decir Singer con esto es que existen animales no humanos que son personas. Por lo tanto, según él, deberíamos de rechazar la doctrina de que el *Homo sapiens* es siempre superior a otras especies. A mí me parece que romper la equivalencia entre ser humano y persona plantea más problemas que soluciones como irá mostrando. La tendencia histórica ha sido la de ampliar el círculo de nuestras consideraciones morales y la posición de Singer en parte supone una reducción de ese círculo al privar de valor moral a un grupo numeroso de seres humanos, aunque sí me parece correcto extenderlo a otras especies como hace él, empezando por las más desarrolladas evolutivamente.

### 3. ¿LA VIDA DE LOS SERES PERSONALES TIENE MÁS VALOR QUE LA DE LOS QUE NO LO SON?

Como he dicho anteriormente las mejores tradiciones religiosas y filosóficas han considerado que la vida humana tiene un valor absoluto e incondicional, y solo es éticamente aceptable matar en casos muy concretos y excepcionales.

Singer defiende el valor de la vida de las personas desde la perspectiva utilitarista. El utilitarismo es el credo que acepta como fundamento de la moral la ‘utilidad’ o el ‘principio de la máxima felicidad’, el cual sostiene que las acciones son buenas en cuanto tienden a promover la felicidad para el mayor número de personas, malas en cuanto tienden a producir lo opuesto a la felicidad. Por ‘felicidad’ se entiende placer y ausencia de dolor; por ‘infelicidad’, dolor y privación de placer (Mill, 2002, p. 6).

Siguiendo la definición de Locke, también utilizada por Singer, una persona es un ser consciente de sí mismo que tiene deseos sobre su propio futuro. Quitarle la vida es frustrar sus deseos futuros, hecho que entra dentro de ese complejo cálculo de placeres/ dolores, razón por la cual su vida adquiere un alto valor, ya que es consciente de su pasado y de su futuro, de su identidad, de la continui-



dad de su vida, y solo el miedo de perderse para siempre le provoca sufrimiento y dolor, que es lo que hay que evitar desde la perspectiva utilitarista.

En cambio, Singer argumenta que matar a un caracol o a un bebé de un día no frustra deseo alguno, ya que ninguno de ellos es capaz de tener tales pensamientos. Su muerte no influye en el cómputo total sobre la felicidad. Eso sí, con la condición de que la muerte se produzca de forma indolora. Esta es la razón de que, aunque Singer se hiciera vegetariano, aceptase como éticamente correcto comer carne o pescado, siempre que a los animales les hubiesen tratado dignamente durante su vida y hubieran muerto sin dolor, requisitos que, por cierto, no es fácil que se cumplan habitualmente.

Pero conviene destacar otra vez, que, según Singer, los humanos que no son personas no pueden exigir ese derecho casi incondicional a la vida, y a su vez a los animales superiores como orangutanes, gorilas y chimpancés habría que reconocerles dos de los derechos básicos de toda persona: el derecho a la vida y el derecho a la libertad (Singer y Cavalieri, 1993, p. 10). Por mi parte, considero que ampliar el derecho a la vida a todos los seres humanos ha sido una conquista histórica, que seguramente se irá extendiendo a otras especies animales acercándonos a la utopía de un mundo libre de matanzas. La posición de Singer supone un retroceso en lo que respecta a los seres humanos y una ampliación respecto a otras especies. Creo que es mejor defender el derecho a la vida de todos los humanos e ir extendiéndolo hasta donde sea posible desde las especies más evolucionadas a las menos, superando poco a poco el especismo. Especialmente cuando en la práctica es tan difícil delimitar cuándo empieza el ser personal y cuándo concluye.

#### **4. ¿EN QUE MOMENTO UN SER HUMANO SE CONVIERTE EN PERSONA?**

Según señala Singer, las personas tienen una serie de derechos específicos por el hecho de ser personas, es decir, por poseer los atributos de conciencia, racionalidad y autonomía, que desde una perspectiva utilitarista implican que su vida tenga un valor añadido por su repercusión en el cálculo global de la felicidad. La cuestión es en qué momento el ser humano en desarrollo alcanza esos atributos.

Singer considera que abortar no se puede considerar un acto inmoral, justamente porque ese ser no ha alcanzado los atributos mencionados ni por lo tanto el estatus de persona. Y es justamente la lógica implícita en la defensa del aborto la que le ha llevado a justificar el infanticidio siempre que se den ciertas condiciones, ya que, cómo puede ser que alguien defienda el derecho de la madre a abortar y a la vez defienda el derecho incondicional a la vida de un recién nacido. Pero, ¿y si el bebé recién nacido es prematuro y el feto abortado tenía mayor edad? ¿No es una incoherencia mantener ambas posiciones? ¿El estar dentro o fuera puede ser una razón de peso para no poseer o poseer los



derechos más importantes? Esta es la razón por la que es fundamental dirimir la cuestión de cuándo un ser humano se convierte en persona. Analicemos los criterios habitualmente utilizados

**Criterio a: El momento de la concepción:** Singer, en relación con este tema, clasifica a las personas en conservadores y liberales, dependiendo de la posición que defienden. El argumento de los conservadores es que no hay un momento del desarrollo del feto que marque la división, por lo que hay dos opciones: elevar el estatus del embrión durante todo el embarazo a la de un niño, o considerar los niños como embriones, por lo que escogen la primera. Al final y al cabo, ¿la vida no es un proceso evolutivo desde la concepción hasta la muerte? ¿Cómo podemos establecer fallas en cualquiera de esos estadios?

Además, los conservadores utilizando la terminología aristotélica señalan que todo ser humano desde la concepción está en potencia de alcanzar la conciencia, autonomía y racionalidad, que se actualizarán plenamente en su época adulta, por lo que son personas en potencia desde la concepción. Sin embargo, Singer rechaza este argumento también porque considera que tener una capacidad no es lo mismo que tener el potencial de esa capacidad. Por su parte los liberales han tratado de argumentar que se empieza a ser persona utilizando los criterios siguientes:

**Criterio b: el nacimiento:** El primer criterio se puede rebatir fácilmente diciendo que el feto tiene los mismos rasgos humanos, misma conciencia de sí mismo, y mismas reacciones ante el dolor dentro o fuera del útero de la madre. Singer también añade que algunos bebés prematuros están menos desarrollados que fetos en sus últimas semanas de embarazo. Por lo que el nacimiento no parece que sea una línea divisoria aceptable para poder discriminar si un ser es persona o no (Singer, 1993, p. 145).

**Criterio c: el tercer mes:** A las 12 semanas está formado todo el organismo del ser humano en diminuto: el oído comienza a desarrollarse, el feto tiene ya formado el iris, la córnea y el cristalino, en los dedos de las manos y de los pies empiezan a asomar las uñas y se producen los primeros movimientos del bebé. Además, su sistema nervioso empieza a desarrollarse, siendo capaz de reaccionar ante estímulos. Por todo ello diversas legislaciones han utilizado este hecho para prohibir el aborto a partir del tercer mes. A pesar de esto, y tal como afirma Singer, sigue sin cumplir las condiciones que le harían persona.

**Criterio d: viabilidad:** Respecto a la viabilidad, algunos afirman que es una línea suficientemente válida, ya que, por ejemplo, el Tribunal Supremo de los Estados Unidos estipuló que el estado tiene un interés legítimo en proteger la vida potencial, y que este interés se hace “obligatorio” en el momento de alcanzar la viabilidad “porque el feto entonces tiene presumiblemente la capacidad de la vida significativa fuera del útero de la madre” (Singer, 1993, p. 146). Pero este argumento sigue sin ser satisfactorio del todo, ya que, como dice Singer, es más



viable un feto en una ciudad desarrollada que en Nueva Guinea, por ejemplo. ¿Ser persona depende de los avances tecnológicos disponibles? No.

Singer concluye que estos criterios no son válidos y que no existe una línea divisora lo suficientemente convincente entre el recién nacido y el feto. Lo que sí que tiene claro es que ni los fetos ni los niños en su primera etapa son personas al no poseer los atributos característicos de las mismas.

Estoy de acuerdo con el análisis de Singer respecto a la falta de solidez de los criterios utilizados por los liberales para señalar el paso de *Homo sapiens* a persona, y para justificar cómo de un día para otro se pasa del no ser al ser. Sin embargo, si su solución pasa por alargar ese momento sin poder fijar tampoco una edad precisa después del nacimiento, ya que es un proceso continuo en el que no hay saltos abismales, yo creo que, ante la duda, es preferible mantener la equivalencia de *Homo sapiens* y persona desde el primer momento, sabiendo que hay casos extremos muy difíciles de enjuiciar, (embarazos por violaciones, fetos con malformaciones severas, adultos con graves deterioros cognitivos...) y a partir de ahí ampliar los derechos a otras especies.

## 5. ¿LOS PADRES TIENEN DERECHO SOBRE LA VIDA O LA MUERTE DE SUS HIJOS RECIÉN NACIDOS?

Singer añade algo más al debate: él afirma que, si los padres quieren, deberían poder matar a su hijo gravemente discapacitado. No porque un niño sano tenga más derecho a la vida que otro, si no porque normalmente la actitud de los padres cambia. Si un padre desea que su hijo viva el mayor tiempo posible, aunque padezca la más grave de las enfermedades, es respetable. Pero, para él, también la otra postura sería aceptable. Singer pone el ejemplo de una malformación congénita, la espina bífida junto con la hidrocefalia. Existen posibilidades de tratamiento, pero en el peor de los casos la parálisis que sufren en la parte inferior de su cuerpo conlleva incontinencia urinaria y alta discapacidad. Estos niños se tienen que enfrentar a cuarenta cirugías importantes antes de llegar a la adolescencia. Médicos especializados y estudios afirman que los niños más afectados llevan una vida tan desdichada que es erróneo recurrir a las operaciones quirúrgicas (Singer, 1993, p. 228).

Singer, siguiendo el utilitarismo, dice que cuando la vida de un recién nacido será tan desdichada que no merezca la pena vivirla desde la perspectiva interna de ese ser, y si, además, no hay razones “extrínsecas” para mantener al niño con vida, como el sentimiento de los padres, es mejor ayudarlo a morir para que no sufra más. Según él, esta decisión no se puede considerar ni inmoral ni injusta.

La situación se complica cuando se traslada este razonamiento a enfermedades menos graves. ¿Es en esos casos justificable? La primera respuesta de la mayoría de gente sería no. Es un niño enfermo, pero con esperanzas de una vida buena. Además, también es favorable en el cálculo utilitarista, ya que es probable que



sea más feliz que infeliz, y matarlo acabaría con ese balance positivo. Sin embargo, Singer indica que en el cálculo entran otros factores, como la felicidad de los padres, que serían más felices con un hijo sano, y en la posibilidad de que si no existiera ese hijo enfermo los padres hubieran tenido un segundo hijo con una mejor calidad de vida y, por tanto, mayor felicidad global.

Es cierto que la conclusión a la que llega Singer es coherente con los principios de los que parte, y si un bebé recién nacido no se caracteriza por la autonomía, conciencia y racionalidad como ocurre con los fetos, no es persona, y no sería inmoral quitarla la vida de forma indolora. Desde mi posición, sí lo es, porque todo ser humano es persona. Además, aludiendo al cálculo utilitarista es muy difícil establecerlo, empezando por el hecho de cómo sabemos nosotros a priori la felicidad de esa persona. No digamos ya si consideramos que la perspectiva utilitarista plantea muchos problemas que exceden los límites de este trabajo (Sandel, 201, p. 37).

## 6. CONCLUSIÓN

El derecho a la vida es uno de los derechos fundamentales y universales de las personas y hay un gran consenso sobre el mismo. Además, ha sido defendido por las mejores tradiciones religiosas y filosóficas. Pero frente a la regla general nos encontramos con casos más problemáticos en los que, desde determinadas concepciones, se ha justificado el hecho de matar: defensa propia, guerras justas, aborto, eutanasia...e infanticidio que es el caso que he analizado.

Peter Singer en los escritos referidos ha justificado que en ciertas circunstancias no es inmoral matar a un bebé recién nacido. Y la justificación la ha realizado en primer lugar a partir del principio de utilidad, ya que considera que en ciertas ocasiones matar a un bebé recién nacido implica una mayor felicidad general, y en segundo lugar partiendo de su concepción de los atributos que se deben cumplir para ser persona y por lo tanto tener un derecho incondicional a la vida: conciencia, autonomía y racionalidad. Este análisis le lleva a Singer a considerar que ciertos seres humanos no son personas, como los fetos, niños recién nacidos...y sin embargo ciertos primates superiores sí, como los chimpancés, dependiendo del grado de posesión de esos atributos.

A lo largo del ensayo he expuesto mi distanciamiento de las ideas de Singer y mi rechazo a la justificación del infanticidio. En primer lugar, porque considero que el principio de utilidad plantea muchos problemas y puede suponer la negación de los derechos más elementales. En segundo lugar, porque no estoy de acuerdo con la distinción que realiza Singer entre ser humano y persona y pienso que no hay un criterio objetivo y claro para decir cuándo un ser humano se convierte en persona si no es el momento de la concepción. Además, soy consciente de que las dos posiciones (a favor y en contra) tienen implicaciones problemáticas que están lejos de ser resueltas.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Singer P., (1993), *Ética Práctica*, Madrid, España, Ediciones Akal.
- Singer P., (1997), *Repensar la vida y la muerte, el derrumbe de nuestra ética tradicional*, Barcelona, España, Ediciones Paidós Ibérica.
- Singer P., Cavalieri P., (1993) *El proyecto "Gran Simio", la igualdad más allá de la humanidad*, Madrid, España, Editorial Trotta.
- Tooley M., (1983) *Abortion and Infanticide*
- Ceballos Atienza R., *Estudio médico-legal sobre el infanticidio* (2010), Madrid, España, Formación Alcalá.
- Mill, J. S., (2002) *El utilitarismo*, Madrid, España, Alianza
- Sandel, M. (2011) *Justicia ¿Hacemos lo que debemos?*, Barcelona, DEBOLSILLO.









# Verdad y libertad en George Orwell

---

/ TERCER PREMIO

**AUTORA** | CLAUDIA RODRÍGUEZ GARCÍA

**COORDINADOR** | ÁNGEL BELEÑA LÓPEZ

**CENTRO** | IES SAN MATEO

**CIUDAD** | MADRID

## RESUMEN |

El objetivo principal de este proyecto es estudiar la idea de Orwell sobre los conceptos de “verdad” y de “libertad”, los cuales están claramente entremezclados, tal y como se muestra en el trabajo. Para ello se ha estudiado la obra de Orwell a lo largo de toda su vida, tanto sus ensayos como sus novelas principales; centrándose principalmente en analizar estas últimas.

**Palabras clave:** Verdad, libertad, lenguaje, Orwell.

## ABSTRACT |

*The aim of this project is to study the idea Orwell had about the concepts of “truth” and “freedom”, which are clearly intertwined, as shown in this work. For this purpose, Orwell’s life work has been studied, both his essays and his principal novels; specially focusing on studying these.*

**Keywords:** Truth, freedom, language, Orwell.



## 1. PRESENTACIÓN, OBJETIVOS Y MÉTODO

*Verdad y libertad* son dos conceptos que aparecen unidos a lo largo de toda la historia del pensamiento, ya desde la filosofía griega. Piénsese, sin ir más lejos, en la alegoría de la caverna de Platón, donde los esclavos que permanecen *encadenados* representan la *ignorancia* de quienes viven en “el mundo de las sombras” (es precisamente su desconocimiento de la verdad lo que les impide ser libres).

George Orwell puede ser uno de los autores del siglo XX que mejor percibió los peligros para la libertad del hombre contemporáneo, siendo consciente de que estos peligros provenían (y provienen) de la anulación de la verdad. En este sentido, la pregunta que plantea este trabajo podría formularse así: ¿qué papel desempeña la verdad en relación con la libertad en la obra de Orwell? Para ello se han estudiado la mayoría de los escritos de Orwell –tanto sus novelas como sus ensayos– tomando como hilo conductor sus dos trabajos más importantes, esto es, *Rebelión en la granja* y *1984*.

## 2. INTRODUCCIÓN: VIDA Y PENSAMIENTO DE G. ORWELL

George Orwell, pseudónimo de Eric Arthur Blair (1903-1950), vive las dos guerras mundiales, periodo en el que los escritos políticos y la propaganda tienen más relevancia que nunca. Es una época en la que expresar cierta opinión de una forma u otra puede llevar a la victoria o a la derrota. Las personas que se encuentran en el poder necesitan a la sociedad de su lado, y para ello no les importa manipular y engañar, siendo conscientes de que el lenguaje es la manera más fácil para hacerlo, ya que con cambios apenas perceptibles se puede alterar completamente el sentido de una frase o de una idea. Y es este mismo concepto de poder engañar a la sociedad, simplemente cambiando el orden de nuestras palabras, lo que perturba a Orwell, de manera que en todos sus escritos encontramos, ya sea directa o indirectamente, este tema presente.

Con 20 años, comienza a trabajar en la Policía Imperial de la India en Birmania. Allí Orwell vive el imperialismo en primera persona y comienza a darse cuenta de las injusticias sociales que se cometen en su nombre. Esto le impulsa a abandonar su puesto y convertirse en escritor en 1927. En esa época él ya es consciente del peso que tienen las palabras en la sociedad y es por lo que decide hacerse escritor.

Orwell se casa en 1936, la misma semana que estalla la Guerra Civil española. Su esposa y él deciden ir a España a combatir por la República. Allí Orwell siente, por primera vez, el control y la manipulación realizados incluso por aquellos que “defienden” la libertad, lo que condicionará su pensamiento a partir de entonces.

Diez años más tarde, en 1946, Orwell escribía: “Cada renglón que he escrito en serio desde 1936 lo he creado, directa o indirectamente, en contra del totalita-



rismo y a favor del socialismo democrático, tal como yo lo entiendo. [...] Mi punto de partida es siempre un sentimiento de parcialidad, una sensación de injusticia. [...] Lo escribo porque existe alguna mentira que aspiro a denunciar.” (Orwell, 2016, p.785).

Orwell busca denunciar la mentira y el engaño para combatir los totalitarismos que hacen que su mundo peligre, sin embargo, lo que más célebre le hace actualmente es su convencimiento de luchar contra todos los totalitarismos, incluso los más afines a sus ideas políticas.

### 3. LA VERDAD EN GEORGE ORWELL

El motivo principal por el cual Orwell sigue teniendo vigencia actualmente es porque sus escritos están impregnados de verdad y sinceridad. Orwell simplemente busca expresar la realidad a través de sus escritos, mostrándola tal como es, verdadera y desnuda. Para él, la verdad es esta realidad, lo que la convierte en algo externo a nosotros, no es algo que podamos fabricar según lo que necesitemos en cada momento<sup>1</sup>. Por ello, lo que hace es escribir su experiencia, sin ensalzarla mediante recursos literarios<sup>2</sup>. Lo que Orwell hace es, simplemente, atrapar la verdad y profundizar en ella. De esta forma, la verdad orwelliana se convierte en un hecho tan puro que es inalterable, de manera que lo que escribió hace más de 60 años sigue teniendo vigencia ahora.

Que la verdad sea externa a nosotros implica que todo ser humano tiene, por tanto, capacidad para acceder a ella a través de su experiencia propia, usando los sentidos y la razón. Por ello, los que están en el poder buscan eliminar esta experiencia personal, mintiendo y manipulando a las personas hasta que empiezan a dudar de sí mismos. En el momento en el que se anulan la libertad individual y la capacidad de pensamiento, se tiene poder absoluto sobre esa persona.

Orwell es consciente de que esta es la manera de actuar de los totalitarismos y es lo que más le asusta: pueden *hacer* que creas una cosa el lunes y lo contrario el martes. “La peculiaridad del estado totalitario es que, si bien controla el pensamiento, no lo fija. [...] Se afirma infalible y, al mismo tiempo, ataca el propio concepto de verdad objetiva.” (Orwell, 2016, p.384).

Por esta idea es por la que Orwell busca enfrentarse a los partidarios de la mentira exponiéndoles precisamente a través de la pura verdad.

---

1 Por lo tanto, todas las ideas que promueven los gobiernos de sus novelas, las que se inventan según les conviene, se convierten automáticamente en mentiras.

2 Por este motivo, la mayoría de los escritos de Orwell son sencillos lingüísticamente hablando: evita el uso de metáforas y adornos del lenguaje, utiliza palabras cortas pero concisas y prescinde del uso de la pasiva, la cual, al eliminar el sujeto, evade la responsabilidad de éste.



#### 4. LA LIBERTAD EN GEORGE ORWELL

“Si algo significa libertad de pensamiento [...] es que cualquiera tendrá derecho a decir y publicar lo que entienda que es *la verdad* salvo, eso sí, que con ello cause un perjuicio inequívoco al resto de la comunidad.” (Orwell, 2016, p.622)

“Si algo significa la libertad, es el derecho a decirle a la gente lo que no quiere oír.” (Orwell, 2016, p.625)

Como ya se puede apreciar en estas definiciones, es muy difícil plantear el tema de libertad en la obra de Orwell sin mezclarlo con el concepto de verdad, ya que para él la libertad queda suprimida cuando se suprimen las verdades. La libertad que a Orwell le preocupa es la libertad plenamente individual, la libertad de pensamiento y expresión, la cual depende precisamente de la verdad.

Si a Orwell se le diese a elegir entre la frase bíblica «la verdad os hará libres» o la versión actual más típicamente moderna, «la libertad os hará verdaderos», no cabe duda de que se decantaría por la primera. En todas sus obras se ve cómo los que están en el poder (los que tienen, por tanto, más libertad de actuación), utilizan su libertad para engañar y mentir con descaro al pueblo, que vive prácticamente esclavizado. Esta esclavitud es fruto de la ignorancia y el desconocimiento de la realidad por parte del pueblo. Son regímenes basados en mentiras, que se derrumbarían si la verdad saliese a luz.

Orwell tiene claro que hay que luchar por la libertad, por lo que este es un tema recurrente no solo en sus ensayos sino también en sus obras más importantes, desde las que narran hechos reales, como *Homenaje a Cataluña*, hasta las que plantean un mundo ficticio, como 1984.

#### 5. VERDAD Y LIBERTAD EN LAS NOVELAS DE GEORGE ORWELL

“Cualquiera que sienta el valor de la literatura, que sea consciente del papel central que desempeña en el desarrollo de la historia humana, debe ver también que es una cuestión de vida o muerte oponerse al totalitarismo, tanto si nos viene de fuera como desde dentro.” (Orwell, 2016, p.349)

Con esta frase terminaba Orwell su emisión “Literatura y totalitarismo” en 1941, resumiendo de alguna forma lo que era y sería su vida: una lucha constante contra los totalitarismos. Esta lucha la desarrolló especialmente a través de la literatura que tanto valoraba, buscando la verdad pura en todos sus escritos.

En sus dos novelas más importantes, 1984 y *Rebelión en la granja*, Orwell intenta mostrar y concienciar del peligro que supone el totalitarismo.

##### REBELIÓN EN LA GRANJA<sup>3</sup>

3 Orwell, G. (2016), *Rebelión en la granja*, Barcelona, Debolsillo, (publicada originalmente en 1945 con el título *Animal Farm*). La novela, clara parábola sobre la revolución bolchevique, trata sobre un grupo de animales de una granja que acaban expulsando al dueño con la idea de regirse ellos mismos. Sin embargo, los cerdos, que desde el primer momento habían asumido el liderazgo, acaban sometiendo a la granja a su poder a través de medios puramente totalitarios, reflejados en la novela.



La finalidad de Orwell a la hora de escribir este libro se aprecia claramente en los dos prefacios que escribe para esta obra: “La libertad de prensa” (1945), prólogo de todas las ediciones, y el “Prefacio para la edición ucraniana de *Rebelión en la granja*” (1947)<sup>4</sup>. Orwell, en su lucha por denunciar la mentira y el engaño para combatir los totalitarismos, buscó crear una historia que concienciase a la sociedad inglesa para recuperar la esencia socialista difuminada por el régimen soviético. Esta fábula política, que puede llegar a ser considerada literatura infantil por su sencillez literaria<sup>5</sup>, alcanza una profundidad intelectual sublime.

Al principio, todo funciona perfecto en la granja. Sin embargo, después de la rebelión, los cerdos enseguida asumen el control, autoproclamándose líderes por ser, supuestamente, más inteligentes. Napoleón, Bola de Nieve y Chillón se convierten en los dirigentes de la granja. En un principio, el resto de animales lo acepta, pero pronto el control de la granja empieza a depender únicamente de ellos hasta que finalmente, después de la expulsión de Bola de Nieve, Napoleón adopta todas las características de un auténtico dictador.

La pérdida de libertad no se produce de repente, sino que progresivamente se van anulando los derechos de los animales. De esta forma, los animales no son conscientes de que su *libertad* ha sido suprimida, simplemente con el tiempo dejan de acordarse de cómo eran las cosas antes y se creen las manipulaciones de los cerdos, los cuales utilizan el término “reajuste” en vez de “reducción”, o les dicen que la producción ha aumentado hasta un 500%, entre otras cosas.

En varios episodios de la novela, las ovejas, adoctrinadas por Napoleón, interrumpen en los momentos más inoportunos. Esto es utilizado como un mecanismo a través del cual se anula la libertad de expresión de los animales. En los pocos momentos en los que van a protestar, las ovejas comienzan a balar, de forma que cuando acaban los animales prácticamente han olvidado ya lo que querían decir. De esta manera Napoleón consigue anular la libertad de expresión sin que parezca que él está coartándola y consigue que los animales vivan engañados, creyendo que él es bueno y que simplemente son las ovejas las que balan en los momentos más inapropiados.

Este es uno de los muchos ejemplos de la novela donde la libertad se ve coartada o eliminada, y en todos ocurre siempre de la misma manera: la anulación de la libertad se produce a través de la manipulación de la información. Para ello se utiliza el lenguaje, de forma que se modifica el pensamiento de los animales. No es casualidad que Chillón se convierta en el portavoz de Napoleón, especialmente teniendo en cuenta que “Chillón era capaz de convertir lo negro en blanco” (Orwell, 2016, p.32).

---

4 Por falta de espacio, no se presenta aquí el análisis de los prefacios, pero se recomienda leer ambos para entender el motivo del libro y conocer realmente su esencia y finalidad.

5 Orwell buscaba crear «una historia que fuera fácil de entender para casi todos y fácil de traducir a cualquier idioma.» (Orwell, G. (2016), “Prefacio para la edición ucraniana de *Rebelión en la granja*”, en *Ensayos*, p. 849, Barcelona, Debolsillo).



El más claro ejemplo de esto es la manipulación de los mandamientos, creados al inicio de la revolución con el objetivo de establecer la igualdad entre animales. Los cerdos, aprovechándose de que pocos animales saben leer o son capaces de recordar los mandamientos, los modifican a su antojo, echándole la culpa a la mala memoria de los animales cuando estos intentan sugerir que antes el mandamiento no era así. Finalmente, se acaban eliminando todos los mandamientos y se establece como único: “Todos los animales son iguales pero algunos animales son más iguales que otros.”

La misma manipulación ocurre con los recuerdos asociados a Bola de Nieve, los cuales son modificados poco a poco de tal forma que se acaban anulando todas las ideas iniciales que los animales tenían sobre él. Al igual que en 1984, se produce una reescritura del pasado por parte de los que están en el poder.

A través de todos estos hechos, se anula completamente la libertad, tanto personal (los animales ya apenas cuestionan lo que sucede ni tienen ideas propias) como de expresión, ya que cualquier intento era sofocado por las ovejas o silenciado por los perros (incluso empiezan a cometerse asesinatos). Como narra el propio Orwell, “habían llegado a un momento en el que nadie se atrevía a decir lo que pensaba, en el que perros feroces y gruñidores andaban por todas partes y en el que había que presenciar cómo despedazaban a camaradas que habían confesado crímenes atroces.” (Orwell, 2016, p.86).

Orwell era consciente de que esto era lo que ocurría en los regímenes totalitarios, especialmente en el soviético, por lo que decidió escribir esta obra a modo de ‘aviso’, y el tiempo le dio la razón.

## 5.2. 1984<sup>6</sup>

En esta novela, el lenguaje como elemento de control para suprimir la libertad es extremadamente importante. Por ello, Orwell inventa el concepto de neolengua. Los mecanismos que se utilizan para crear esta nueva lengua son variados<sup>7</sup>, pero todos buscan lo mismo: eliminar la libertad de pensamiento anulando la capacidad de expresión.

6 Orwell, G. (2012) 1984, Barcelona, Austral, (publicada originalmente en 1949 con el título *Nineteen Eighty Four*). La novela representa un mundo distópico en el cual la sociedad vive permanentemente controlada por el Partido, el gobierno totalitario que tiene el poder en Oceanía). El Partido, con el Gran Hermano a su cabeza, sigue los principios del Ingsoc (la palabra en ‘neolengua’ para referirse al socialismo inglés). La sociedad es una sociedad estamental, en la que se distinguen los miembros del Partido Interior (la clase más alta), los del Partido Exterior (la clase media a la que pertenece Winston, el protagonista) y por último los proles (la clase obrera, quienes Winston cree que son el futuro). Winston trabaja en el Ministerio de la Verdad. Su trabajo consiste en modificar el pasado según convenga al interés del Partido. Sin embargo, Winston se da cuenta del control al que está sometida la sociedad por parte del estado. Junto con Julia, su amante, desafían al Partido mediante pequeños actos secretos. Finalmente, son atrapados por la Policía del Pensamiento. En el Ministerio del Amor son torturados hasta el punto en el que finalmente son derrotados, y se autoconvencen de que aman al Partido.

7 Orwell, G. (2012) 1984, Barcelona, Austral, p. 356-368. Escapa al tema del proyecto explicar todos estos mecanismos, pero en estas páginas quedan completamente explicados si se está interesado en conocerlos.





La intención de la neolengua es “imposibilitar otras formas de pensamiento” (Orwell, 2012, p.356) fuera de las propias de un devoto de los principios del Ingsoc (o Socialismo Inglés). Su finalidad es, por lo tanto, “limitar el alcance del pensamiento, estrechar el radio de acción de la mente” (Orwell, 2012, p.117). Con los mecanismos mencionados anteriormente se consigue anular la libertad individual, ya que, al no poder expresar las ideas propias, se vuelve casi imposible desarrollarlas<sup>8</sup>. De esta forma se consigue que no exista la capacidad de crear ideas contrarias a las que dicta el Partido, por lo que se hace mucho más fácil la existencia de un régimen totalitario sin una peligrosa oposición que amenace con destruirlo.

Desde el principio de la novela, la sociedad que se plantea se muestra basada en la manipulación de la información y el control por parte del gobierno, especialmente a través de la Policía del Pensamiento (“pensarpol” en neolengua).

Winston Smith, el protagonista, trabaja en el irónicamente llamado Ministerio de la Verdad (“Miniver” en neolengua). Su trabajo consiste en modificar o reescribir artículos de prensa (incluso a veces inventárselos), de forma que todo esté acorde con lo que dice el Partido. En ningún momento habla el Partido de “cambiar artículos”, sino simplemente de “corregir fallos” que se cometieron en su escritura. De esta forma, a pesar de que estas “correcciones” se realizan constantemente, nadie las cuestiona. El pasado es simplemente lo que el Partido quiere que sea. Los más devotos del Ingsoc no se dan cuenta de qué es realmente lo que se está haciendo, pero Winston sí se percató. Él es consciente de que se está *modificando* el pasado, y le resulta aterrador<sup>9</sup>; por ello decide rebelarse, a su manera, contra el partido, en una búsqueda desesperada de libertad.

Para poder creerse toda esta manipulación (y el resto de engaños que realiza el Partido), los habitantes de Oceanía practican desde niños lo que se conoce en neolengua como “doblepensar” (“control de la realidad” en idioma natural). Este hecho consiste, según Orwell, en “inducir conscientemente a la inconsciencia, y luego hacerse inconsciente para no reconocer que se había realizado un acto de autosugestión. Incluso comprender la palabra *doblepensar* comprendía el uso del *doblepensar*.” (Orwell, 2012, p.99). Es decir, se lleva a cabo un proceso mental que consiste en olvidar algo que se sabe, luchar contra la lógica (aceptar, por ejemplo, que  $2+2=5$  solo porque el partido lo dice) o tener dos opiniones contrarias y apoyar ambas. Y después, uno se olvida de que ha llevado a cabo ese proceso y queda convencido de que lo que piensa y sabe actualmente lo ha pensado y sabido siempre. De esta forma, la mentira se acaba convirtiendo

---

8 «Las dos finalidades del Partido son conquistar toda la superficie de la Tierra y extinguir de una vez para siempre la posibilidad de toda libertad del pensamiento.» (Orwell, G. (2012) 1984, Barcelona, Austral, p. 253).

9 «Si el Partido podía alargar la mano hacia el pasado y decir que este o aquel acontecimiento nunca había ocurrido, esto resultaba mucho más horrible que la tortura y la muerte.» (Orwell, G. (2012) 1984, Barcelona, Austral, p. 98, subrayado del autor).



en verdad. Si todos los textos que contienen cierta información se modifican o eliminan, y todas las personas son capaces de olvidarse (in)conscientemente de esa información, las ideas que la contradicen acaban siendo verdaderas. Por ejemplo, en mitad de un discurso público durante la Semana del Odio, el orador del Partido es informado de que el enemigo ha dejado de ser Eurasia para pasar a serlo Asia Oriental. En ese pasaje se aprecia claramente el doblepensar, tanto por parte del orador como por parte de la multitud. No se les avisa de que ha habido un cambio en las alianzas. El orador simplemente cambia, en mitad de la frase, los nombres, y la multitud simplemente lo asume y comienzan a odiar a Asia Oriental como si llevase siendo su enemigo toda la vida.

El hecho del doblepensar es muy peligroso, ya que una vez que se lleva acabo el doblepensar se vuelve completamente irrealizable la toma racional de decisiones (se anula la libertad de decisión de los habitantes). La persona ya no es capaz de discernir entre qué es verdad y qué es *mentira*. La verdad es lo que el Partido dice y la mentira es lo que dicen los enemigos del Partido. Ya no importa la lógica, no importan los recuerdos, nada de eso existe excepto el Partido. El Partido lo es todo.

Por otro lado, la libertad *individual* está también anulada en esta sociedad. En la novela, los trabajadores del Partido (tanto exterior como interior) están siempre en permanente vigilancia. En todos los edificios hay una telepantalla en cada habitación, incluidos los pasillos, el baño e incluso sus propias casas. Este invento permite controlar completamente al individuo, ya que graba todo lo que hace, además de captar hasta el más mínimo susurro e incluso el ritmo de los latidos del corazón. Nadie sabe si realmente está siendo controlado todo el tiempo o no, pero nadie se arriesga a hacer algo prohibido por si acaso en ese momento está siendo vigilado. Por lo tanto, los trabajadores no tienen la más mínima libertad para hacer algo que esté fuera de las normas del Partido.

Por otro lado, la telepantalla no sólo anula la libertad de acción, sino que es capaz de *bloquear* los pensamientos. Emite ruido constantemente, y es imposible silenciarla totalmente. Las emisiones que produce tienen como objetivo introducir en la cabeza de las personas datos y más datos favorables para el gobierno y el Gran Hermano. Pero, además, se consigue *parar* el pensamiento. Debido al ruido de la pantalla resulta casi imposible llevar a cabo cualquier forma de pensamiento. Mientras que la neolengua anula la forma de expresar estos pensamientos, lo que consigue la telepantalla es que, directamente, no se pueda pensar: se vuelve imposible concentrarse en algo que no sea lo dicho por la telepantalla. De hecho, hay ciertas escenas a lo largo de la novela en las cuales el pensamiento de Winston queda cortado por la telepantalla. A través de esto, Orwell nos muestra cómo la *libertad de pensamiento* (y de acción), la libertad más plenamente humana, es coartada e incluso eliminada por la existencia de la telepantalla: “Nada era del individuo a no ser unos cuantos centímetros cúbicos dentro de su cráneo.” (Orwell, 2012, p.91)



Al poco de comenzar la novela (capítulo II), el lector se encuentra con esta frase. Pero según se va avanzado en la lectura se empieza a ver que ni siquiera esto es así, nada es del individuo. Una vez más, el Partido lo es todo. Winston logra mantener esos pocos centímetros cúbicos hasta prácticamente el final, pero cuando le atrapa la Policía del Pensamiento, es encarcelado y sometido a dolores y torturas prácticamente insoportables. Durante todo este tiempo le intentan introducir los ideales de la confianza ciega que debe tener en el Partido, pero a pesar de las torturas Winston mantiene la cordura casi hasta el final. La tercera parte del libro, correspondiente a este proceso, es interesante analizarla desde un punto de vista psicológico, debido a la transformación que se va produciendo en la mente de Winston. Al principio del todo se mantiene fiel a sus ideas y se niega a aceptar cualquier cosa que vaya en su contra. Sin embargo, según van avanzando las torturas, Winston *quiere* creer en lo que le dicen. Quiere creer en ello para que paren las torturas, pero aun así no puede. En este punto ya se ha anulado su *libertad de decisión*. Ahora no elige qué creer, ahora quiere creer en una cosa en concreto. Sin embargo, su razón y lógica no le permiten creer en ello.

Finalmente, a través de torturas cada vez más crueles, los miembros del Partido consiguen que Winston acabe finalmente venciénzose a sí mismo y admitiendo que ama al Gran Hermano.

## 6. CONCLUSIÓN

Después del análisis realizado en este trabajo, podemos concluir que libertad y verdad están completamente entrelazadas, y que se basan la una en la otra (especialmente la libertad en la verdad, añadiría Orwell). Los regímenes totalitarios dependen completamente de estos dos conceptos para mantenerse: en ambas obras Orwell muestra claramente cómo toda libertad ha sido anulada por el régimen en el poder, llevando a la sociedad a un estado de *esclavitud inconsciente*. Este estado es conseguido llevando a cabo una manipulación de la información ofrecida al pueblo que consigue engañarles y hacerles creer que lo falso es lo verdadero (además de eliminando, obviamente, a las personas más inteligentes, que suponen una amenaza para el mantenimiento del régimen).

Lo más importante de estas obras es su veracidad. A pesar de ser novelas de ficción, tienen un componente verídico de los hechos que estaban sucediendo en ese momento: dictaduras totalitarias, como el régimen soviético en Rusia o el nazi en Alemania, que aterraban a Orwell por las consecuencias que podrían tener posteriormente. Y en efecto, Orwell “adivinó” varios de los hechos que predecía. Aunque, por suerte, no se llegó a un estado como el de 1984, sí hubo purgas, manipulaciones y matanzas tan horribles como las que él pretendía vaticinar.

Resulta interesante ver cómo Orwell –a pesar de ser un “visionario” para su época, defender opiniones que nadie más apoyaba (y que acabaron apoyando)



y adelantar hechos que más tarde sucedieron–, defiende a su vez la idea más antigua de que es la libertad la que se apoya en la verdad, y no al contrario.

Leer a Orwell y comprobar la veracidad de sus escritos, incluso actualmente, nos hace darnos cuenta de que, mientras que no se haga daño a nadie, se debe apoyar aquello en lo que creemos incluso aunque nadie más lo crea así, ya que puede que no estemos equivocados. Es importante tener esto en cuenta, ya que, al fin y al cabo, “encontrarse en minoría, incluso en minoría de uno solo, no significaba estar loco. Había la verdad y lo que no era verdad, y si uno se aferraba a la verdad incluso contra el mundo entero, no estaba uno loco.” (Orwell, 2012, p.274).

---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Orwell, G. (2012), *1984*, Barcelona, España, Austral.

Orwell, G. (2016), *Rebelión en la granja*, Barcelona, España, Debolsillo.

Orwell, G. (2016), *Ensayos*, Barcelona, España, Debolsillo.

Orwell, G. (2013), *Homenaje a Cataluña*, Barcelona, España, Debate.

“Avoir raison avec George Orwell”, Radio France, 03-07, Julio, 2017.







# Entre el pasado y el futuro: acercamiento virtual a la villa romana Los Villaricos

---

/ TERCER PREMIO

**AUTORA** | MARIA JOSÉ GANGA VICENTE

**COORDINADOR** | PEDRO PEINADO ROCAMORA

**CENTRO** | IES SALVADOR SANDOVAL

**CIUDAD** | LAS TORRES DE COTILLAS-MURCIA

## RESUMEN |

La arqueología virtual es una nueva técnica que ha surgido, gracias a las nuevas tecnologías emergentes, para difundir y preservar el legado histórico. Aunque apenas lleva treinta años en marcha, es una disciplina ya consolidada y bastante expandida por su utilidad, que, sin duda, atrae a mucha gente por sus increíbles resultados. Por medio de este estudio cualitativo y descriptivo se analizan sus ventajas y las posibilidades que ofrece mediante una observación directa en un campo de trabajo en la Villa romana los Villaricos (Mula, Murcia) y, además, mediante una representación 3D del *balneum* de la misma. Aunque esta tarea es bastante compleja, es muy motivador observar cómo todo el público interesado en este tema, incluso los que presentan discapacidades o los que ni siquiera se encuentran en la propia villa, pueden disfrutar del panorama y los conocimientos que ofrece. Por último, destacar que los trabajos de digitalización de esta villa no se encontraban muy avanzados, y que, es la primera villa romana murciana en ser objeto de la implantación de códigos QR para hacer más amena y mejorar la visita de esta.

## ABSTRACT |

Virtual archaeology is a new technique that has emerged thanks to the new technologies, with the purpose of spreading and preserving the historical legacy. Although it has only been used during the last thirty years, it is already a consolidated discipline that is expanded for its scientific usefulness and capacity to attract the general public. This qualitative and descriptive study illustrates its advantages and the possibilities it offers. We analysed in situ, by direct observation, the roman villa of Villaricos (Mula, Murcia), and, by a 3D representation of its *balneum*, too. Even though this task is very complex, observing how all the public can enjoy the villa and manifests interest in this issue, even the disabled or the people who are not physically in this villa, is specially motivating. Last but not least, by the time we started this project, works on digitalizing this villa were only in an initial stage, and moreover, it is the first roman villa of Murcia that has been subjected to the implantation of QR codes to make its visit more pleasant and entertaining.



## 1. PRÓLOGO

Este trabajo responde a un doble reto: investigar el pasado que está en nuestras inmediaciones, participando, durante quince días, en una excavación arqueológica en el yacimiento los Villaricos (Mula, Región de Murcia) y aprender de profesionales que llevan muchos años estudiando esta villa. Por otro lado, mostrar los restos romanos de este yacimiento, objeto de la investigación, utilizando nuevas tecnologías aplicadas a la arqueología.

## 2. INTRODUCCIÓN

La arqueología virtual ha surgido como consecuencia de las tecnologías emergentes, y tiene como objetivo explicar al público cómo es el resto arqueológico con el que se está trabajando. De esta manera, las nuevas tecnologías se han convertido en una herramienta social: ahora, el patrimonio arqueológico se puede acercar incluso a las personas con discapacidades; hemos conseguido que todos podamos disfrutar y aprender por igual.

## 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Es un hecho, la tecnología se ha transformado en un poderoso aliado de la Historia. Gracias a esta, nuestros arqueólogos van camino de una nueva disciplina científica: la arqueología virtual, que puede ser definida como la elaboración de modelos informáticos de apoyo a la investigación e interpretación del patrimonio arqueológico (Reilly, 1990).

Las iniciativas más importantes de la arqueología virtual en España son:

- Virtual Archeology Review, la primera revista científica publicada en España dedicada exclusivamente a la arqueología virtual.
- Arqueológica 2.0, un lugar de encuentro para investigadores, profesionales y estudiantes de Arqueología Virtual. Gracias a este, España se ha colocado entre las primeras potencias mundiales en este campo.
- La Carta de Sevilla, que engloba los principios para la mejora de la digitalización de nuestro patrimonio.
- El CAAI, que es el Centro Andaluz de Arqueología Ibérica, que se encuentra en el momento digitalizando todos los restos íberos de Andalucía.

## 4. CONTEXTO ARQUEOLÓGICO

Las villas eran los lugares de descanso y recreo de la élite romana. Solían situarse en las afueras de la ciudad y estaban destinadas al ocio de la familia, que huían de las estresantes actividades de la urbe y las incomodidades de las grandes ciudades. Además, solían estar relacionadas con actividades agrícolas y ganaderas.





Este trabajo se centra en solo una parte de esta, las termas o balneum, que consta de tres elementos principales: el frigidarium (baño de agua fría), tepidarium (templado) y caldarium (baño caliente), que contaba con un hypocaustum para proporcionar calor. Además, podía contar con un vestuario (apodyterium), salas para dar masajes, depilar, ungir con aceites...

Además, también se trata la lucerna africana encontrada en Villaricos. Es una lucerna cristiana de producción africana que fue elaborada en los talleres de Túnez en sigillata africana, con su característico barniz anaranjado. La decoración principal es una cruz monogramática y flanqueada por orlas. Cada orla contiene un ánfora, ocho hojas de hiedra cordiformes y un círculo de anillos concéntricos. El orificio de iluminación aparece tiznado, evidentemente por el uso.

## 5. METODOLOGÍA

Los objetivos de este proyecto se pueden resumir en tres: documentar e investigar la villa romana de los Villaricos, sus características, su estructura...; realizar una representación 3D de las termas o balneum; e incorporar códigos QR. El método ha sido básicamente cualitativo, ya que se pretendía analizar un fenómeno social dentro de un contexto tecnológico.

Se ha seguido el siguiente esquema:

En mayo-junio del año pasado se contactó con estos dos arqueólogos: José Antonio Zapata Parra, que es el arqueólogo municipal de Mula, y con José Javier Martínez, que dirige el CEPOAT.

Después se recopiló todo el material documental necesario, y posteriormente, se asistió al curso de arqueología de campo en Villaricos, donde se aprendieron todas las técnicas e instrumentos que hoy se utilizan, como la estación total, el dibujo de campo, y la fotogrametría.

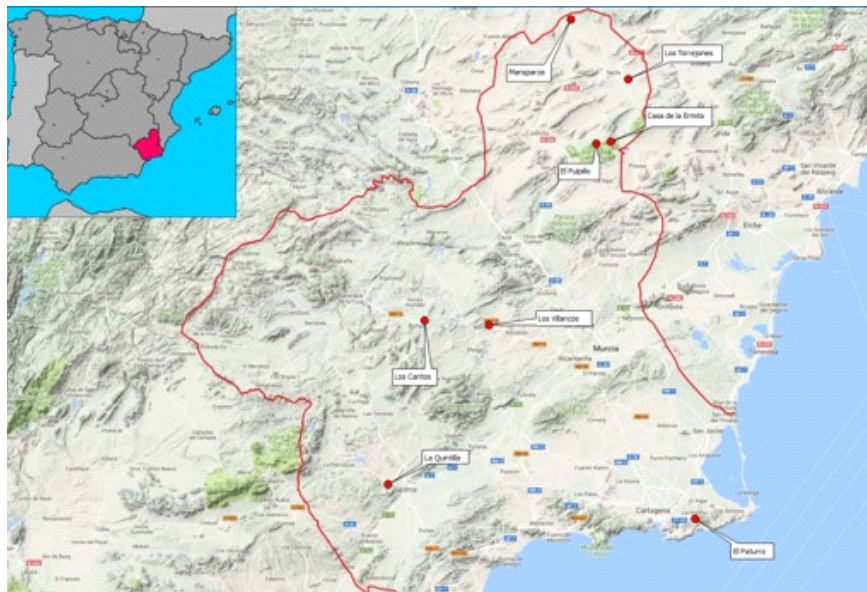
Los programas que se utilizaron para esta técnica son:

- QGIS: Que es un programa bastante complejo para realizar mapas mediante la inserción de coordenadas.
- INKSCAPE: Que es un software vectorial con el que hicimos dibujos de perfiles de cerámica.
- PHOTOSCAN: Que es un programa que a partir de fotografías y la alineación de puntos comunes te genera un modelo tridimensional.
- DRAFTSIGHT: Que sirve para vectorizar la planimetría de un modelo.
- BLENDER: Que fue el más difícil de manejar por la variedad de opciones que ofrece, y que se utilizó para juntar modelos, añadirles sombras, focos de luz y perfeccionarlos.



Figura 01

Mapa regional de todas las villas romanas de Murcia.  
Fuente: elaboración propia.



## 6. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL EN EL CAMPO DE TRABAJO DE VILLARICOS.

Se aprendieron diversas técnicas arqueológicas, entre las que destacan las siguientes:

- DIARIO DE CAMPO. Que es donde se recopilaban todos los hallazgos durante una jornada de trabajo.

Figura 02

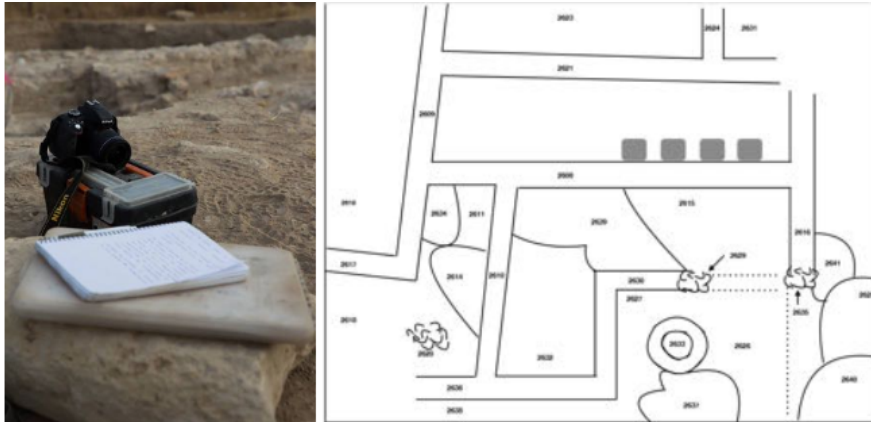
Parte del grupo bajando el nivel estratigráfico.  
Fuente: elaboración propia.





Figura 03

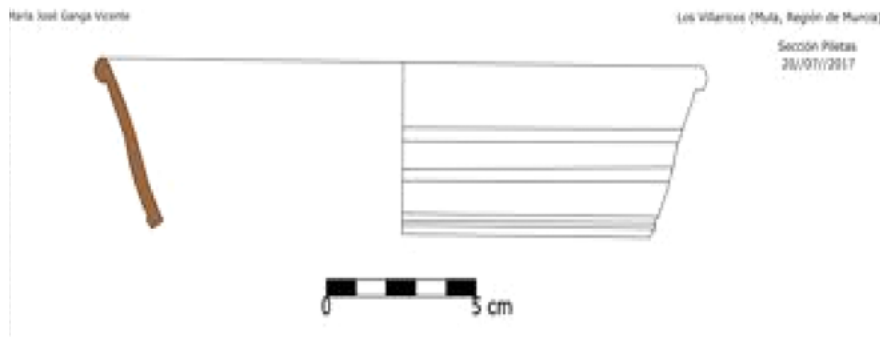
Diario de campo personal (izq.) y esquema de los niveles estratigráficos realizado el 15 de Julio de 2017 (der.).  
Fuente: elaboración propia.



- **INVENTARIO.** La cerámica romana encontrada se lava con cuidado para quitar todos los restos de tierra, después se clasifican todos los pedazos según su aspecto, color, forma... Después se datan o “se siglan”, como los arqueólogos dicen, y, por último, se registran en la base de datos.
- **DIBUJO DE CERÁMICA.** Que se hizo con Inkscape, como ya he dicho, y sirve para estudiar mejor la cerámica encontrada en un yacimiento y poder compararlas.

Figura 04

Ejemplo de perfil de cerámica hechos durante la excavación en Villaricos.  
Fuente: elaboración propia.



- **FOTOGRAMETRÍA.** Que se hizo con una cámara réflex Nikon. Lo primero era establecer puntos, que marcábamos con plastilina o piedras blancas, y después hacer muchas fotos desde todas las perspectivas posibles.



Figura 05

Experiencia propia en el campo de trabajo.  
Fuente: elaboración propia.



## 7. APLICACIÓN TECNOLÓGICA.

Por un lado, para hacer el modelo 3D de las termas, primero se procesó cada parte con PhotoScan, después se juntaron en Blender y se hizo un vídeo y un código QR que llevara a dicho vídeo.

Figura 06

Representación 3D de las termas completas de Villaricos.  
Fuente: elaboración propia.

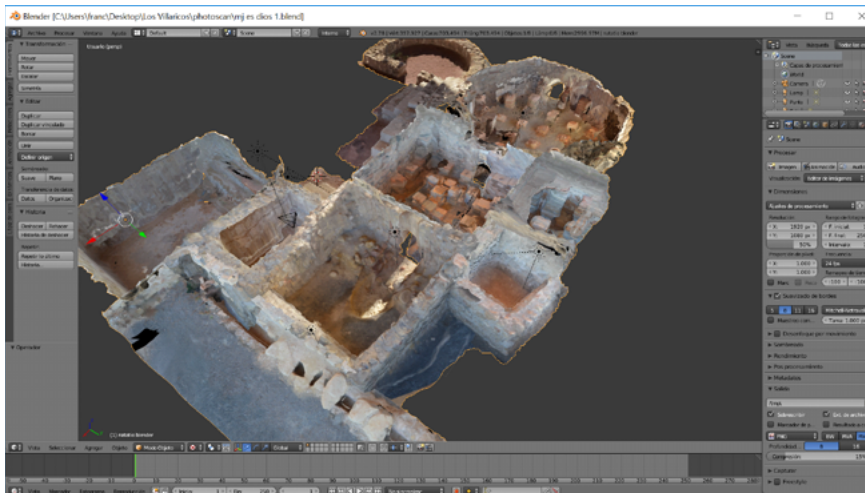


Figura 07

Código QR de las termas de Villaricos.  
Fuente: elaboración propia.





Después, también se hizo el modelo 3D de la lucerna. El arqueólogo Zapata sacó la pieza para que pudiera echarle las fotos y después se llevó a cabo el mismo proceso que con las termas. Con la lucerna, además, también se hizo una réplica gracias a la impresora 3D del IES Salvador Sandoval. Después se cubrió con varias capas de arcilla y agua, y se retocó con pintura negra y ceniza para darle un toque más realista.

Figura 08

Procesado con Blender de la lucerna (izq), réplica de la lucerna africana de Villaricos (drcha.).  
Fuente: elaboración propia.

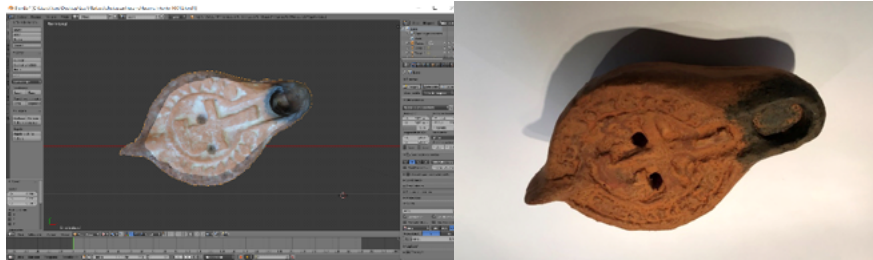


Figura 09

Código QR del vídeo de la lucerna africana.  
Fuente: elaboración propia.



Los vídeos se pueden visualizar en el canal de Youtube “Modelos 3D Villaricos”.

## 8. CONCLUSIÓN

La principal aportación ha sido la creación de una representación 3D del balneum y de la lucerna, además de los códigos QR, para acceder a este contenido con tan solo un clic.

Este trabajo ha tenido tres finalidades: fin divulgativo, acercar nuestro patrimonio empleando las nuevas tecnologías y herramientas del siglo XXI; fin social, acercándose a todas aquellas personas que, por diferentes razones, no pueden disfrutar del patrimonio histórico que poseemos; y un fin pedagógico, al crear soportes virtuales del yacimiento que podrán ser utilizados sin estar in situ allí.

Un proyecto futuro es la realización de un curso de antropología en el verano de 2018 en la misma villa, así se podrá investigar sobre la presencia visigoda en la península, analizar los más de cuarenta cadáveres encontrados en el lugar; aprender sobre antropología, y sobre la arqueología virtual aplicada a esta disciplina.





Figura 10

Haciendo las fotografías con una cámara réflex Canon.  
Fuente: elaboración propia.



Otra futura aportación podría ser la creación de una recreación virtual de la propia villa. Esto sería complicado, ya que no se conserva ningún texto que indique o mencione el estado o aspecto de la misma en el pasado, pero, aun así, se podría hacer basándose en otras villas similares del sureste, que sí tengan documentos preservados sobre este tema.

---

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Documentos privados del CEPOAT.

Fernández, G., & Matallana, R., (2010). *La villa de Los Villaricos* (Mula, Murcia).  
Un ejemplo de asentamiento rural romano.

Grande, Alfredo (2005). *Arqueología virtual: Investigación, conservación y difusión del patrimonio de la era digital*.

Martínez García, J.J. (2017). *Fotografía aérea* / KAP.

Noguera, José M. (1995). *Poblamiento rural romano en el sureste de Hispania*.

Reilly, P. (1990). *Towards a virtual archaeology*.









# Causas de la intervención estadounidense en la crisis del Congo: una revisión historiográfica

/ PREMIO ESPECIAL UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

**AUTORA** | ELENA ROLLÁN MARTÍN

**COORDINADOR** | ALFREDO CACHO GÓMEZ

**CENTRO** | IES RAMIRO DE MAEZTU

**CIUDAD** | MADRID

## RESUMEN |

La intervención llevada a cabo por Estados Unidos en la República Democrática del Congo durante la conocida como "Crisis del Congo" (1960-1965) siempre se había estudiado tomando como causa principal el marcado anticomunismo que existía en el país americano. No obstante, tras la desclasificación masiva de documentos confidenciales de la CIA datados en estos años y la publicación de nuevas investigaciones, tras varios años de estancamiento en el análisis de esta cuestión, durante la última década, se hace posible un nuevo estudio general del tema con una mayor perspectiva histórica. El objetivo de esta investigación era por tanto revisar el material, antiguo y nuevo, que existe sobre las causas de la intervención estadounidense en la Crisis del Congo con el propósito de determinar si la tesis ortodoxa se sostiene a la luz de esta aparente renovación de fuentes. El análisis general de fuentes arrojó tres causas principales para la intervención estadounidense: el anticomunismo de Estados Unidos, el valor mineral del Congo, y las ventajas estratégicas que aportaba el control del país para la potencia occidental. Tras estudiar la importancia relativa de cada una de estas motivaciones, se concluye que la tesis ortodoxa se mantiene en la historiografía actual, apoyada de hecho por el material nuevo de las últimas décadas.

## ABSTRACT |

The evident anticommunism present in the American government has always been considered to be the main cause of the intervention carried out by the United States in the African country during the so-called "Congo Crisis" (1960-1965). Nevertheless, after the massive declassification of confidential CIA documents of this period undergone in the last decade, as well as the publication of new investigations after years of stagnation in the analysis of this question, allows for a new general analysis of this subject with greater historical perspective. The aim of this paper was therefore to review the existing material, both old and new, on the causes of the American intervention in the Congo Crisis, with the purpose of determining whether or not the classical thesis stands despite the apparent renovation in sources. The general analysis of the sources put forward three main causes for the American intervention: US anticommunism, Congo's mineral value and the strategic advantages holding Congo presented for the occidental power. After studying the relative importance of each of these motivations, our final conclusion is that the long-held thesis stands in today's historiography, with these new sources actually providing more evidence for it.



## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Tras la llegada a la independencia el 30 de junio de 1960, el Congo (actual República Democrática del Congo) se veía abocado a un largo período de inestabilidad e incertidumbre, conocido como la “Crisis del Congo”. Esta crisis supuso el principio de la conflictividad en la zona, que continúa en la actualidad. A su vez, la intervención de las dos superpotencias, cuyo enfrentamiento agravó la situación, explica gran parte de esta crisis. Por tanto, conocer los motivos que llevaron a la intervención de Estados Unidos o la Unión Soviética en el Congo son claves para la comprensión del desarrollo histórico de la actual República Democrática del Congo (RDC). Este trabajo de investigación permite, por tanto, ahondar en un tema, el de la historia africana, muy poco conocido en el mundo occidental.

Todas las investigaciones previas a las desclasificaciones de documentos de la CIA parecen estar de acuerdo en que la intervención de Estados Unidos en el Congo respondió a su marcado anticomunismo, una tesis que podríamos considerar ortodoxa.

Ante la abundancia de estudios anteriores, nos surge la pregunta, desde la inquietud investigadora, de averiguar si las ideas que se al principio de las investigaciones se han mantenido en los trabajos llevadas a cabo en los últimos diez años, desde que empezaron a desclasificarse los documentos confidenciales de la CIA de los años sesenta.

## 2. RESULTADOS

### A. CONTEXTO HISTÓRICO

Consideraremos como Crisis del Congo al período de la historia de la actual RDC, entre 1960 y 1965, que se podría definir como una sucesión continua de situaciones críticas en este país, desde motines militares y conspiraciones políticas en el plano interno, a tensiones entre las superpotencias e intervenciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el plano internacional.

El contexto que generó esta crisis tiene sus orígenes en el pasado colonial de la RDC. Primero como colonia personal del rey belga Leopoldo II, y después como Congo Belga bajo control gubernamental, el país alcanzó su independencia el 30 de junio de 1960. El Primer Ministro de la recién creada República del Congo era Patrice Lumumba. Pese a haber logrado la independencia, seguía existiendo un gran malestar en la población (Meisler, 1995, p.117), que se materializaría el 4 de julio, con un motín militar en Leopoldville de los soldados nativos contra sus oficiales belgas.

Temiendo que la situación se extendiera a la provincia de Katanga, la más rica del Congo por sus recursos minerales, su dirigente, Moise Tshombe, anuncia-



ba poco después la secesión del Estado de Katanga (Legum, 1961, pp.118-119). Bélgica mandó entonces tropas al Congo, por motivos tanto económicos como para proteger a los ciudadanos belgas allí (Didier Gondola, 2002, p.120).

Ante esta violación de la soberanía congoleña, el Primer Ministro Lumumba solicitó la ayuda de las Naciones Unidas para protegerles de la “amenaza externa belga” (Namikas, 2002, p.3). Comenzaba la intervención extranjera en el Congo, donde destacaría el papel de Estados Unidos (EE. UU).

Esta era la situación en el plano nacional congoleño a mediados de 1960; además, la tensión también marcaba el plano internacional, con la Guerra Fría en pleno apogeo. Este conflicto desgastaba a EE.UU e hizo que la superpotencia occidental se enfrentara a la crisis del Congo con mayor hostilidad de la que era de suponer, tal y como admitiría años después Allen Dulles (Weissman, 2014, p.20), entonces director de la CIA.

## B. DEBATE HISTORIOGRÁFICO DE LAS CAUSAS ANALIZADAS

Determinar las causas generales de la intervención estadounidense en el Congo resulta complicado por sus contradictorias actuaciones allí (Kaplan, 1967, p.239); no obstante, los historiadores defienden que los objetivos principales de EE. UU tuvieron continuidad en el tiempo, si bien no todos coinciden en cuáles son estos objetivos.

Por un lado, autores de diversas décadas del siglo XX y XXI, como Lise Namikas (2002), Madeleine Kalb (1982), David Dickson (1993) o Stephen Weissman (2014), defienden que el interés principal de EE.UU era mantener la estabilidad en la zona para evitar la expansión del comunismo, si bien Weissman también señala la imposibilidad de dicha expansión, considerando innecesarios muchos de sus actos.

Algunos historiadores consideran que la principal motivación de EE.UU era controlar su riqueza mineral. Por ejemplo, David Gibbs señala que la intención de la potencia occidental era sustituir las grandes compañías mineras belgas en el Congo por empresas americanas (Gibbs, 1991), uniéndose así a los autores que consideran que EE.UU pretendía enriquecerse a costa de los minerales congoleños, como Devon Douglas-Bowers (2014) o Georges Nzongola-Ntalaja (2002).

Existen más autores que resaltan la riqueza mineral congoleña, aunque por la importancia estratégica que tenía para EE.UU. David Robarge (2014) indica que los minerales congoleños serían cruciales en un posible enfrentamiento armado con la URSS, y Thomas Borstelmann (1993) subraya la importancia estratégica del uranio para EE.UU, si bien centrándose en Sudáfrica, una evidente limitación para el presente estudio.



Por último, hay historiadores que se centran en la importancia geoestratégica del Congo, especialmente dado el momento de tensión que atravesaba la Guerra Fría. Así, Robarge (2014) y Douglas-Bowers (2014) examinan la situación estratégica del Congo en sus trabajos, mientras que Omajuwa Igbo Natufe (1984) se centra en la posible importancia del Congo en una hipotética Tercera Guerra Mundial.

Finalmente, destaca el trabajo de Erik M. Davis, y, en concreto, su tesis doctoral (Davis, 2013), que, aunque tiende al uso de juicios de valor para justificar la actuación de EE. UU, lo que quizá se explica por su nacionalidad estadounidense, reúne las tres causas ya señaladas, que desarrollaremos a continuación, para explicar la intervención estadounidense en el Congo.

### C. ANÁLISIS DE CAUSAS

#### I DETENCIÓN DE LA EXPANSIÓN DEL COMUNISMO

La percepción americana de que el comunismo podría expandirse por el Congo se basaba principalmente en hechos ajenos al propio Congo. Por un lado, el contexto de la Guerra Fría había creado una atmósfera de tensión que hacía que EE. UU estuviese especialmente sensible hacia cualquier posible amenaza.

Además, el proceso de descolonización estaba en pleno auge en 1960 (MacHannon, 2013). Dicho proceso era apoyado por la URSS, que, al carecer de colonias, podía beneficiarse de él en varios sentidos (Douglas-Bower, 2014): propagandísticamente, posicionándose como defensora de los pueblos colonizados para mejorar así su reputación; estratégicamente, aumentando el número de países comunistas; y económicamente, con la apertura de nuevos mercados y la posibilidad de aprovechar los recursos de los nuevos países, como los minerales congoleños.

Por un lado, Washington temía que el apoyo soviético a las colonias ayudara a la expansión del comunismo (Natufe, 1984, p.357); y, a la vez, defender al resto de sus aliados contra las aspiraciones de las colonias afectaba negativamente a su reputación en el resto del mundo (Robarge, 2014, p.3).

Finalmente, el Primer Ministro del Congo, Patrice Lumumba, era acusado de comunista por Occidente desde antes de la independencia, basándose en los supuestos contactos que tenía en el Partido Comunista Belga (Zeilig, 2008, pp.90-91). Según la biografía publicada por un corresponsal soviético en el Congo en 1961 (Khokhlov, 1961, pp.105-115), Lumumba admitió que la URSS tenía la visión que más se acercaba a los objetivos y voluntad del pueblo congoleño. Sin embargo, esta obra también señala que nunca tomó partido públicamente por la URSS más allá de este comentario.

El rechazo de EE.UU a Lumumba cristalizó tras la ceremonia de independencia del Congo: su discurso en dicho evento hizo creer a la administración Eisenhower que no sentía ningún miedo ni lealtad a las potencias occidentales, como



vemos claramente en este fragmento del discurso: “*aceptaremos [la amistad y ayuda de otros países] mientras sea honesta y no intente imponernos ningún sistema político, cualquiera que sea éste*” (López, 2012). Aunque es evidente la referencia a las dos superpotencias, es interesante señalar que, aún hoy en día, este discurso se encuentra traducido a varios idiomas en páginas web de posicionamiento marxista dedicadas a personajes comunistas, como es la fuente de este fragmento.

La situación empeoró cuando, tras la negativa inicial de la ONU a mandar tropas para acabar con la secesión de Katanga, Lumumba pidió ayuda a la URSS (Douglas-Bowers, 2014). Desde entonces, EE.UU consideró que la potencia soviética y China se habían puesto definitivamente de parte de Lumumba, como prueban los sucesivos informes de la CIA (General CIA Records, de julio y septiembre de 1960) que advertían de la financiación y ayuda técnica que estos países prestaban a su administración.

En efecto, existía la percepción de que el comunismo ganaba fuerza en el Congo, y un documento de la CIA parcialmente desclasificado, que data del 18 de agosto de 1960, advierte de las sospechas de la embajada estadounidense y los oficiales de la CIA de un “clásico intento comunista de tomar el poder del gobierno” (General CIA Records, 4 de julio de 1960). Como dice Dickson, esta idea es confirmada por otro memorándum (Kent, 1963, p.2) de enero de 1963, donde se avisa de que los comunistas seguían intentando hacerse con el poder.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que no sabemos cuántos archivos de la CIA aún no han salido a la luz, mientras que una parte importante de los que se encuentran disponibles tienen mucha información oculta, como se puede ver en los anexos que acompañan a este trabajo. Pese a que, como hemos dicho, Allen Dulles admitió años después que sobreestimaron la posibilidad de una toma de control soviética del Congo (Weissman, 2014, p.20), y a que la cantidad de tropas de la ONU desplegadas en el Congo en ese momento prácticamente lo imposibilitaban (Palma, 2002), la creencia de que podría ser así marcó una gran parte de sus actuaciones en esta crisis, realizadas a través de la ONU y de la CIA.

La ONU intervino en el Congo mediante la ONUC, o la Operación de las Naciones Unidas en el Congo. Según su propia página web, que debería ser objetiva por su origen, un organismo internacional, aunque podría también tender a un retrato más favorable a la ONU que la realidad:

“La ONUC se estableció en julio de 1960 para garantizar la retirada de las fuerzas belgas, ayudar al Gobierno a mantener el orden público y prestarle asistencia técnica. La función de la ONUC se modificó posteriormente para introducir el mantenimiento de la integridad territorial y la independencia política del Congo, impedir que estallara una guerra civil y asegurar la retirada de todo el personal militar, paramilitar y de asesoramiento extranjero no dependiente del Mando de las Naciones Unidas, así como la de todos los mercenarios.”

(Página web oficial de la ONU)



Pese a la aparente imparcialidad de los objetivos de la ONUC, EE.UU fue acusada de utilizar a la ONU para hacer “su trabajo sucio” (Meisler, 1995, p.121), una crítica compartida tanto por el bloque soviético como por algunos historiadores. Entre ellos, destaca Conor Cruise O’Brien, que en 1966 publicó *To Katanga and Back*, analizando el papel de la ONU en la crisis del Congo.

En la misma línea que O’Brien, Gibbs señala que, en 1960, el Secretario General de la ONU, Dag Hammarskjöld, admitió que con la ONUC pretendía “hacer explotar” lo que la URSS intentaba en el Congo (Gibbs, 2000, p.380); además, la ONU compartió con EE.UU información confidencial, al tiempo que “se tuvo cuidado con no dejar que ningún país comunista viera los telegramas del Congo” (O’Brien, 1966, pp.55-56). Por ello, aunque la ONUC era una operación de mantenimiento de paz, podemos concluir que, en cierta medida, sus actuaciones formaron parte del conflicto ideológico entre las superpotencias, y que una parte de las mismas estaba dirigida por EE.UU y su temor a que el comunismo se expandiera por el Congo.

Las dos operaciones más destacables que conocemos de la CIA en el Congo (Robarge, 2014, p.1) fueron la ayuda a Mobutu, dictador del país entre 1965 y 1997, para llegar al poder y la intervención en el asesinato de Lumumba. Si bien la agencia ha llegado a admitir lo primero (Gibbs, 1991, p.96), siempre ha negado lo segundo, y un informe del gobierno estadounidense de 1975, el Church Committee Report, apoyó esta negación. Sin embargo, existen suficientes indicios para, en la actualidad, decir que esta agencia sí organizó y participó en este asesinato (Witte, 2002, pp.17-22), que pretendía evitar la expansión del comunismo eliminando al que veían como representante de esta ideología en el Congo.

A medida que la percepción de Lumumba como una amenaza aumentaba, crecía el apoyo de EE.UU a Mobutu, al frente del ejército congoleño (Namikas, 2002, p.203). Mobutu dio un primer golpe de Estado en 1960, ayudado por la CIA, que accedió a proporcionarle armas y entrenamiento si debía enfrentarse a las fuerzas leales a Lumumba en el este del país (Collins, 1993, p.256); pero no se haría con el poder definitivamente hasta 1965. Entonces comenzaría su etapa dictatorial, al principio de la cual se ocupó de expulsar a todos los elementos pro-socialistas del gobierno del Congo (Gibbs, 2000, p.376).

## II CONTROL DE LA RIQUEZA MINERAL DEL CONGO

La importancia de los recursos africanos para los intereses estadounidenses quedaba clara ya en 1954, cuando el entonces vicepresidente de EE.UU, Richard Nixon, admitía que “a medida que se vacíen los recursos del mundo, África se volverá decisiva” (Sunday Mail, 1954). Los motivos de la importancia de los minerales congoleños son aún objeto de debate.

Una de las principales motivaciones que los autores antes tratados señalan es la



económica. Durante la época colonial, Bélgica creó un complicado entramado empresarial que aseguraba su explotación de la riqueza del Congo: el Gobierno belga controlaba dos tercios del Comité Spécial du Katanga (CSK), que a su vez tenía el 25% de las acciones de la Union Minière du Haut Katanga (UMHK), la principal empresa minera del país (Legum, 1961, p.43). Bélgica, país de la órbita capitalista, era aliado de EE.UU, así que este tenía una fuente de recursos fácilmente accesible en el Congo. Además, nombres importantes en Washington tenían también intereses personales en las empresas mineras de la excolonia (Douglas-Bowers, 2014). La llegada al poder de Mobutu fue financiada por EE.UU, financiación que continuaría posteriormente (Alonso Blanco, 2009, p.21) a cambio de concesiones que estudiaremos más adelante.

Como dice Davis, la mayoría de las interpretaciones económicas se basan en las explotaciones de cobre del Congo, la principal fuente de ingresos de la UMHK. Estas interpretaciones no valoran que el cobre estadounidense con ánimo de lucro tenía fundamentalmente origen doméstico, y que suponía el 43% de la producción mundial de cobre (US Geological Survey, 2012).

Autores como Davis (2013) o Robarge (2014), que sostienen esos contrargumentos, apoyan la posibilidad de otra motivación principal, la estratégica-militar. Los metales más importados a principio de la década de los sesenta por EE.UU desde el Congo eran el uranio y el cobalto (Davis, 2013, p.36). Así, el interés estadounidense en la riqueza mineral del Congo sería un intento de mantener a la URSS alejada de la misma y poder aprovecharla ellos (Davis, 2013, p.48).

Finalmente, la alianza de Mobutu con los intereses estadounidenses se tradujo en la total ausencia de exportaciones congoleñas a países de la órbita soviética hasta 1993 (Observatory of Economic Complexity). Además, el final del apoyo económico de EE.UU al Congo se produjo en 1991, con el final de la Guerra Fría (Alonso Blanco, 2009, p.21).

Podemos decir que todo esto apunta a un control estadounidense del Congo por motivos estratégicos más que por motivos económicos, y siempre centrados en superar a la URSS.

### III VENTAJAS ESTRATÉGICAS DEL CONGO PARA EE.UU

La administración Eisenhower actuaba según la teoría del dominó, la creencia de que, si un país entraba en un determinado sistema político, arrastraría a los de su entorno a este mismo sistema (Lamoyi, 1989, p.461-464). El Congo es el segundo país más grande de África, y, en 1960, limitaba con otras nueve colonias; fue el primer país de su entorno en independizarse, y ejercía sobre el resto una notable influencia, por lo que esta teoría podría haberse cumplido (Douglas-Bowers, 2014). Esta ventaja no fue aprovechada por EE.UU, ya que la inclinación política de cada nueva nación en torno al Congo en la Guerra Fría fue finalmente independiente de la de este país (Blanco, 1989, p.170).



Por último, Natufe sostiene otra posibilidad, que el Congo también podía ser utilizado como estado tapón entre Sudáfrica, en la órbita capitalista, y otros países africanos en la órbita comunista, como Egipto o, posteriormente, el Congo-Brazaville o Angola (Natufe, 1984, p.356), justificando así la posible importancia futura del Congo. Finalmente sólo se aprovechó esta última ventaja, con el establecimiento de bases militares en el Congo para lanzar operaciones contra Angola (Alonso Blanco, 2009, p.22).

### 3. CONCLUSIONES

Tras analizar las causas de la intervención de EE.UU en la Crisis del Congo, y como respuesta a la pregunta de investigación, podemos decir que el deseo estadounidense de detener la expansión del comunismo fue en gran medida la causa principal de su intervención en la actualidad, considerando todas las fuentes disponibles.

Llegamos a esta conclusión por dos razones. En primer lugar, y como hemos explicado, EE.UU intervino en esta crisis con una mayor hostilidad de la que quizá precisaba la situación, sobreestimando la capacidad de la URSS de extender allí su influencia y tomando como prioridad impedir esta posibilidad.

En segundo lugar, el resto de causas estuvo también subordinado a ésta. Por un lado, hemos concluido que el interés estadounidense en los minerales congoleños se debía a su potencial estratégico. Por último, impedir de raíz un contagio del comunismo en la zona del Congo justificaba su importancia estratégica aplicando la teoría del dominó o usándolo como Estado tapón.

Aunque las conclusiones de esta monografía se basan en fuentes fiables que aportan pruebas sólidas, podrían cambiar en el futuro, ya que todavía existen muchos documentos de esta época parcial o totalmente clasificados.





#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO BLANCO, J et al. (2009). *El conflicto en el Congo*. Boletín de Información (Ministerio de Defensa), 310, 19-42.
- BLANCO, M (1989) *Factores geopolíticos de los conflictos territoriales africanos*. *Ería: Revista Cuatrimestral de Geografía*, 19-20, p. 164-174
- BORSTELMANN, T. (1993). *Apartheid's Reluctant Uncle: The United States and Southern Africa in the Early Cold War*. Nueva York, Estados Unidos: Oxford University Press
- Central Intelligence Agency. [online] Disponible en:  
<https://www.cia.gov/library/readingroom/search/site/congo>[Acceso 29/01/2018]
- Church Committee. (1975). Interim Report: Alleged Assassination Plots Involving Foreign Leaders. Disponible en: [http://www.aarclibrary.org/publib/contents/church/contents\\_church\\_reports\\_ir.htm](http://www.aarclibrary.org/publib/contents/church/contents_church_reports_ir.htm) [Acceso 16/02/2018]
- COLLINS, C. (1993). *The Cold War Comes to Africa: Cordier and the 1960 Congo Crisis*. *Journal of International Affairs*, 47(1), 243-269.
- DAVIS, E. (2013). *The United States and the Congo (1960-1965): Containment, Minerals and Strategic Location*. Doctorado. University of Kentucky
- DEVLIN, L. (2007). *Chief of Station, Congo: Fighting the Cold War in a Hot Zone*. Nueva York, Estados Unidos: PublicAffairs
- DICKSON, D. (1993). *U.S. Foreign Policy toward Southern and Central Africa: The Kennedy and Johnson Years*. *Presidential Studies Quarterly*, 23(2), 301-315.
- DIDIER GONDOLA, Ch. (2002). *The History of Congo*. Westport, Estados Unidos: Greenwood Press
- DOUGLAS-BOWERS, D. (22/05/2014). The War in the Congo: Mutiny, Secession, and Foreign Intervention. Disponible en:  
<https://www.globalresearch.ca/the-war-in-the-congo-mutiny-secession-and-foreign-intervention/5383441> [Acceso 16/02/2018]
- GIBBS, D. (1991). *The Political Economy of Third World Intervention: Mines, Money and U.S. intervention in the Congo Crisis*. Londres, Gran Bretaña: The Univeristy of Chicago Press.
- GIBBS, D. (2000). *The United Nations, International Peacekeeping and the Question of 'Impartiality': Revisiting the Congo Operation of 1960*. *The Journal of Modern African Studies*, 38(3), 359-382.
- GLASSNER, M. I. (1998). *The United Nations at Work*. Westport, Estados Unidos: Praeger.
- KABUNDA, M. (2010). *Causas y consecuencias de la conflictividad en la República Democrática del Congo y los Grandes Lagos*. Papeles de relaciones



ecosociales y cambio global, 110, 133-144.

KALB, M. (1982). *The Congo Cables: The Cold War in Africa-From Eisenhower to Kennedy*. Nueva York, Estados Unidos: Macmillan

KANZA, T. (1972). *The Rise and Fall of Patrice Lumumba: conflict in the Congo*. Londres, Gran Bretaña: Penguin Books.

KAPLAN, L. (1967). *The United States, Belgium, and the Congo Crisis of 1960*. *The Review of Politics*, 29(2), 239-256.

KHAPOYA, V., & AGYEMAN-DUAH, B. (1985). *The Cold War and Regional Politics in East Africa*. *Journal of Conflict Studies*, 5(2).

KHOKHLOV, N. (1961) *Patrice Lumumba, The Truth about a Monstrous Crime of the Colonialists*. Moscú, Rusia: Foreign Languages Publishing House

LAMOYI, S. (1989). *La teoría del dominó en el Sudeste Asiático: el caso de Vietnam*. *Estudios de África y Asia*, 24(3), 455-468

LANG, H. (1962). *Uranium Mining and the AEC: The Birth Pangs of a New Industry*. *The Business History Review* 36(3), pp. 325-326

LEGUM, C. (1961). *Congo disaster*. Londres, Gran Bretaña: Penguin Books

LESLIE, W. C. (1993). *Zaire: continuity and change in an oppressive state*. Westview, Estados Unidos: Boulder

LUMUMBA, P. (1972). *Lumumba Speaks: the Speeches and Writings of Patrice Lumumba, 1958-1961*. Boston, Estados Unidos: Little and Brown

Marxists.org. [online] Disponible en:

<https://www.marxists.org/espanol/lumumba/1960/junio/30.htm> [Acceso 16/02/2018].

McMAHON, R. (2013). *Cold War in the Third World*. Nueva York, Estados Unidos: Oxford University Press

MEISLER, S. (1995) *United Nations: the First Fifty Years*. Nueva York, Estados Unidos: Atlantic Monthly Press

NAMIKAS, L. (2002). *Battleground Africa: the Cold War and the Congo Crisis*. Doctorado. University of Southern California

NATUFE, O. (1984). *The cold war and the Congo crisis, 1960-1961*. *Africa: rivista trimestrale di studi e documentazione*, 39(3), 353-374.

Observatory of Economic Complexity (OEC) Disponible en:

<https://atlas.media.mit.edu/en/> [Acceso 16/02/2018]

PALMA, C. (2002). *Why did the US want to kill Prime Minister Lumumba of the Congo? The Interagency Process*. En Washington D.C., Estados Unidos



- ROBARGE, D. (2014). *CIA's Coverts Operations in the Congo, 1960-1968: Insights from Newly Declassified Documents*. *Studies in Intelligence*, 58(3), 1-9
- SUNDAY MAIL, Salisbury, Rhodesia, 3 de enero de 1954
- U.S. Geological Survey. (2012). U.S. Geological Survey Data Series 140. [online] Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/ds/2005/140/>. [Acceso 16/02/20]
- UNITED STATES GOVERNMENT. (1952-1954). Documentos 90 a 292 *Foreign Relations of the United States*, Volumen XIV: África
- UNITED STATES GOVERNMENT. (1952-54). Documento 925 *Foreign Relations of the United States*, Volumen I
- WEISSMAN, S. (2014). *What Really Happened in Congo. The CIA, the Murder of Lumumba, and the Rise of Mobutu*. *Foreign affairs (Council on Foreign Relations)*. 93. 14-24.
- WILLIAMS, S. (2017). *Spies in the Congo: America's Atomic Mission in World War II*. Nueva York, Estados Unidos: Perseus Books
- WITTE, L. de. (2002). *The Assassination of Lumumba*. Estados Unidos: Verso
- ZEILIG, L. (2008), *Lumumba: Africa's Lost Leader*. Londres, Gran Bretaña: Haus, pp 90-91





## Literatura leída mayoritariamente por mujeres en la actualidad. La novela erótico-romántica.

---

/ ACCESIT

**AUTOR** | SERGIO BAENA SÁNCHO

**COORDINADORA** | BELÉN VÁZQUEZ MARTÍN

**CENTRO** | IES PROFESOR ÁNGEL YSERN

**CIUDAD** | NAVALCARNERO-MADRID

### RESUMEN |

En la actualidad parece observarse el éxito de un subgénero literario, la novela erótico-romántica, principalmente entre las lectoras. Por ello, planteamos como hipótesis de esta investigación la existencia de una literatura leída mayoritariamente por mujeres. Integrando un diseño metodológico cualitativo con entrevistas a diez escritores y cuantitativo, mediante cuestionario en el que han participado 385 miembros de la comunidad educativa del I.E.S. Profesor Ángel Ysern de Navalcarnero (Madrid), se han podido conocer las percepciones y hábitos de lectura de los participantes. Los resultados obtenidos son muy interesantes puesto que aclaran la postura de escritores en general y de autoras de este subgénero, al tiempo que establecen diferencias significativas en función de la edad y el sexo en las percepciones y hábitos de los encuestados.

**Palabras clave:** Mujer, literatura femenina, novela erótico-romántica.

### ABSTRACT |

Nowadays, it seems obvious that there's a literary sub-genre, the erotic romance novel, with great success mainly among female readers. Thus, we put forward the hypothesis of this research that there is a literary genre read mostly by women. Integrating a qualitative, methodological design with interviews with ten authors and quantitative through a questionnaire in which 385 members of the educative community at Profesor Ángel Ysern Secondary School in Navalcarnero (Madrid) participated, it was possible to know the perceptions and reading habits of the participants. The results obtained are very interesting since they clarify the position of writers in general and of female authors of this sub-genre, while establishing significant differences depending on age and sex in the perceptions and habits of those surveyed.

**Keywords:** Women, literature for females, romantic and erotic novel.



## 1. INTRODUCCIÓN

Durante muchos siglos se han relacionado directamente los sentimientos con las mujeres. Quizás por eso gran parte la literatura de contenido amoroso se ha considerado literatura de mujeres, literatura menor, *paraliteratura* o *subliteratura* y ha quedado al margen de los estudios literarios. A esta situación hay que añadir las dificultades con las que las mujeres, en general, han ido accediendo a la literatura a lo largo de la historia.

El hecho de que estas obras hayan sido consideradas como literatura menor, puede haber influido en que hayan quedado al margen de los estudios literarios y en que, en la actualidad, existan pocas investigaciones sobre este tema. Por esa razón, considero de suma importancia realizar una investigación en la que se intente dar respuesta a la pregunta de si existe una literatura leída mayoritariamente por mujeres, y que analice en profundidad los subgéneros relacionados con las lectoras.

En la actualidad los informes de la Federación de Gremios de Editores de España (2012) destacan un aumento de ventas de la novela erótica (editados 0'18 títulos y vendidos 0'9) y romántica (editados 2'3 y vendidos 2'3) pese al descenso generalizado en la venta de novelas de cualquier género. Hay que añadir las numerosas especializaciones dentro del género: la novela romántica de personajes, la erótica o la *chick lit*, que intentan llegar a un sector más amplio de potenciales lectores, entre los que cada vez hay más hombres.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. RELACIÓN ENTRE LITERATURA Y PÚBLICO FEMENINO A LO LARGO DE LA HISTORIA.

Ya en la novela griega en general pueden advertirse algunas características que tradicionalmente se han asociado más al gusto femenino: la temática amorosa y el papel relevante de la protagonista femenina, hacen, probablemente, que las mujeres se conviertan en grandes lectoras de novelas durante la época helenística (Herrero, 1987).

En la Edad Media solo las mujeres nobles eran alfabetizadas, pues muchas de ellas leían para sus maridos o padres, aunque algunas leían por placer (Corleto, 2006). Durante el Renacimiento se consideraba que las mujeres debían leer libros relacionados con el culto religioso (Bernárdez, 2009). En el siglo XVII surgió el melodrama. Sus lectores, en muchos casos mujeres, buscan evadirse a mundos irreales, el gusto por la intriga sentimental y el final feliz (Estébanez, 2002). A finales del siglo XIX y principio del XX nació la exitosa novela galante o erótica. También surgió durante este siglo la novela de folletín, que según Estébanez (2002) es una forma de edición seriada de novelas que eran publicadas



de forma fragmentada en la prensa periódica, esto último debido a su extensión.

Durante el siglo XX apareció la figura de Corín Tellado, que cultivó el género de la novela rosa y la fotonovela. En la actualidad, la novela erótico-romántica es uno de los subgéneros narrativos más vendidos, encontrándose solo por debajo de la novela policíaca, la novela contemporánea y la clásica (FGEE, 2016).

## 2.2. LA NOVELA ERÓTICO-ROMÁNTICA EN LA ACTUALIDAD.

Las novelas erótico-románticas comparten rasgos como: la importancia de los sentimientos, el final feliz, la utilización de un lenguaje sencillo y el tratamiento de la sexualidad femeninas. Se pueden distinguir varios tipos de novela erótico-romántica como la histórica, que relata una historia de amor ambientada en una época pasada. Algunas escritoras que han cultivado este subgénero son Diana Gabaldon, autora de *La cruz ardiente* (2016), o Megan Maxwell, con obras como *Ella es tu destino* (2015). El segundo tipo es la novela *chick lit*, como afirman Gill y Herdieckerhoff (2006) estas obras están dirigidas expresamente a un público femenino y se hicieron muy famosas entre las mujeres de Gran Bretaña. Narra la vida de mujeres de clase media y cercanas a los treinta, que buscan el éxito en profesional, amoroso y de amistad. La escritora española de novela *chick lit* más conocida es Megan Maxwell, autora de *Melocotón loco* (2014).

La novela paranormal, por su parte, incluye la novela de viajes en el tiempo. Estas obras desarrollan una historia de amor con elementos sobrenaturales. Algunas escritoras notorias son Diana Gabaldon, autora de *Forastera* (2014), y Christine Feehan, con obras como *Al filo de la oscuridad* (2018).

El último tipo de novela erótico-romántica es la de suspense, que combina una trama de misterio con una historia de amor. Destacan la escritora estadounidense Nora Roberts, autora de *Las estrellas de la fortuna* (2018) y la española María José Tirado, con *Mangaka. Lágrimas en la arena* (2014). Por último, cabe resaltar a la escritora española de novela erótico-romántica Megan Maxwell, con obras como *Pídeme lo que quieras* (2013), *Adivina quién soy* (2014), *Pasa la noche conmigo* (2016) o *Yo soy Eric Zimmerman* (2017).

## 2.3. LITERATURA LEÍDA MAYORITARIAMENTE POR HOMBRES.

En los siglos XIX y XX aparecieron varios subgéneros destacados como: la novela de terror, la novela del oeste, la novela de ciencia ficción, la novela policíaca... Tradicionalmente sí han existido subgéneros literarios más asociados a los lectores que a las lectoras, aunque en la actualidad dichos subgéneros son leídos tanto por hombres y mujeres en igual medida.

## HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis que nos planteamos es la siguiente: ¿existe una literatura leída ma-



yoritariamente por mujeres en la actualidad? A partir de dicha hipótesis hemos formulado los siguientes objetivos:

1. Averiguar la opinión de escritores en general y de autoras de novela erótico-romántica en particular acerca de la existencia de una literatura leída mayoritariamente por mujeres en la actualidad.
2. Conocer la percepción personal de los miembros de una comunidad educativa sobre la literatura erótico-romántica, estableciendo diferencias en función de su edad y sexo.
3. Indagar en los hábitos de lectura de los miembros de una comunidad educativa en función de su edad y sexo.

#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

En función de estos objetivos se ha planteado una investigación en la que se integran métodos cualitativos y cuantitativos. El primer componente, relacionado con el primer objetivo, ha consistido en el envío por correo electrónico de un cuestionario con respuestas abiertas a 10 escritores, de los cuales 5 son autoras de literatura erótico-romántica.

El componente cuantitativo, relacionado con los otros dos objetivos, se ha articulado como un estudio transversal, realizado mediante un cuestionario con respuestas graduadas en escala de Likert (Hernández Samiperi, 2014) y dividido en dos apartados. El primero con 7 preguntas sobre la percepción personal de los participantes acerca de la literatura erótico-romántica; y el segundo con 10 cuestiones sobre los hábitos de lectura de los participantes, inspirado en la encuesta de hábitos culturales de los años 2014 y 2015 (MECD, 2015) y en el barómetro de hábitos de lectura y compra de libros (FGEE, 2017). La muestra ha sido no probabilística o dirigida, dada la selección de los participantes entre la comunidad educativa del IES Profesor Ángel Ysern de Navalcarnero (Madrid). Han participado 385 personas, relacionadas con el centro (profesores, personal no docente, alumnos y familiares), de las cuales 161 son hombres y 224 son mujeres. En función de la edad, han sido 283 jóvenes (entre 12 y 25 años) y 102 adultos (26 años o más). Para el tratamiento estadístico de los datos se ha empleado el software libre PSPP y se ha utilizado la prueba no paramétrica chi cuadrado para determinar las diferencias estadísticamente significativas en función de la edad y el sexo de los participantes.

#### 5. RESULTADOS

##### 5.1. RESULTADOS CUALITATIVOS.

De los diez escritores encuestados, mayoritariamente mantienen solo que hay literatura buena y mala y que en el caso de que hubiese una literatura para mujeres, la etiqueta es inexacta. Las autoras de novela erótica insisten en que no debería haber literatura por géneros.





Los escritores, en general, han coincidido en que la calidad de la novela erótico-románticas no es ni inferior ni superior al resto. Las autoras de este tipo de novelas señalan que la temática (centrada en el sentimentalismo y la sexualidad femenina), el lenguaje más sencillo, el final feliz; los contratiempos que la pareja debe superar para poder disfrutar de su amor, la importancia de los sentimientos, la investigación psicológica de los personajes; la reflexión sobre el destino y la multitud de escenarios, épocas y tramas son algunas de las características que hacen que las novelas erótico-románticas tengan más cabida entre un público más amplio. También destacan los prejuicios sobre sus obras y en que estas están infravaloradas, quizás por desconocimiento y que no hay muchas diferencias entre la novela romántica española y la de otros países, y que tampoco hay diferencias significativas entre las obras escritas por autores y por autoras.

Los diez escritores coinciden en que no existe una literatura dirigida a un público masculino; sino que existe literatura creada por hombres, como existe literatura creada por mujeres. No obstante sí se han nombrado algunos subgéneros como: la novela de misterio, del oeste o la literatura científica.

Por último, las cinco encuestadas de novela erótica han coincidido en que, en la actualidad, les resulta fácil llegar a sus lectores gracias al uso de las redes sociales y que la cercanía entre lectores y escritores es mucho mayor en la novela erótica que en otros subgéneros.

## 5.2 RESULTADOS CUANTITATIVOS.

a) Se muestran en primer lugar los resultados obtenidos a partir del cuestionario de siete preguntas que recoge la percepción y creencias personales de los participantes.

En la tabla 1 se observa que la mayoría de los encuestados piensa que son las mujeres las que en general leen más que los hombres, y que además son ellas las que leen más novela romántica y erótica. En función del sexo aparecen diferencias estadísticamente significativas, puesto que los hombres creen que la diferencia a favor de las mujeres es menor de lo que piensan ellas, de hecho un 40% de los hombres afirman que ambos sexos leen lo mismo, mientras que solo un 27% de las mujeres lo cree.

La tabla 2 muestra que la percepción de los encuestados es que las obras leídas mayoritariamente por mujeres son, con mucha diferencia, las románticas (entre el 71% y el 82%), seguidas de lejos por las eróticas (entre el 23% y el 31%). Por otro lado, las policíacas y de ciencia ficción serían las menos leídas (entre el 9% y el 14%). No se muestran grandes diferencias ni en función de la edad ni del sexo de los participantes.

La tabla 3 muestra que la mayoría de los encuestados perciben que las obras leídas mayoritariamente por hombres son las de ciencia ficción (entre el 55% y



	SEXO	¿Leen las mujeres más que los hombres?	¿Leen las mujeres más novela romántica?	¿Leen las mujeres más novela erótica?
Siempre	H	11,80%	14,91%	6,21%
	M	7,59%	12,95%	11,61%
Mayoritariamente sí	H	43,48%	58,39%	37,89%
	M	61,16%	72,77%	44,20%
Lo mismo	H	40,37%	21,74%	37,27%
	M	26,79%	12,05%	31,25%
Mayoritariamente no	H	2,48%	3,11%	11,18%
	M	4,02%	1,79%	10,71%
Nunca	H	1,86%	1,86%	7,45%
	M	0,45%	0,45%	2,23%
Chi-cuadrado		0,005	0,025	0,031

Tabla 1. Percepción lectura hombres y mujeres, novela romántica y novela erótica

	GLOBAL	SEXO		EDAD	
		HOMBRE	MUJER	12-25	MÁS DE 26
HISTÓRICAS	17,40%	13,75%	20,09%	13,48%	28,43%
ROMÁNTICAS	77,66%	71,43%	82,14%	79,51%	72,58%
C. FICCIÓN	11,95%	9,32%	13,84%	12,72%	9,80%
POLICÍACAS	11,43%	9,94%	12,50%	11,31%	11,76%
ERÓTICAS	29,09%	31,06%	27,68%	31,45%	22,55%
OTRAS	23,64%	29,81%	19,20%	22,97%	25,49%

Tabla 2. Percepción obras leídas mayoritariamente por mujeres

	GLOBAL	SEXO		EDAD	
		HOMBRE	MUJER	12-25	MÁS DE 26
HISTÓRICAS	24,94%	21,74%	27,23%	22,26%	32,35%
ROMÁNTICAS	2,08%	3,11%	1,34%	2,47%	0,98%
C. FICCIÓN	64,16%	57,14%	69,20%	67,49%	54,90%
POLICÍACAS	47,27%	45,96%	48,21%	46,64%	49,02%
ERÓTICAS	12,47%	16,77%	9,38%	14,49%	6,86%
OTRAS	19,74%	22,36%	17,86%	19,43%	20,59%

Tabla 2. Percepción obras leídas mayoritariamente por mujeres



el 69%), seguidas por las policíacas. Son las mujeres y los jóvenes los que muestran porcentajes más altos en este aspecto. En el lado opuesto encontramos las románticas (1-3%) y las eróticas como las menos leídas (7-17%).

La mayoría de los encuestados piensa que la calidad de las obras leídas tanto por hombres como por mujeres es buena. Sin embargo, conviene destacar que entre un 15% de mujeres y un 20% de hombres piensan que la calidad de las obras leídas por mujeres es mediocre, mientras que los porcentajes se reducen a la mitad y a un tercio de los anteriores en el caso de obras leídas por hombres.

b) Se muestran ahora los resultados de la segunda parte del cuestionario relacionada con los hábitos de lectura de los participantes.

Los resultados de las preguntas sobre lectura total, lectura de novela romántica y lectura de novela erótica son los siguientes: el 69% de los hombres y un 45% de las mujeres leen poco o nada. Son las mujeres las que leen mucho o bastante (55%), por lo que el resultado muestra diferencias muy significativas a favor de estas. Los datos de la segunda pregunta muestran que bastantes o muchas mujeres (52%) leen novela romántica, mientras que el 92% de los hombres las leen poco o nada, por lo que las diferencias son también estadísticamente muy significativas. En la tercera pregunta observamos unos datos muy interesantes, puestos que son similares para ambos sexos, ya que la mayoría (+80%) afirman leer poco o nada estas novelas.

Las mujeres leen más en papel, mientras que los hombres lo hacen en Internet. Además, las mujeres y los adultos son las que más leen obras literarias, mientras que los hombres y los jóvenes se decantan por la prensa deportiva.

La mayoría de los encuestados suelen leer novelas, siendo las mujeres y los adultos los que más han dado esta respuesta. Los hombres han sido los que más han respondido que leen otro tipo de literatura. Por otro lado, los jóvenes son los que más han respondido que leen literatura juvenil, poesía y teatro.

En la tabla 5 vemos que las mujeres prefieren las novelas románticas (60%) seguidas por las de ciencia ficción, históricas y policíacas. Solo el 13% afirma leer novela erótica. Los hombres en cambio, prefieren la ciencia ficción (52%), seguida por las policíacas e históricas. Curiosamente son más hombres (15,5%) que mujeres los que leen novela erótica, y muy pocos los que leen novela romántica. Por edad, los adultos prefieren la novela histórica, mientras que los jóvenes se decantan por la ciencia ficción.

En la tabla 6 vemos que los hombres leen más sobre temas relacionados con su profesión, mientras que las mujeres refieren otros temas.

La mayoría de los encuestados (35%) declara tener entre más de 100 libros en su hogar, seguido de los que tienen entre 50 y 100, con escasa diferencia entre



	SEXO	¿CUÁNTO LEES HABITUALMENTE?	¿HA LEÍDO ALGUNA VEZ NOVELA ROMÁNTICA?	¿HA LEÍDO ALGUNA VEZ NOVELA ERÓTICA?
NADA	H	11,18%	39,75%	56,63%
	M	4,46%	9,82%	50%
POCO	H	57,76%	52,17%	31,06%
	M	40,63%	38,39%	33,48%
BASTANTE	H	23,60%	7,45%	4,35%
	M	39,29%	38,39%	11,16%
MUCHO	H	7,45%	0,62%	4,97%
	M	15,63%	13,39%	5,36%
CHI-CUADRADO		0,000	0,000	0,071

Tabla 4. Hábitos de lectura personal

	GLOBAL	SEXO		EDAD	
		HOMBRE	MUJER	12-25	MÁS DE 26
HISTÓRICAS	24,42%	24,84%	24,11%	18,37%	41,18%
ROMÁNTICAS	38,18%	8,07%	59,82%	37,81%	39,22%
C. FICCIÓN	37,40%	52,17%	26,79%	43,46%	20,59%
POLICÍACAS	30,13%	39,13%	23,66%	31,45%	26,47%
ERÓTICAS	14,29%	15,53%	13,39%	15,90%	9,80%
OTRAS	22,34%	26,71%	19,20%	20,85%	26,47%

Tabla 5. Tipos de novelas

SEXO	TEMAS RELACIONADOS CON LA PROFESIÓN		TEMAS NO RELACIONADOS		CHICUADRADO
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER	
¿QUÉ LEE CON MAYOR FRECUENCIA?	38,51%	30,80%	61,49%	69,20%	0,072

Tabla 6. Temas de lectura.



sexos. Destaca el hecho de que el 12% de los hombres y el 6% de las mujeres tengan menos de 10 libros en casa.

## 6. CONCLUSIONES

En función de los objetivos propuestos y de sus correspondientes resultados, se exponen los principales hallazgos de esta investigación.

El primer objetivo es averiguar la opinión de escritores, en general, y de autoras de novela erótico-romántica, en particular, acerca de la existencia de una literatura leída mayoritariamente por mujeres en la actualidad. Pues bien, de las respuestas podemos extraer que la mayoría piensa que, a pesar de no existir una literatura dirigida a mujeres, sí que existe una literatura que es escrita y leída mayoritariamente por mujeres, refiriéndose a la novela romántica y erótica. Opinan del mismo modo en el caso de los hombres, aunque con otros géneros. En lo referente a la calidad de esta literatura, piensan que siempre existen buenas y malas obras, independientemente del género literario, y que la aparente sencillez de las novelas románticas y eróticas ayuda a iniciar y mantener en la lectura a un público muy fiel, que de otra forma no leería.

El segundo objetivo es conocer la percepción personal de los miembros de una comunidad educativa sobre la literatura erótico-romántica, estableciendo diferencias en función de su edad y sexo. La percepción general es que las mujeres leen más que los hombres, además de leer más novela romántica y erótica, aunque existen diferencias significativas en función del sexo, porque los hombres lo creen en un porcentaje menor. Las mujeres leerían con mucha diferencia más novelas románticas y en menor medida eróticas, mientras que los hombres se decantarían por las de ciencia ficción y policíacas. Sorprende que ambos sexos piensen que la calidad de las obras leídas por hombres es superior a las leídas por mujeres.

El tercer objetivo es indagar en los hábitos de lectura de los miembros de una comunidad educativa en función de su edad y sexo. Resulta muy preocupante conocer que el 69% de los hombres y el 45% de las mujeres reconozca que leen poco o nada, aunque existen diferencias muy significativas, puesto que un 55% de las mujeres declara que lee mucho o bastante, frente a un 31% de los hombres. La novela romántica ha sido leída por bastantes mujeres y por pocos hombres, mientras que sorprende el caso de la novela erótica en la que apenas se observan diferencias por sexo, y la mayoría declara haberlas leído poco o nada. Las mujeres prefieren leer obras literarias impresas, mientras que los hombres prefieren leer prensa deportiva en Internet. Al comparar nuestros resultados con los de encuestas similares publicadas por la FGEE (2018) y por el MECD (2015) observamos que en general existen muchas coincidencias en lo referente a los hábitos de lectura, preferencias literarias, soporte de lectura y hábitos de compra.



Al relacionar los resultados obtenidos en nuestra investigación a partir de distintas fuentes, observamos que en muchos casos existen coincidencias, al tiempo que en otros aparecen contradicciones en las opiniones de los escritores, la percepción de los encuestados y sus hábitos de lectura.

Resulta sorprendente la percepción de algunos escritores y de la mayoría de encuestados acerca de la inferior calidad de la literatura leída por mujeres, porque aunque la novela romántica sea la más leída por ellas, en otros géneros los datos son similares en ambos sexos (novela histórica y novela erótica). Además conviene resaltar que las mujeres leen más, y que declaran leer más obras literarias, de divulgación y de información general que los hombres, y que estos reconocen que leen principalmente prensa deportiva en Internet.

Del mismo modo, y contra todo pronóstico en las opiniones y percepciones, encontramos porcentajes similares (15%) en las preferencias a la hora de elegir novelas eróticas en hombres y en mujeres, aunque por edad encontramos diferencias a favor de los jóvenes. Con estos datos no podemos incluir este tipo de literatura entre las leídas mayoritariamente por mujeres.

Para finalizar, podemos concluir que nuestra hipótesis se verifica, ya que existe una literatura leída mayoritariamente por mujeres, que es la novela romántica.

#### 6.1. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

La limitación de nuestra investigación cuantitativa viene dada por la intencionada selección de la muestra, no probabilística o dirigida, debido al especial interés por conocer las percepciones y los hábitos de lectura de los miembros de la comunidad educativa del I.E.S. Profesor Ángel Ysern de Navalcarnero. En el futuro sería muy interesante continuar con la investigación ampliándola a otras zonas geográficas para contrastar nuestros resultados de cara a su posible generalización.



## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Faedo, M. J. (2004). *Josefa Jovellanos y la educación de la mujer en el siglo XVIII*. Boletín Jovellanista N° 5, 15-34.
- Biblioteca Nacional de España. (2010). *Novela de ciencia ficción: guía de recursos bibliográficos*. Obtenido de:  
<http://www.bne.es/es/Micrositios/Guias/NovelaCienciaFiccion/>
- Corleto, R. W. (2006). *La mujer en la Edad Media*. Revista teológica N° 91, 655-670. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2189751>
- Estébanez Calderón, D. (2002). *Diccionario de términos literarios*. Madrid: Alianza.
- Federación de Gremios de Editores de España. (2018). *Hábitos de lectura y compra de libros en España 2017*. Disponible en: <http://federacioneditores.org/img/documentos/HabitosLecturaCompralLibros2017.pdf>
- Federación de Gremios de Editores de España. (2017). *Comercio interior del libro en España 2016*. Disponible en:  
[http://federacioneditores.org/img/documentos/Comercio\\_Interior\\_16.pdf](http://federacioneditores.org/img/documentos/Comercio_Interior_16.pdf)
- Gill, R. & Herdieckerhoff, E. (2006). *Rewriting the romance: New femininities in Chick-lit?* Feminist Media Studies vol. 6, 487-504. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1080/14680770600989947>
- Hernández-Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D-F: Mc Graw Hill Education.
- Herrero Ingelmo, M. (1987). *La novela griega antigua*. Madrid: Akal.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015). *Encuesta de hábitos y prácticas culturales 2014-2015*. Disponible en: [www.mecd.gob.es/dam/jcr:ad12b73a-57c7-406c-9147-117f39a594a3/encuesta-de-habitos-ypracticas-culturales-2014-2015.pdf](http://www.mecd.gob.es/dam/jcr:ad12b73a-57c7-406c-9147-117f39a594a3/encuesta-de-habitos-ypracticas-culturales-2014-2015.pdf)
- Narganes Robas, J. C., & Narganes Parral, A. (2011). *La educación de la mujer en el siglo XIX*. Clave N° 5, 1-15. Disponible en:  
<http://clave21.ieszaframagon.com/educación-mujer-siglo-xix>
- Redondo Goicoechea, A. (2009). *Mujeres y narrativa. Otra historia de la literatura*. Madrid: Siglo XXI.







# Palos de telégrafo de Lleida a Almería. Vida y obra de Celia Viñas

---

/ ACCESIT

**AUTORA** | CARLA VADILLO FABRA

**COORDINADORA** | ESTHER RIBA PUÉRTOLAS

**CENTRO** | INSTITUTO MARIUS TORRES

**CIUDAD** | LLEIDA

## RESUMEN |

La investigación ha consistido en dar luz de nuevo, en redescubrir, a la poeta Celia Viñas, nacida en Lleida pero afincada en Almería. Totalmente desconocida en su ciudad de origen, el objetivo era la recopilación, lectura, estudio y visibilidad, no solo de su obra, sino también de todo lo escrito sobre ella. Una manera de llegar a su obra desde las reseñas, opiniones y críticas de aquellos que sí tenían un nombre en el mundo literario.

## ABSTRACT |

The investigation has consisted in giving birth again, in rediscovering, to the poet Celia Viñas, born in Lleida but settled in Almeria. Celia Viñas is totally unknown in her city of origin and the objective is the collection, reading, study and visibility, not only of his work, but also of everything written about her. It's a way to know her work from the reviews, opinions and criticism of those artists whodid have a name in the literary world.



## 1. INTRODUCCIÓN

Parece que las primeras mujeres revolucionarias conocidas en lo que al arte confiere, fueron las Sinsombrero. Pero de ellas ya habló Tania Balló en su documental y su libro *Las SinSombrero* (2016). “Sin ellas la historia no estaría completa” escribió en dichas páginas y continuó haciéndolo en la segunda parte “Ocultas e impecables” (2018).

Escogí a Celia Viñas, en primer lugar, porque nació en Lleida, mi ciudad. Ciudad donde nadie conoce su nombre, su obra ni siquiera se encuentra en la Biblioteca Pública y mucho menos en las librerías. En segundo lugar, porque cada vez que busco su nombre se abre un universo.

*Oblit és nom de dona* (Sàez, 2015) me abrió la puerta a Celia, yo no la conocía, no sabía nada de ella hasta toparme con ese artículo. Anna Sàez me hizo tener curiosidad, querer saber más de esa mujer que parecía tan espectacular.

Una vez haya finalizado el trabajo, quiero responder una serie de preguntas y espero haber cumplido una serie de objetivos. ¿Quién fue Celia Viñas? ¿Quiénes fueron sus amigos? ¿Fue realmente querida como yo imagino? ¿A qué se dedicó realmente? ¿Qué herencia ha dejado para aquellos que queramos apreciarla?

La metodología que voy a usar para llevar a cabo este trabajo es la siguiente: lectura de la obra de Celia Viñas, búsqueda de los homenajes que le han dedicado, lectura de artículos tanto suyos como de otros que hayan escrito sobre ella, el contacto con personajes que están relacionados con ella como Francisco Galera Noguera, Pedro Asensio, Núria Capdevila Argüelles, María Galera e Isabel Giménez Caro, leer su vida y su obra de las manos de Francisco Galera (*Vida y obra de Celia Viñas*, 1991), su correspondencia *Cartas de Celia Viñas*, 2015 y la novela de Pedro Asensio, *Los años de la señorita Celia* (2014) basada en sus cartas.

## 2. ANTECEDENTES

### SOBRE SU OBRA

Según Galera Noguera, Celia Viñas fue la única poeta de la época capaz de apreciar la belleza del paisaje de Almería como hicieron los pintores indalianos<sup>1</sup> en sus cuadros. Manuel Faura publicó mucho antes, en 1946, esa misma idea. En 1948 fue el mismísimo Gerardo Diego quien, después de conocer el

<sup>1</sup> Movimiento indaliano es un movimiento artístico y cultural surgido en la ciudad española de Almería entre los años 1943-63, tras el primer congreso celebrado en el Café Granja Balear. Fundado por el pintor y escultor almeriense Jesús de Perceval (1915–1985). Éste constituyó en su momento un revulsivo para la apática sociedad almeriense de la posguerra, siendo determinante para la historia, la vida y la cultura contemporánea de la ciudad.



primer poemario, en la Asamblea Cervantina de 1947<sup>2</sup>, expuso: «*Es un libro, como su título promete, cálido y generoso. Gusta Celia de una poesía y supongo que también de una novela, porque sé que cultiva la prosa narrativa, aunque no conozco yo nada suyo en éste género, derramada, directa, espontánea. Los sonetos, por ejemplo, son abiertos, circula por ellos el aire y rezuman jugos que asoman por las grietas... Poesía temblorosa, impresionada más que impresionista, fluctuante y corre ve-y-vuela*»<sup>3</sup>. (Romero Yebra, 2004)

En su segunda publicación, Celia abarca diversos temas como puede ser el paisaje de Almería, emociones, el entorno escolar... pero siempre el niño ante todo.

Con motivo del cincuenta aniversario de la muerte de Celia, A. M. Romero Yebra (2004), escribió un artículo sobre *Canción tonta en el sur*. Según ella, este segundo poemario publicado por Celia, abrió nuevos caminos para los poetas que siguieron a Celia en la noble tarea de acercar la poesía a los niños.

En cuanto a la creación por parte de mujeres de esa poesía infantil, podemos identificar un referente, como fue Gil Roësset<sup>4</sup>. Capdevila-Argüelles sugiere paralelismos en sus poemas infantiles de las *Canciones para niños*<sup>5</sup> de Gil con la *Canción tonta en el sur* de Viñas. Gil Roësset escribió un libro de poemas en forma de canciones con sus notas musicales y sus pentagramas incluidos, además de las ilustraciones de su hermana Marga. De la misma manera en el libro citado de Celia aparecen en numerosas ocasiones los poemas-nana que bien podrían ser cantados como las canciones de la madrileña, por ejemplo “Nanitas, ea” o “Santo santito”.

Hasta 1952 no llegó Gloria Fuertes con *Canciones para niños*. Destaca entonces, Romero Yebra a Celia como un hito en la poesía infantil española.

Del cuarto poemario de Celia Viñas, *Como el ciervo corre herido* (Viñas Olivella, 1955), escribe Trina Sánchez Mercader estudiando el nuevo camino que toma la autora.

María de Ifach la comparó con Elena Fortún en *El primer botón del mundo y*

---

2 Sesiones que se han ido realizando al largo de la historia a partir de 1947, donde diversos autores se juntaban y seguían un programa anteriormente realizado.

3 Gerardo Diego, “Celia en Almería” (Charla en Radio Nacional para América). *Yugo*, Almería, 21 de marzo de 1948.

4 Consuelo Gil Roësset (Las Rozas 1905-1995). Destacó sobre todo por su tarea editorial en la posguerra con revistas como *Chicos* (1938-1955). Aunque también son importantes sus cuentos y poemas infantiles siempre ilustrados por su hermana menor, Marga Gil Roësset.

5 *Canciones de niños*, Editorial Signo 1933. Libro de poemas infantiles en forma de canción con partitura incluida e ilustraciones realizadas por su propia hermana. Actualmente es un libro muy buscado y totalmente descatalogado.



*13 cuentos más*. Ambas fueron escritoras de literatura y poesía infantil y juvenil. Ifach comenta alguno de los cuentos incluidos en esa serie como “El rey” o “La princesa que no se casó con un príncipe.

Anunció Masoliver en *La Vanguardia* (1988), que Celia fue incluida en una antología de mujeres elaborada por Ana María Fagundo.

En 2006, cincuenta y dos años después de la muerte de Celia, treinta y cuatro autores se inspiraron en ella para publicar un recopilatorio de 203 páginas, *Celia Viñas y Almería*. Tal y como nos explica un artículo en *El Ideal* <sup>6</sup>, (Celia Viñas inspira creaciones literarias a treinta y cuatro autores, 2007).

Mar Verdejo (2017) escribió un artículo mostrando su afecto hacia “El árbol”. Un poema en el que Celia, y cito textualmente <sup>7</sup> “tejió verso a verso los lazos ancestrales que existen entre los árboles y las mujeres; anhelando convertirse en savia porque sabe que el árbol, en esta tierra exhausta, representa la grandeza de la Naturaleza y el porvenir de sus habitantes.”

Importante citar también la obra y recopilación del trabajo de Viñas por parte de Francisco Galera Noguera.

#### DESDE LA DOCENCIA

Celia Viñas dedicó la mayor parte de su vida a la docencia, los niños, la gran mayoría de su obra dedicada a éstos, y todo a lo que la escuela confiere. Existe un libro (Galera Fuentes, 2012) que pertenece a un proyecto de investigación de estudio y textos, algunos fueron alumnos de Celia y se refieren a ella en este proyecto.

Intercambiando impresiones con Núria Capdevila-Argüelles sobre Celia Viñas, me hizo ver cómo habían existido otras docentes inquietas, escritoras, manos a las que no soltar y de las que sus alumnos no podrían olvidar. Un caso en similitud con Viñas sería el de Sara Suárez Solís. <sup>8</sup>

### 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Tras el estudio de los antecedentes, de la mano de las investigaciones de Ballò o Capdevila-Argüelles dando luz a tantas mujeres invisibilizadas y con vidas tan intensas y fructíferas literariamente hablando, aparecen una serie de suposiciones que me instigan a recabar datos de estudio. La idea es adentrarme

6 Pág.49 del periódico *Ideal* el 11/01/2017. Artículo añadido en los Anexos.

7 Artículo añadido en los Anexos.

8 Sara Suárez Solís, (Oviedo 1925 – 2000), docente, novelista, articulista y luchadora feminista. Licenciada en Filología Románica, ejercicio como profesora en distintos institutos de España. Extensa obra literaria entre la que destacan obras como *El léxico de Camilo José Cela* o *Retablo de paseantes*.



en la investigación y poder argumentar si Celia Viñas fue una de esas mujeres, desconocida por el público en general y con una larga carrera literarias detrás.

#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de trabajo ha consistido en la lectura de la totalidad de la bibliografía, la búsqueda de todo aquello que se ha dicho de ella (artículos, reseñas, críticas) acudiendo a los préstamos interbibliotecarios de las bibliotecas de Almería y Mallorca. Han sido realmente importantes también los contactos con profesores de la Universidad de Almería, como Isabel Giménez Caro, personalidades importantes en el ámbito de la investigación de nuestro país, como Núria Capdevila-Argüelles, o estudiosos de la obra de Viñas como Francisco Galera o Pedro Asensio.

#### 5. RESULTADOS

Su primer libro fue *Trigo del corazón* (Viñas, 1946). Agrupa poemas de la época en la que estudiaba Filosofía y Letras. Se publicó en los Talleres Tipográficos La Independencia, de Almería. Consta de 79 poemas de los temas más diversos, ya que podemos encontrar de folclore popular, influencias lorquianas, cantos al paisaje de Almería, al mar...

El segundo de ellos, *Canción tonta en el sur* (Viñas Olivella, 1948) publicado también en Almería. Este poemario es el que mayor difusión y repercusión ha tenido. Bastantes de los poemas de esta obra han pasado a antologías líricas infantiles. Dividió el libro en 5 partes según la temática: “Nanita, ea” con 6 nanas, “Fantasía y juego”, “La Escuela” con poemas relacionados con el mundo del colegio, “El mundo del como” y “Santo santito” con poemas de temática religiosa o que cantan a la Navidad.

Entre el segundo y el tercer poemario, Celia publicó su único libro en prosa titulado *Estampas de la vida de Cervantes*.

El tercer poemario que publicó en Almería fue *Palabras sin voz* (Viñas Olivella, 1953). Habla de las dos tierras de sus amores: la isla y Almería. Contiene ilustraciones del gran amigo de Celia, Perceval. Lo subtítulo como *Selección de diez años de poesía femenina*, reivindicando esa escritura femenina que ella crea. Los diez años a los que se refiere son los que van 1940 y 1950, su etapa de más productividad.

Su cuarta obra fue *Del foc i la cendra* (Viñas Olivella, 1953). El título de este poemario tiene una justificación, el poemario incluía tanto poemas viejos como nuevos, por eso la ceniza. Éste va dedicado a las sombras luminosas de maestros y amigos, ya que una de las obras más importantes de Alomar se titulaba *La columna de foc* y Rosselló-Pòrcel tituló a uno de sus poemarios como *Imitació del foc*. La traducción de ese libro al castellano corrió a cargo de su amiga Aurora Díaz-Plaja.



Arturo Medina publicó un año después de la pérdida de Celia Viñas *Como el ciervo corre herido* (Viñas Olivella, 1955), una serie de poemas que Celia tenía ya reunidos para una publicación, a los que sumó otros poemas que encontró. Este fue impreso en los Talleres Tipográficos de Emilio Orihuela de Almería. Los poemas son básicamente de tema religioso y místico que Celia preparaba desde 1946.

Posteriormente se publicó una antología parcial de su obra subdividida en cinco temas en la colección Ágora de Madrid, con el título *Canto* (Viñas Olivella, 1964) y después, en la colección Adonais de Editorial Rialp, se publicó su *Antología lírica* (Viñas, 1976). Su comedia *Plaza de la Virgen del Mar* había salido en 1974 y *El primer botón del mundo y 13 cuentos más* (Viñas Olivella, 1976), que Celia había escrito para niños en el verano de 1951 durante sus vacaciones en Palma de Mallorca, fue publicado en la Editorial Everest el 1976. En la década de los 90, el Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación Provincial de Almería, editó su novela *Viento Levante*, junto con fragmentos de capítulos de otra novela *Tierra del sur*, en 1991. Después, en 1995 se publica *De esto y aquello* (Medina & Viñas, 1995), una recopilación de artículos de Celia por su marido de diversas temáticas.

En 1979 sale a la luz *Poesía última* (Viñas Olivella, 1979), con toda la poesía de Celia Viñas que no se conocía por no haber sido publicada. La edición fue hecha con el patrocinio de la Caja de Ahorros de Almería. *Poesía última* es una amorosa y cuidada recopilación que Arturo Medina realizó pacientemente a lo largo de 20 años.

María Payeras la introdujo en el libro *El linaje de Eva: escrituras españolas de postguerra: Ángela Figuera, Gloria Fuertes y Gloria Viñas* (Payeras Grau, 2003), ensayo de escritoras de posguerra.

Francisco Galera Noguera, ha publicado dos libros sobre la autora. El primero, en 2015, *Cartas de Celia Viñas a su familia* (Galera Noguera, 2015), donde hay un recopilatorio de la correspondencia entre Celia Viñas y su familia entre los años 1943 y 1949.

Pedro Asensio Romero optó por otro tipo de literatura para recordar a Celia y se atrevió con una novela *Los años de la Señorita Celia* (Asensio Romero, 2014).

## 6.CONCLUSIONES

Como Celia Viñas, muchísimas mujeres han sido olvidadas y no debemos pasar por alto las personas que no han permitido que eso suceda. Como Nuria



Capdevila Argüelles no deja morir a Elena Fortún<sup>9</sup> o a las mujeres Roësset<sup>10</sup> con su constante estudio, recuperación y recuerdo. O Tània Balló con las Sin-sombrero o Elena Medel con sus “Cien de cien”<sup>11</sup>. O cómo Francisco Galera se ha volcado tan plenamente en Celia Viñas y la ha revivido prácticamente. Igual que los ejemplos citados he intentado recuperar la figura de la poeta mediante su biografía y su obra completa. Con dicho estudio he verificado que fue otra de tantas mujeres creadoras, que revolucionó la vida cultural almeriense, y que quedó en el olvido.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Sin duda alguna mi trabajo no hubiera sido lo que es sin toda la ayuda que me han ofrecido. Para empezar, a mi familia, por ayudarme, tener paciencia y entenderme durante la realización del trabajo.

En lo que al trabajo confiere, a Francisco Galera Noguera, por abrirme puertas de investigación. A Núria Capdevila Argüelles, por darme un hilo del que tirar y darle voz a muchísimas mujeres olvidadas. A Pedro Asensio, por permitirme entrar de una manera más real en el mundo de Celia. A Cèlia Riba, por ayudar a mantener vigente el recuerdo de su tía. A Isabel Giménez Caro, por darme toda su confianza y abrirme la puerta a Asensio y Galera.

A Anna Sàez, por su artículo Oblit és nom de dona, porque probablemente, sin ese texto, nunca hubiese llegado a Celia Viñas.

A Celia Viñas. Por revolucionar Almería y ser una de esas profesoras que deseas tener. Por su extensísima obra y por hacer felices a tantos niños y niñas que llevan en un rincón de sus corazones a su profesora de literatura y casi, profesora de la vida.

Y finalmente, a mi tutora, Esther Riba. Por creer en mí, por creer en Celia y por creer en el trabajo desde el primer momento. Por su paciencia, por enseñarme algo que ningún profesor antes hizo y por enseñarme día a día de la vida. Y por todas las lecciones que me ha regalado y nunca olvidaré.

---

9 Fortún, Elena. *Oculto sendero* (Edición de Núria Capdevila-Argüelles) Renacimiento, 2016.

10 Capdevila-Argüelles, Núria. *Artistas y precursoras: un siglo de autoras Roësset*. Horas y horas La Editorial (2013)

11 Cien de cien: recopilación y estudio de poetisas silenciadas por parte de Elena Medel que verá la luz en formato libro en breve.



## 8. BIBLIOGRAFIA

Almería, L. v. (05 de 06 de 2015). Exposición sobre Celia Viñas. Recuperado el 04 de 01 de 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=p1k1GUG5cKY>

Asensio Romero, P. (2014). *Los años de la señorita Celia*. Madrid: Editorial Verbum.

Balló, T. (2016). *Las Sinsombrero. Sin ellas, la historia no está completa*. Barcelona: Espasa.

Celia Viñas inspira creaciones literarias a treinta y cuatro autores. (11 de 01 de 2007). *El Ideal*, pág. 49.

Diputación de Almería. (16 de 06 de 2015). *Entrevista a Celia Riba Viñas sobrina Celia Viñas*. Recuperado el 03 de 01 de 2018, de Youtube: [https://www.youtube.com/watch?v=VdHfKN3K\\_cY](https://www.youtube.com/watch?v=VdHfKN3K_cY)

Diputación e IEA presentan 'Cartas de Celia Viñas a su familia' con Poesía cantada por Sensi Falán. (16 de 05 de 2015). Recuperado el 04 de 01 de 2018, de Diputación de Almería: <http://blog.dipalme.org/diputacion-e-iea-presentan-cartas-de-celia-vinas-a-su-familia-con-poesia-cantada-por-sensi-falan/>

Durán Díaz, M. D. (2013). *Un Indaliano entre pinturas y esculturas*. Almería: Instituto de Estudios Almerienses. Obtenido de [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ALDUIEPEY/\\$File/ItinerarioLopez-Diazweb.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ALDUIEPEY/$File/ItinerarioLopez-Diazweb.pdf)

Galera Fuentes, M. I. (2012). *Poesía del paisaje almeriense*. Almería: Instituto de Estudios Almerienses.

Galera Noguera, F. (1991). *Vida y obra de Celia Viñas*. Almería: Instituto de Estudios Almerienses.

Galera Noguera, F. (2015). *Cartas de Celia Viñas a su familia*. Almería: Instituto de estudios almerienses.

Galera Noguera, F. (s.f.). *Celia Viñas Olivella*. Obtenido de EDBA: <http://www.dipalme.org/Servicios/IEA/edba.nsf/xlecturabiografias.xsp?ref=537>

Galera, F. (07 de 06 de 2015). *Cartas de Celia Viñas*. Recuperado el 22 de 07 de 2017, de Diario de Almería: [http://www.diariodealmeria.es/opinion/articulos/CARTAS-CELIA-VINAS\\_0\\_923607920.html](http://www.diariodealmeria.es/opinion/articulos/CARTAS-CELIA-VINAS_0_923607920.html)





García Martín, J. (02 de 04 de 2015). *Homenaje al «otro joven pintor almeriense» que dio a conocer Celia Viñas*. Recuperado el 21 de 10 de 2017, de Ideal: <http://www.ideal.es/almeria/culturas/201504/02/homenaje-otro-joven-pintor-20150402174739.html>

Garres, E. N. (16 de 03 de 2015). *Adhesión al nuevo homenaje de Celia Viñas*. Recuperado el 21 de 10 de 2017, de Ideal: <http://levante.ideal.es/levante/noticias/201503/16/adhesion-al-nuevo-homenaje-de-celia-vinas.html>

Historias de Luz. (08 de 03 de 2016). HDL *Dionisio Godoy, una visión del mundo trazada con acuarelas*. Recuperado el 21 de 10 de 2017, de Youtube: [https://www.youtube.com/watch?v=9pgCMq2iN\\_w](https://www.youtube.com/watch?v=9pgCMq2iN_w)

Ifach, M. d. (1980-1990). *Los cuentos de Celia Viñas: El primer botón del mundo y trece cuentos más*. La Estafeta Literaria, 293.

Letra, I. (26 de 01 de 2016). *Celia Viñas: Las islas del amor mío*. Obtenido de Veloz quietud: <http://velozquietuddelcentro.blogspot.com.es/2016/01/celia-vinas-las-islas-del-amor-mio-en.html>

M.Rodríguez. (26 de 11 de 2015). *La voz de Almería*. Obtenido de Los poemas de Celia Viñas cierran el año de su centenario: <http://4.bp.blogspot.com/-Kj9bSj2dq9o/VlcqwiZXNzI/AAAAAAAAAJio/tiR9e3yki58/s1600/CELIA%2BVI%25C3%2591AS%2B2015%2B11.26%-2BBLA%2BVOZ%2BDE%2BALMER%25C3%258DA.JPG>

Martínez, D. (16 de 04 de 2015). *Dionisio Godoy: “Pienso que mi pintura no es para explicarla, sino para sentirla”*. Recuperado el 21 de 10 de 2017, de Diario de Almería: [http://www.diariodealmeria.es/ocio/Dionisio-Godoy-Pienso-explicarla-sentirla\\_0\\_905009962.html](http://www.diariodealmeria.es/ocio/Dionisio-Godoy-Pienso-explicarla-sentirla_0_905009962.html)

Masoliver. (28 de 10 de 1988). *Al margen*. La Vanguardia, pág. 47.

Medel, E. (08 de 09 de 2017). *Voy a ser olvidada*. El País.

Medina, A., & Viñas, C. (1995). *De esto y aquello*. Almería: Instituto de Estudios Almerienses.

Munar i Munar, F. (2006). *Cèlia Viñas. Entre el record i l'esperança*. Mallorca: Documenta Balear.

Murcia, F. (17 de 01 de 2009). *Dionisio Godoy, un pintor influido por el inagotable estímulo de Celia Viñas*. Recuperado el 21 de 10 de 2017, de [http://www.diariodealmeria.es/ocio/Dionisio-Godoy-inagotable-Celia-Vinas\\_0\\_224078249.html](http://www.diariodealmeria.es/ocio/Dionisio-Godoy-inagotable-Celia-Vinas_0_224078249.html)

Murciano, C. (31 de 12 de 1964). La clara voz de Celia. *La Vanguardia*, pág. 60.



Nogu BIBLIOGRAFIA era, F. G. (1998). *La figura de Celia Viñas y su repercusión pedagógica y cultural*. Revista de humanidades y ciencias sociales del IEA, pág. 135-158.

Noguera, F. G. (05 de 2015). La figura de Celia Viñas y aquella Almería.

Payeras Grau, M. (2003). *El linaje de Eva: escrituras españolas de postguerra: Ángela Figuera, Gloria Fuertes y Gloria Viñas*. Almería: Sial Ediciones.

Payeras, M. (2002). *El linaje de Eva. Tres escritoras españolas de postguerra: Ángela Figuera, Celia Viñas y Gloria Fuertes*. Madrid: Sial Ediciones.

Perceval. (s.f.). Recuperado el 30 de 12 de 2017, de Ciudad Perceval:  
<https://www.turismodealmeria.org/personaje/jesus-perez-de-perceval-del-moral/>

Pino, E. (16 de 02 de 2016). *El busto a Celia Viñas tardó 30 años en llegar*. Recuperado el 04 de 01 de 2018, de La voz de Almería:  
<http://www.lavozdealmeria.es/tal-como-eramos/2016/02/16/el-busto-a-celia-vinas-tardo-30-anos-en-llegar/>

Rodríguez, M. (05 de 06 de 2015). *Unidos por Celia Viñas. Muestra inédita sobre la maestra y poeta*. Recuperado el 04 de 01 de 2018, de La voz de Almería:  
<http://www.lavozdealmeria.es/Noticias/84138/5/Unidos-por-Celia-Vi%C3%B1as.%C2%A0Muestra-in-%C3%A9dita-sobre-la-maestra-y-poeta>

Romero Yebra, A. M. (2004). Celia Viñas Olivella y su Canción Tonta en el Sur. *Estudio*, 20-26.

Romero Yebra, A. M. (2006). *Celia Viñas para niños y jóvenes*. Madrid: Ediciones de la Torre.

Sàez, A. (19 de 02 de 2015). *Oblit és nom de dona*. Segre, pág. 1.

*Una tarde con Celia*. (01 de 06 de 2015). Recuperado el 09 de 10 de 2017, de DiariodeAlmería: [http://www.diariodealmeria.es/opinion/articulos/tarde-Celia\\_0\\_921808410.html](http://www.diariodealmeria.es/opinion/articulos/tarde-Celia_0_921808410.html)

Verdejo Coto, M. (03 de 02 de 2014). *NECESITAMOS MÁS HUMANISTAS: JOSÉ FERNÁNDEZ REVUELTA*. Recuperado el 21 de 10 de 2017, de Partido EQUO:  
<http://almeria.partidoequo.es/necesitamos-mas-humanistas-jose-fernandez-revuelta-por-mar-verdejo-coto/>

Verdejo, M. (25 de 03 de 2017). *La voz de Almería*. Obtenido de Celia Viñas y el árbol de la vida:  
<http://www.lavozdealmeria.es/Noticias/125870/9/Celia-Vi%C3%B1as-y-el-%C3%A1rbol-de-la-vida>

Viñas, C. (1946). *Trigo del corazón*. Almería: Imp. Independencia.

Viñas Olivella, C. (1948). *Canción tonta en el sur*. Almería: Ed. Gredos.



- Viñas Olivella, C. (1953). *Del foc i la cendra*. Palma de Mallorca.
- Viñas Olivella, C. (1953). *Palabras sin voz*. Alicante: Ed. Ifach.
- Viñas Olivella, C. (1955). *Como el ciervo corre herido*. Almería.
- Viñas Olivella, C. (1964). *Canto*. Madrid: Col. Ágora.
- Viñas Olivella, C. (1976). *El primer botón del mundo y 13 cuentos más*. Everest Lecturas.
- Viñas Olivella, C. (1979). *Poesía última*. Almería.
- Viñas, C. (1976). *Antología Lírica*. Madrid: Rialp.
- Viñas, C. (2009). *Celia Viñas para niños y niñas... y otros seres curiosos*. Madrid: Ediciones la Torre.
- Viñas, C. (26 de 11 de 2015). *Las islas del amor mío*. Recuperado el 26 de 06 de 2017, de Veloz quietud: <http://velozquietuddelcentro.blogspot.com.es/2015/11/celia-vinas-las-islas-del-amor-mio.html>





# Medea en la literatura: variaciones sobre un mito. Desde la Antigüedad hasta el siglo XXI: Eurípides, Séneca, Anouilh y López Mondéjar

---

/ ACCESIT

**AUTORA** | ELISABETH CUEVA REDONDO

**COORDINADOR** | SANTIAGO QUINTANILLA LÓPEZ

**CENTRO** | IES FRANCISCO DE GOYA

**CIUDAD** | MOLINA DE SEGURA-MURCIA

## RESUMEN |

El personaje de Medea ha tenido un enorme recorrido en la literatura (y en otras artes) desde que Eurípides modificó el mito original para convertirla en una vengativa parricida. Es de gran interés analizar no sólo cómo Eurípides en el siglo V a. C. modifica ese mito, sino también comparar el tratamiento que él le concede, cómo los autores posteriores enfrentan ese personaje y, sobre todo, observar cómo se modifican los caracteres y las tramas, y adquiere características distintas con el paso del tiempo. Hemos centrado nuestra atención, partiendo de Eurípides, en Séneca en el s. I d.C., Jean Anouilh en el siglo XX o Lola López Mondéjar en la novelística del siglo XXI; en este último caso como prueba de la vigencia y la actualidad del mito. Partiendo de los conceptos esenciales que permitan comprender qué es la tragedia griega como rito de catarsis, hemos analizado el tratamiento que Eurípides concede a la mujer, en general, y a Medea en particular. Hemos buscado verificar la hipótesis sobre la vigencia en el tiempo del mito y del personaje, analizando, además, su figura en la literatura mediante la comparación del trato que le conceden autores de épocas distintas, desde la Antigüedad hasta el s. XXI, contrastando similitudes y diferencias.

## ABSTRACT |

The character of Medea has had a huge tour in the literature (and other arts) since Euripides modified the original myth into a vengeful parricida. It is of great interest not only to analyse how Euripides in the 5th century BC modifies this myth, but also to compare the treatment which it granted, how the subsequent authors face that character and, above all, to observe how the characters and the storylines are modified, and takes on different characteristics with the passage of time. We have focused our attention, based on Euripides, Seneca in century I A.c., Jean Anouilh in 20th century or Lola López Mondéjar in novels of the twenty-first century; in the latter case as proof of the validity and the relevance of the myth. Based on the core concepts that allow you to understand what is the Greek tragedy as a rite of catharsis, we have analyzed treatment of Euripides gives women, in general, and Medea in particular. We have sought to verify the hypothesis on the validity in time of the myth and character, analyzing, in addition, his figure in the literature by comparing the treatment granted authors of different periods, from antiquity to the s. XXI, contrasting similarities and differences.



## 1.- INTRODUCCIÓN

### 1.1. LA TRAGEDIA GRIEGA

#### 1.1.1. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS

La palabra griega drama significa “acción”. La esencia del drama es conflicto, polémica, en el sentido más amplio de este término, el drama encuentra en la democracia un terreno particularmente abonado, pues precisamente la polémica y la competencia de fuerzas libres son factores constitutivos en la democracia viva.

Referente a la estructura, una tragedia consta habitualmente de un prólogo (en el que se cuenta a grandes rasgos el tema de la pieza), a la que sigue un párodos o canto del coro. Llamamos episodios a los pasajes recitados entre los distintos estásimos o cantos del coro para cerrarse con la salida del coro que abandona (éxodo) cantando la escena. Todos los actores eran hombres. También, había extras (llamados “máscaras silenciosas”) que desarrollaban papeles de asistentes de la obra, soldados y público espectador.

#### *Temas y argumentos*

Las tragedias se escribieron sobre ciclos míticos. Con esto se pretende reflexionar sobre los problemas que afectan a los seres humanos y sus relaciones con los dioses y con los hombres.

El motivo de la tragedia griega es el mismo que el de la épica, pero desde el punto de vista de la comunicación, la tragedia desarrolla significados totalmente nuevos: el mythos (μῦθος) se funde con la acción, es decir, con la representación directa (δρᾶμα), donde el público ve con sus propios ojos personajes que aparecen como entidades distintas que actúan de forma independiente en la escena, previsto cada uno de su propia dimensión psicológica.

#### 1.1.3. LA CATARSIS

Hablamos de catarsis en relación con la idea aristotélica de tragedia. Según Aristóteles (Aristóteles: 1982: 1449b), la tragedia describe en forma dramática, no narrativa, incidentes que suscitan piedad y temor; de este modo se consigue la catarsis (purificación) de estas pasiones. También la música produce, según Aristóteles, una catarsis.

Las obras tenían éxito por la habilidad con la que los autores mostraban el intercambio de conflictos. Conflictos entre hombres y dioses, entre los hombres, entre un ideal de honor concreto y otro ideal, o entre distintos aspectos o partes de un mismo héroe.

Esto no lleva a una afirmación importante: la tragedia es una forma de terapia a través de la catarsis.



## 1.2 LA MUJER EN EURÍPIDES

Eurípides (484/480 a. C. – 406 a. C.) fue un poeta trágico griego. Es considerado por los especialistas (junto con Esquilo y Sófocles) uno de los tres padres de la tragedia griega.

Mucho se ha discutido el tema de si Eurípides **es un misógino o un declarado feminista**. Eurípides trata a la mujer como ser de extraordinaria humanidad. Muchas veces se pone a favor de ellas precisamente por encontrarse tan a merced de la crueldad y el egoísmo de los hombres. Al describir sus reacciones y actitudes en situaciones tan extremas las convierte en verdaderas heroínas.

Medea es una mujer bárbara, por tanto, doblemente despreciada por su condición de **mujer y extranjera**. Pero esta mujer ha hecho posible que su esposo sea considerado un héroe: sin ella no hubiera podido culminar con éxito la expedición en la que logró el preciado vellocino de oro.

Eurípides ofrece a Medea llegar al final de su resistencia como ser humano. Su reacción es violenta, y salvaje, pero, para el espectador, comprensible claramente.

## 2. ANTECEDENTES

A lo largo de los siglos, el interés de los poetas por el personaje de Medea, ha ocasionado que se haya convertido en un personaje muy tratado, con muchas interpretaciones y diferentes versiones. El deseo de conocer o entender un personaje tan complejo ha llevado a numerosos autores a crear distintas “Medeas”. Algunos de los poetas más destacados, que han tratado este personaje han sido: Apolonio de Rodas (s. III a.C.); *Medea*, Eurípides (s. V a. C.); *Medea*, Séneca (s. I); Valerio Flaco (finales del s.I); Draconcio *Argonautica Orphica* (s. IV); Roman de Troie (s. XIII); Jean Anouilh (1946); *Medea 55*, Elena Soriano (1955); *La consagración de la inocencia*; *Medea*, guión de Pier Paolo Pasolini (1969); *Las Voces de la Medea*, Christa Wolf (1996).

Como punto de partida para una visión de conjunto nos hemos servido de trabajos como el de la Universidad del País Vasco del bienio 2015-2016 de Marina Romo Ruiz, *Personajes mitológicos en la literatura europea del siglo XX: Medea*.

Con respecto a la novela en la que **Lola López Mondéjar** trata el personaje y mito de Medea, *Mi amor desgraciado*, nos hemos encontrado con que no existen (o, al menos, no hemos dado con ellos) estudios o referencias al tratamiento de esta autora sobre este personaje y su historia. Por tanto, creemos que no se han publicado estudios sobre esta novela de Lola López Mondéjar antes de este proyecto de investigación.



### 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

- Hipótesis: El personaje de Medea mantiene las características esenciales que Eurípides estableció en los autores posteriores analizados.
- Hipótesis secundaria: Medea es una parricida movida por la venganza, que se ve extrapolada como tragedia al S. XX y XXI en los autores analizados.
- Objetivo general: Análisis de la figura de Medea en los autores seleccionados
- Objetivos específicos: 1. Similitudes y diferencias del Mito de Medea a través de diferentes autores, desde Eurípides en el S. V a. C., pasando por Séneca S. I d.C., Jean Anouilh S. XX y López Mondéjar S. XXI. 2. Poner de manifiesto cómo crece la figura femenina (Medea) sobre la masculina (Jasón) desde los textos de Eurípides, teniendo en cuenta que en el mito original anterior a Eurípides el protagonista era Jasón.

### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Esquemáticamente el procedimiento seguido es el siguiente:

- Búsqueda previa de las diferentes versiones del mito.
- Revisión bibliográfica y lectura de los distintos poetas, buscando las diferencias y similitudes de cada versión
- Con la información obtenida de las lecturas hemos elaborado unas tablas que nos han permitido observar el distinto tratamiento del mito en cada autor.
- A partir de esa forma esquemática hemos podido describir cómo cada autor trata la historia.
- Análisis más profundo (por su novedad) del personaje de Medea en la novela *Mi amor desgraciado* de Lola López Mondéjar

Para comprender cada una de las versiones tratadas en el trabajo, Eurípides (s.V a.C), Séneca (s. I), Jean Anouilh (s. XX), y Lola López Mondéjar (s. XXI), describiremos brevemente cada tratamiento del mito:

**Antes de Eurípides**, con variaciones, tenemos distintas versiones del mito. Originalmente Medea es hija de Eetes y Oceánide, nieta de Helios y de la maga Circe. Jasón, líder de su tripulación, “los Argonautas”, viaja al país de Cólquide, para robar el Toisón de Oro. Medea y Jasón se enamoran, y esta decide ayudarlo a robar dicho objeto, traicionando a su padre y a su hermano, Apsirto. Una vez robado el toisón de oro, Jasón y Medea huyen hacia Yolco, y se llevan con ellos al hermano de ella, con la finalidad de matarlo y así conseguir que Eetes se “entretenga” buscándolo y no los persiga. Una vez en Yolco, Medea mata a Pelias engañando a las hijas de éste con un hechizo para rejuvenecer a Pelias. Dicho conjuro resulta ser mentira y el rey muere. Acasto, hijo de Pelias, expulsa a Jasón y Medea de Yolco por el asesinato de su padre.

El giro en el mito viene de la mano de **Eurípides**, que escribió *Medea* en el 431





a.C. En su versión la nodriza relata los antecedentes históricos: el viaje de los argonautas, liderados por Jasón, que adquirieron el vellocino de oro gracias a Medea, que ahora se encuentra llena de rabia, abandonada a su suerte por Jasón, que pretende contraer matrimonio con la hija de Creonte, rey de Corinto; éste visita a Medea para comunicarle que queda desterrada ese mismo día, pero acaba concediéndole un día más de plazo. Acto seguido Jasón y Medea tienen una escena violenta. Entra Egeo, para proponer hospitalidad y ayuda a Medea en Atenas. Los niños son mandados por su madre a llevar a la hija de Creonte unos regalos maldecidos, y dichos obsequios provocan en Creonte y su hija la muerte. Medea debate consigo misma el acto de venganza que ha planeado realizar, pero finalmente su rabia y sed de venganza ganan y da muerte a sus dos hijos, sin dejar a Jasón tocarlos previamente. Al fin Medea huye a Atenas.

Nuestro segundo autor es **Séneca**, aquí Medea es hija de Eetes y de la maga Circe. La obra se inicia con la invocación a los dioses por parte de Medea para los crímenes que va cometer, debido al abandono de Jasón para casarse con Creúsa, la hija del rey Creonte, quien destierra a Medea y le concede un día para marcharse. Entra en escena Jasón, y Medea le recuerda todo lo que hizo por él, y ahora tan sólo ella está pagando con el destierro.

A continuación, hay una descripción detallada de los conjuros que realiza Medea para embrujar los regalos que hará a Creúsa, con el objetivo de matarla. Esos regalos los envía mediante sus hijos. El mensajero informa a Medea que tanto Creúsa como su padre han fallecido por culpa de los obsequios. Más tarde Medea asesina a uno de sus hijos y sube al tejado donde asesina al otro hijo, sin dejar que Jasón se despidiera de ellos, o incluso que los vea. La obra finaliza con la escena de la huida de Medea en un carro volador.

En la *Medea* de **Jean Anouilh**, todo comienza con Medea y la Nodriza en pleno bosque, donde a lo lejos escuchan sonidos de fiesta por la próxima boda de Jasón y Creúsa. Después un muchacho informa a Medea del motivo de los festejos. Tras enterarse, Medea, triste, enfadada y con odio, maldice el ser mujer, hubiera preferido ser hombre. Menciona todo lo que hizo en un pasado por Jasón. Aparece Creonte, rey de Corinto, y comunica a Medea que es expulsada, y le concede una hora para que abandone Corinto. Ambos hablan: Creonte permite que los hijos de Medea se queden en Corinto y ésta accede. Más tarde, entra Jasón, y Medea le advierte de que él es cómplice de los crímenes que cometió. Al igual que ella, debe abandonar Corinto, y que él debe acompañarla en el destierro. Medea afirma a Jasón que nunca se olvidara de ella, aunque quiera. A continuación, Medea se plantea el objetivo de que Jasón siempre la recuerde, hacer que sea inolvidable para él. Medea mata a Creúsa, mediante unos obsequios maldecidos, y a su padre al querer ayudarla, también. Medea mata a sus hijos y los introduce dentro de un carro ardiente. Medea recuerda a Jasón que nunca se olvidará de ella, de la verdadera Medea. La obra finaliza con la escena de la Nodriza y un guardia hablando sobre la cosecha.



En el siglo XXI la tragedia de Medea la hallamos, entre otras, en la novela de **Lola López Mondéjar** *Mi amor desgraciado*.

La novela se inicia con una mujer hablando sobre alguien que ha cometido un crimen. Nuestra obra está protagonizada por dos mujeres, una mujer española, anónima y Hélène, una francesa de París, atrapadas por las riendas con las que las someten sus hijos.

Por un lado, tenemos a la mujer española que abandona a su marido y a su hija, Lucrecia, para mudarse sola a París, con el objetivo de buscarse a sí misma. Ésta observa a Hélène, ve en ella algo que al principio no consigue entender. Según transcurre la novela, ella se da cuenta de que es capaz de mantener una relación con su hija, algo que antes no le era posible. Conoce a Marcel y se enamora de él. Además, en su propósito en descubrir por qué Hélène la cautiva, va a visitarla a la cárcel.

Por otro lado, Hélène, una mujer que mantiene al inicio de la novela una relación con un hombre, que le crea tal dependencia que sólo piensa en complacerlo. Ella únicamente busca la manera de satisfacerlo, no le importa anteponer las necesidades de él a las suyas propias. Hélène con el tiempo se queda embarazada y se casa. Tiene dos hijos, Michael y Nathael.

Hélène, consumida, debido a que su marido centra más su atención en sus hijos que en ella, decide disfrazarse de otras mujeres para dejar de ser ella. Desprecia a sus hijos, son objetos, fruto de la satisfacción de su marido. Y una noche Hélène mata a sus dos hijos con el cable del cargador del móvil.

## 5. RESULTADOS

El **mito original** de Medea presenta ciertas características comunes y constantes en las distintas versiones:

- La figura de Medea: ella no es la protagonista, el héroe es Jasón. En diferentes ocasiones Medea es sacerdotisa, y siempre es una hechicera. Medea no es un personaje destacable.
- La personalidad / carácter de Medea: es asesina, mentirosa y fiel. Se le adjudica el rasgo de asesina ya que es la autora de los asesinatos de los reyes de Yolco y Corinto. Mentirosa, engaña para conseguir lo que quiere, esto se ve con claridad cuando convence a las hijas de Pelias de que hay un conjuro para rejuvenecer a su padre, que resulta no sólo falso, sino mortal. Es fiel: la lealtad de Medea hacia Jasón no tiene límites, ella hace todo lo que él le pide, y todo lo que ella considera que Jasón quiere que haga.
- Existía una tradición según la cual Medea no habría muerto, sino que habría sido transportada a los Campos Elíseos, donde se habría unido con Aquiles.



### 5.1 EURÍPIDES

Partiendo del mito, en el siglo V a.C. Medea se convierte en la heroína, ya que Eurípides modifica el mito haciendo que la figura femenina destaque de forma extraordinaria: a medida que la figura masculina de Jasón disminuye, sin protagonismo. En *Medea* de Eurípides encontramos las siguientes características:

- La figura de Medea: mujer, madre, revolucionaria y víctima. Es mujer, Medea representa las quejas de todas las mujeres frente a una sociedad machista. Madre, ya que ella tiene un momento de duda sobre si seguir con su plan de asesinar a sus hijos. También es víctima de su amor por Jasón. Esta visión de Medea se va a mantener a lo largo de todos los autores a tratar.
- La personalidad /carácter de Medea: vengativa, asesina, rencorosa, astuta. Es asesina, de sus propios hijos. Rencorosa, ya que reprocha a Jasón todo el daño que le ha causado, y por ese rencor decide vengarse. Astuta, porque planea muy bien su plan de hacer sufrir a Jasón.
- El comienzo: esta versión del mito empieza con la nodriza y el pedagogo hablando sobre lo que Medea podría estar tramando, algo horrible y que, sin duda, afectará a los niños.
- El crimen: Medea decide vengarse de Jasón por su abandono: quiere provocar mucho sufrimiento a Jasón por lo que cree que la única forma de hacerlo es matando a sus dos hijos.
- El final: el mito termina con Medea dando muerte a sus hijos, sin dejar que Jasón vea los cuerpos para despedirse, y huye a Atenas donde se unirá al rey Egeo.

### 5.2 SÉNECA

En el siglo I d.C. la *Medea* de Séneca parte de la de Eurípides, dándole el mismo protagonismo. Pero sí existen variaciones respecto a Eurípides:

- Personalidad / carácter: es una mezcla entre amor e ira. Se deja llevar más por su sentimiento y por sus impulsos que por su inteligencia. Su sed de venganza la convierte en enemiga de las figuras masculinas, Jasón y Creonte. Medea es una auténtica criminal, ella misma reconoce que los crímenes son provocados por el amor que hacia Jasón.
- Crimen: Medea, como en Eurípides, sigue siendo la autora del asesinato de sus hijos, pero con una diferencia que hace su crimen incluso más terrible: primero mata a un hijo y después, pero no de inmediato, al otro.
- Final: Medea, una vez muertos sus hijos, desaparece sin rumbo conocido en un carro volador.

### 5.3 JEAN ANOUILH

Cuando entramos en el siglo XX, Jean Anouilh mantiene la visión del personaje de Medea impulsada por los autores anteriores a él. No obstante, el personaje tiene ciertas características que hasta ahora no habían aparecido:



- Personalidad / carácter: el personaje es más orgulloso, sanguinario y temible y al igual que en Séneca enemiga. Sigue siendo una criminal con ansias de venganza. Pero con un propósito aún mayor: conseguir que Jasón nunca consiga olvidarla, como en Séneca, pero con un añadido: a esta Medea no le basta con asesinar a sus propios hijos, sino que además, llegar a suicidarse metiéndose en un carro en llamas con sus dos hijos, para lograr hacerse inmortal para Jasón.
- Final: Medea no huye, ni desaparece, sino que tiene un final más radical, su suicidio, que es el medio para hacerse inolvidable y eterna en la mente de Jasón.

#### 5.4. LOLA LÓPEZ MONDÉJAR

Antes de analizar la obra, digamos brevemente quién es la autora. Esta escritora tuvo la amabilidad de recibirme en su casa donde pude entrevistarla.

Lola López Mondéjar es una escritora de ensayos, cuentos y novelas, psicóloga clínica y psicoanalista, nacida en Molina de Segura en 1958.

En el campo de la novela destacamos: *Mi amor desgraciado* (2010). Novela finalista del XXI Premio de Narrativa Torrente Ballester, 2009

*Mi amor desgraciado.*

Trata el tema de la maternidad, en el contexto en el que una mujer no experimenta el vínculo maternal que nos ha forjado nuestra sociedad actual. Al igual, la escritora quería combatir el concepto de amor romántico.

Medea sobrevive en el siglo XXI de una forma más actual en *Mi amor desgraciado*. En esta novela, tanto Hélène como la mujer española son una mezcla de la Medea del siglo XXI, son como una **Medea desdoblada**. Sus características:

- Personalidad / carácter de Hélène: es un éxito del patriarcado; dependiente, sumisa, emocionalmente inestable y una criminal. La española anónima es una Medea con humanidad, quiere descubrirse, buscarse y encontrarse, no está centrada en el crimen, ni en la venganza, tan solo quiere saber quién es.
- Hijos: Hélène tiene dos hijos, a los que desprecia, ve como objetos fruto del matrimonio, y no como sujetos.
- Crimen: los hijos son asesinados por Hélène con el cable del cargador del móvil.
- Final: Hélène está en prisión, y la mujer española disfruta de haber encontrado lo que tanto anhelaba.

## 6. CONCLUSIONES

En referencia a mis hipótesis de partida:



• **El personaje de Medea mantiene las características esenciales que Eurípides estableció en los autores posteriores analizados. LA ACEPTAMOS.**

Como hemos ido viendo, tanto Séneca, como Anouilh, e incluso Lola López Mondéjar, mantienen las mismas constantes que Eurípides otorgó al personaje. Las cuatro obras siguen pautas similares, con algunas variaciones que hemos indicado.

Hipótesis secundaria:

• **Medea es una parricida movida por la venganza, que se ve extrapolada como tragedia al S. XX y XXI en los autores analizados. LA ACEPTAMOS.**

Ya que el personaje de Medea es tratado por Jean Anouilh, y Lola López Mondéjar con unas características que permiten vislumbrar como punto de partida el mito y las formas establecidas por Eurípides.

En relación a los objetivos de mi trabajo:

- Objetivo general: Análisis de la figura de Medea en los autores seleccionados.
- Objetivos específicos: 1. Analogías del Mito de Medea a través de diferentes autores, desde Eurípides en el S. V a. C., pasando por Séneca S. I d.C., Jean Anouilh S. XX y M<sup>a</sup> Dolores López Mondéjar S. XXI. 2. Poner de manifiesto cómo crece la figura femenina (Medea) sobre la masculina (Jasón) desde los textos de Eurípides.

Consideramos que los objetivos han sido conseguidos a lo largo de la elaboración de este trabajo.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Quiero terminar agradeciendo en primer lugar a mi coordinador, Santiago Quintanilla, por ofrecerme la idea para este trabajo, además por su ayuda en todo momento, sus consejos. Asimismo, agradezco a mi tutor Luis Vicente por guiarme cuando estaba perdida, por sus ideas sobre la estructura del trabajo. Igualmente mi agradecimiento a Lola López Mondéjar por su amabilidad al concederme dos entrevistas para charlar sobre su novela y sus personajes, y por toda la información aportada a este trabajo. Y, por último, agradecer a todos mis seres queridos y amigos por su apoyo emocional, por su confianza en mí cuando más lo necesitaba, y todo el cariño.



## 8. BIBLIOGRAFÍA Y "CIBERGRAFÍA"

Adrados, F. R. (1972), *Fiesta, comedia y tragedia. Sobre los orígenes del teatro*, Barcelona.

Anouilh, J. (1960), *Teatro*, Buenos Aires.

Aristóteles (2000), *Poética*, edición de Salvador Mas, Madrid.

Casajuana Capdevila, M. (1984), *La imaginación creadora de Jean Anouilh*, Universidad de Salamanca.

Eurípides (1997) *Tragedias*, Introducción, traducción y notas de Alfonso Martínez Díez.

Madrid Grimal, P. (2004), *Diccionario de mitología griega y romana*, Buenos Aires.

Lasso de la Vega, J. S. (1981), *Los temas griegos en el teatro francés contemporáneo*, UMU.

López, A & Pociña, A. (2002), *Medeas: versiones de un mito desde Grecia hasta hoy*.

Granada López Mondéjar, L. (2010), *Mi amor desgraciado*, Madrid.

Séneca (1979) *Tragedias*, introducción, traducción y notas de Jesús Luque Moreno, Madrid.

<http://www.dramavirtual.com/search/label/Anouilh%20JEAN%20%20MEDEA> (12/2018)

<https://sites.google.com/site/elteatrogriego/euripides-y-las-mujeres> (02/2019)









## Enterramientos en decúbito prono de la iglesia de San Nicolás en Tudela (Navarra)

---

/ ACCESIT

**AUTORES** | MARÍA COMPÉS AGRAMONTE, CARMEN AGUIRRE LOSTADO Y MARIO SANZ SANZ

**COORDINADOR** | PABLO IJALBA PÉREZ

**CENTRO** | IES VALLE DEL EBRO

**CIUDAD** | TUDELA-NAVARRA

### RESUMEN |

En la iglesia de San Nicolás de Tudela se han inventariado un total de 168 enterramientos, de los cuales cuatro fueron hallados boca abajo (decúbito prono). Las explicaciones dadas en la bibliografía especializada suelen agruparse entre las que lo consideran algo accidental y las que lo atribuyen a un acto deliberado de castigo o humillación; pero no contemplan casos dentro de una iglesia y según las exequias religiosas. El presente trabajo plantea una metodología interdisciplinar con el objetivo de obtener datos de tipo arqueológico, anatómico- antropológico, e histórico, que permitan conocer las causas que llevaron a realizar estos cuatro enterramientos en decúbito prono en el interior de la iglesia y, con ello, contribuir a la interpretación general de este fenómeno en la historia.

### ABSTRACT |

In San Nicolás church of Tudela 168 burials have been inventoried, of which four were found face down (prone). The explanations given in the specialized bibliography are usually grouped between those that consider it something accidental and those that attribute it to a deliberate act of punishment or humiliation; but they do not assess cases within a church and according to religious inhumation rituals. The present work proposes an interdisciplinary methodology with the objective of obtaining archaeological, anatomical-anthropological, and historical data, which allow to know the causes of these four prone burials inside the church and, with it, contribute to the general interpretation of this phenomenon in history.



## INTRODUCCIÓN

La intervención en la iglesia de San Nicolás de Tudela ha supuesto un hito por varios motivos. Primeramente, desde el punto de vista arqueológico, las excavaciones iniciadas en 2014 han permitido conocer que no son dos sino tres las iglesias edificadas en sucesivas fases. En segundo lugar, históricamente, esta iglesia siempre ha ocupado un lugar prevalente en la historia de Navarra debido a que en ella quedó enterrado durante un breve período el monarca Sancho VII el Fuerte; al menos, durante dos años —entre 1234 y 1236—. Por último, el estado ruinoso en el que se encontraba el edificio y el interrogante sobre la futura utilidad de este espacio ha generado controversia e interés en la opinión pública local y entre los vecinos.

Entre los restos recuperados en la iglesia se encuentran huesos pertenecientes a un total de 168 cuerpos inventariados hasta la fecha —julio de 2018—. En la nave principal el espacio se encontraba compartimentado en unos cajones de enterramiento que formaban una cuadrícula. En esta zona se recuperaron en torno a 40-50 esqueletos. De entre estas inhumaciones, 13 presentaban una posición y orientación singulares, estando 4 cadáveres sepultados en posición de decúbito prono.

Los 4 casos descubiertos en la iglesia de San Nicolás son relevantes por varios motivos. Por un lado, debido a la proporción elevada de enterramientos en esta posición dentro de este mismo espacio, singularmente del cajeadado de la nave principal. Por otro, por su compleja interpretación. Los especialistas coinciden en señalar que los enterramientos en decúbito prono pueden ser accidentales o deliberados, correspondiendo los primeros a movimientos posteriores del sustrato, a un momento de crisis de mortandad, a problemas de espacio, principalmente. Para los ejemplos deliberados las explicaciones divergen, aunque se impone como mayoritaria la que entiende esta forma de enterramiento como un castigo o humillación al fallecido. Pero este no podría ser el caso de la iglesia de San Nicolás porque los cuatro muertos colocados al revés fueron sepultados en el interior de la iglesia, lo que suponía una carga económica, la aceptación del entierro sagrado, el respeto de la comunidad de fieles y el cuidado de los familiares. La humillación, para esa época —siglos XVIII-XIX— hubiera sido negar el entierro cristiano al fallecido, siendo depositado su cadáver en una fosa común o en el exterior de la iglesia y de la localidad.

## ESTADO DE LA CUESTIÓN

El estudio más completo sobre enterramientos en decúbito prono corresponde a la investigadora sueca Caroline Arcini, publicado en 2009, que ha recopilado casos de necrópolis de todo el mundo y de cronologías diversas — desde el 20.000 a.C. cuando registra el primer caso hasta el siglo XX—. En total, contabiliza 600 enterramientos en decúbito prono en un total de 215 yacimientos.



En la bibliografía especializada, mayoritariamente arqueológica y de ámbito anglosajón, se encuentra con frecuencia el concepto de «*deviant burials*» para designar y englobar rituales funerarios de enterramiento alejados de la norma. Este concepto podría traducirse como enterramientos ‘anormales’, o ‘desviados’ en un sentido literal; aunque en España se ha utilizado en ocasiones el término de enterramientos singulares (Bienes, 2017). Aunque la definición de «*deviant burials*» se originó entre arqueólogos ha sido comúnmente aceptado por investigaciones de otras disciplinas (Shay, 1985, p. 227; Aspöck, 2008, pp. 17-34; Taylor, 2008, pp. 91-114; Tsaliki, 2008, pp. 1-16). Lo interesante de este enfoque es que, cuando se analizan casos de sepulturas inusuales de épocas y geografías distantes entre sí, se observan algunos rasgos semejantes, que básicamente se resumen en un principio: la sociedad ha decidido deliberadamente negar el rito funerario normalizado. La arqueología distingue dos grandes categorías a este respecto: los muertos que reciben sepultura y los que no, es decir, cuyo cadáver ha quedado expuesto.

Las modalidades de enterramiento anormal varían, en función no sólo de la fecha y el lugar, sino también de la edad del fallecido, el sexo, la condición social, causa de la muerte, ocupación (Donnelly y Murphy, 2008; Weiss-Krejci, 2008, pp. 183-185). Enterramientos con el cadáver boca abajo, es decir, en posición de decúbito prono, se han encontrado, igualmente, en diferentes lugares y épocas. Aunque todos estos tratamientos reflejan connotaciones negativas, y esta es una característica común que valida ese principio mencionado antes sobre negar el funeral regulado.

Philpott aplica cuatro categorías para analizar e interpretar los enterramientos boca abajo (1991, pp. 71-76): con signos de coerción, con muestras de falta de cuidados, doble enterramiento simultáneo, y enterramientos formales. Sin embargo, no es sencillo encontrar una interpretación conjunta para estos casos (Millet, Revell y Moore, 2016, p. 428). Es común en la bibliografía la interpretación de estos enterramientos en decúbito prono como una forma de que el muerto no pueda regresar a la vida, pero generalmente esta tesis se apoya en casos que pertenecen a contextos de la Roma antigua, de la cultura anglosajona o vikinga, es decir, ritos paganos (Bryant, 2003, p. 102; Daniell, 2005, p. 109; Reynolds, 2009, pp. 89-90). Un caso especial, pero motivado por este mismo objetivo de evitar el retorno, sería el de brujas y vampiros. No obstante, se pretende de este modo evitar el contagio supersticioso (Quigley, 1996, p. 17). En época romana, esta posición de enterramiento podía ir asociada con signos de violencia peri y post mórtem (Alfallé Villa, 2009, pp. 182-185).

## HIPÓTESIS

Los cuatro enterramientos en decúbito prono de la iglesia de San Nicolás serían del tipo deliberados —no accidentales— pero no se deberían a una humillación hacia el fallecido, pues sería una contradicción con el rito sagrado que se ha seguido; sino que probablemente se deba a un temor hacia la causa y circuns-



tancia de la muerte que ha tenido el inhumado, por ser repentina, violenta, o deberse a alguna enfermedad mortífera, desconocida o contagiosa.

## METODOLOGÍA

La investigación se planteó interdisciplinariamente de manera que aunara conocimientos de las áreas de la investigación histórica, de la excavación arqueológica y del análisis antropológico forense; y se desarrollaría en paralelo a los trabajos desempeñados por el equipo de excavación dirigido por Juan José Bienes en sus campañas.

En primer lugar, se planteó la cuestión del estudio de los huesos de los cuatro cadáveres enterrados en decúbito prono. Estos esqueletos habían sido inventariados, pero no habían sido sometidos a un estudio antropológico exhaustivo. Por ello, se solicitó formalmente permiso a la Institución Príncipe de Viana, responsable del patrimonio del Gobierno de Navarra, para poder acceder a estos restos y realizar su análisis. La respuesta fue favorable y el director de la sección de Arqueología, Jesús Sesma Sesma, ha dado su apoyo al trabajo de investigación que se iba a llevar a cabo. Se acordaron, de acuerdo a las consignas dadas por Príncipe de Viana, las condiciones bajo las que se desarrollaría el estudio de los restos óseos.

La envergadura que fue adquiriendo el diseño de esta investigación llevó a la firma de un Convenio Marco de colaboración entre el Ayuntamiento de Tudela, a través de la Concejalía de Educación, Centros Cívicos y Juventud, y el IES Valle del Ebro, que tuvo lugar el 23 de abril de 2018, participando el señor Alcalde, Eneko Larrarte, y la Directora del centro, Izaskun Ciriza. También estuvieron presentes Jesús Sesma, de Príncipe de Viana; Juan José Bienes, Director de las Excavaciones; Mikel Ziordia, Director de Centros Cívicos de Tudela; y Pablo Ijalba, profesor coordinador y designado investigador principal de este trabajo. Este Convenio permitiría el desarrollo del trabajo y estaba pensado para dar continuidad a esta investigación en futuros cursos académicos y para organizar la colaboración entre distintas entidades de ámbito municipal: Centros Cívicos y Archivo Municipal principalmente.

El análisis de los huesos se realizó por parte de un equipo de 16 alumnos de la asignatura de Anatomía, de 1º de bachillerato, dirigido por su profesor, Jesús Barcina, y bajo la supervisión de Juan José Bienes, Director de las Excavaciones de San Nicolás; Maitane Tirapu, técnico arqueóloga; y Javier Ibáñez, Forense Oficial del Juzgado de Tudela y miembro del Instituto Navarro de Medicina Forense, al que se solicitó su colaboración. Este trabajo se desarrolló del 7 al 22 de mayo de 2018 en una sala Taller, habilitada para este fin, del Centro Cívico Rúa, anexo a la iglesia de San Nicolás, en la ciudad de Tudela.

En el curso de estos trabajos, el 10 de mayo de 2018 se procedió al levantamiento, limpieza e inventariado del cuarto cadáver enterrado en decúbito prono,



que todavía se encontraba en el suelo de la nave central de la iglesia. Estas labores fueron dirigidas por Juan José Bienes, participaron alumnos de los dos grupos implicados, estuvieron los dos profesores que coordinan el trabajo y colaboró nuevamente Javier Ibáñez.

Otro equipo formado por 16 alumnos de la asignatura Geografía e Historia de Navarra dirigidos por su profesor, Pablo Ijalba, se encargaron del estudio histórico y documental. Para el análisis bibliográfico y la búsqueda de otros casos fuera de Navarra se contactó con el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, recibiendo orientaciones y referencias de Carmen Marcos Alonso, Subdirectora del Museo. También se tuvo la oportunidad de recibir consejo y bibliografía por parte de Irene Salinero Sánchez, arqueóloga de la Universidad de Alcalá de Henares. En una segunda fase, este mismo equipo trabajó en el Archivo Municipal de Tudela y en el Archivo Diocesano de la ciudad.

La combinación y cotejamiento de los datos obtenidos por ambos equipos, teniendo en cuenta que el desarrollo de sus labores se planteó de manera simultánea, coordinada y en permanente transmisión de la información, tenían como objetivo aunar conclusiones obtenidas por estas dos líneas de investigación.

## RESULTADOS

De la investigación de las fuentes originales se destacan dos rasgos relevantes. Por un lado, que los fallecidos encontrados o ahogados o accidentados o que sufren una muerte repentina, se les entierra como al resto, no pudiéndose apreciar en las anotaciones de los libros de Difuntos ninguna peculiaridad —Juan Francisco Francés en 1823, F. 67; Antonio Galdeano en 1824; F. 76; Antonio Romé en 1826, F. 79; Javier Bona en 1826, F. 82; María de Alba en 1828, F. 93; entre otros—. Por otro, el nivel de detalle empleado por los vicarios para referir casos anómalos o especiales, como «entierros dobles» (F. 146 del tomo 1614-1805), problemas con las deudas (F. 129 del mismo tomo), huérfanos (F. 64 del tomo 1806-1869), muertes violentas descritas (F. 76 de este mismo tomo, F. 101 «a causa de un terreno que le cayó encima»), sobre el cumplimiento de Providencias dadas (F. 93). Sorprende, por tanto, que no aparezca ninguna mención a una posición tan extraña y singular del cadáver sepultado, boca abajo.

Se han analizado de manera exhaustiva los testamentos que se corresponden con el período estudiado en el libro de Difuntos de la iglesia de San Nicolás, la década de 1824-1833, para de este modo poder complementar la información documental extraída de ambas fuentes.

El estudio arqueológico confirmó que el suelo de la nave de San Nicolás está dividido en compartimentos, cajones de enterramiento, numerados, distribuidos en 7 filas y 9 calles. Hubo más, pero esta tarima desapareció debido a obras modernas (Bienes, 2017, p. 85). En la parte trasera de la iglesia, prácticamente debajo del coro, había otras tres filas de enterramiento, hasta llegar a un total



de 82 cajones. En total, se han recuperado 168 cuerpos inventariados en toda la iglesia. Los cuatro enterramientos en decúbito prono son:

- Cajón 32. Enterramiento 16. Perteneció al siglo XVI. Sin ataúd, con sudario.
- Cajón 37. Enterramiento 47. Siglo XIX. No tenía ningún otro esqueleto encima. Sin ataúd, con sudario.
- Cajón 48. Enterramiento 166. Siglo XIX. Tenía un esqueleto encima. Sin ataúd, con sudario.
- Cajón 63. Enterramiento 44. Siglo XIX. Tenía un esqueleto encima. Sin ataúd, con sudario.

Las dos primeras filas de enterramiento parecen reservadas para difuntos de la jerarquía eclesiástica y del clero en general. Las dos siguientes filas, cuantos menos, aparecen algunas ya «adquiridas» previamente. Esto se ha podido descubrir gracias al estudio documental. Se han obtenido dos evidencias importantes. Primera, el cajón 33 es el único de todos que tiene nombre en el plano original, Uzquiza —que curiosamente, muere en 1828 y consta su sepultura; coincidiría, por tanto. Segunda, en 1826 muere Juan Gorrindo y el vicario deja escrito que «se enterró en sepultura de su mujer», pero ésta aún no había muerto (*Libros de San Nicolás*, 1806-1869, difuntos, f. 79)—. Sorprende, por tanto, que el enterramiento 16, localizado en el cajón 32, estaba justo al lado del cajón 33 que pertenecería a los Uzquiza; se trataría, por tanto, de una situación de privilegio, aunque se debe recordar que este es el único caso de cronología distinta, pertenece al siglo XVI y no al XIX como los demás, y se debe tener en cuenta las diferentes fases constructivas del edificio —no se conoce aún el plano del encajonado de enterramiento de la iglesia del siglo XVI—.

El uso o no de ataúd no sigue la diferenciación social conocida entre ricos y pobres. El sudario, que generalmente se asocia al enterramiento de una persona pobre, se ha encontrado en San Nicolás en esqueletos inhumados en sitios de privilegio, como la primera fila —una pareja sepultada junta, los dos sin caja—.

En el curso de la investigación se encontraron noticias sobre el enterramiento de Pipino el Breve en decúbito prono (Gardela, 2015, p. 109). En sus últimos instantes expresó su deseo de ser enterrado de una manera muy específica: 1) inhumado bajo el umbral de la puerta de la iglesia de Saint-Denis con el fin de ser pisoteado por los fieles (Guillon, 1817, p. 103), 2) sepultado boca abajo «para ser privado de las miradas del cielo» —«*comme pour être soustrait aux regards du ciel*», p. 103—, 3) sin inscripción alguna para evitar las maldiciones públicas contra su persona.

La interpretación que hacen los cronistas e investigadores sobre este enterramiento refleja elementos comunes. Guillon, cree necesario para responder a esta cuestión buscar otros casos semejantes, y recuerda la humildad con la que fue sepultado Gregorio de Tours, aunque no boca abajo, y también de un ar-



zobispo de Milán en el siglo X, Landolfo de Carcano, que sí fue inhumado en decúbito prono. Para Guillon son manifestaciones voluntarias de extrema humildad, aunque observa que tanto Carcano como Pipino comparten fuertes remordimientos. Concluye que este tipo de sepultura «era la penitencia especial que se imponían en estos viejos tiempos los usurpadores que morían sin haber podido lograr engañar a su conciencia» (p. 104). Otros autores decimonónicos llegaron a conclusiones semejantes, e interpretando el enterramiento de Pipino como el de un penitente (Andry, 1800, p. 51; Morel, 1855, p. 39).

El análisis de los restos de los cuatro cadáveres encontrados en decúbito prono no ha permitido determinar la causa de la muerte en ninguno de ellos; tampoco se han encontrado evidencias de patologías importantes ni de patologías comunes a los cuatro cadáveres. La única característica común que es posible establecer entre los cuatro casos es la juventud de tres de los cuatro en el momento de la muerte. Lo más probable es que la muerte de estas personas jóvenes fuera un acontecimiento inesperado o poco común; un accidente o una enfermedad.

## DISCUSIÓN Y VALORACIÓN

No se han obtenido, hasta el momento, datos suficientes ni concluyentes que permitan sostener la hipótesis inicial planteada. No se pueden determinar con exactitud los motivos y las circunstancias por las cuales ciertas personas eran sepultadas, intencionadamente, boca abajo dentro de las iglesias. A pesar de ello, algunas explicaciones tradicionales pueden ser descartadas a la luz de los resultados que se han recogido. No obstante, sí que se han recopilado en el curso de esta investigación hallazgos que pueden orientar y dirigir futuras investigaciones sobre este problema de los enterramientos singulares y que suponen, a nuestro juicio, una aportación al conocimiento de esta cuestión. A continuación, se comentan uno a uno estos aspectos que son el resultado de esta investigación.

Primero, nada se hacía en el ámbito funerario de las iglesias sin contar con el permiso o conocimiento de la autoridad eclesiástica correspondiente. Este control sobre los ritos funerarios se trasluce en el contenido de los libros de Difuntos, especialmente en las providencias y en la vigilancia sobre su cumplimiento. No cabe suponer, por tanto, que enterrar boca abajo en suelo sagrado fuese algo que escapase al control de la Iglesia, en cuanto institución, porque fuese una decisión personal del enterrador o algo furtivo realizado a espaldas de la autoridad eclesiástica.

Segundo, las fuentes documentales, principalmente los libros sacramentales y los testamentos, no son una fuente de primer orden para investigar enterramientos en decúbito prono. Su consulta es relevante para identificar elementos del contexto material y mental del momento, sobre los usos funerarios del espacio de una iglesia concreta y acerca de las costumbres existentes en el enterramiento. Pero son todas ellas cuestiones perimetrales del objeto principal de la investigación.





Tercero, los enterrados boca abajo dentro de la iglesia no son sepultados así por ser pobres, porque los arqueólogos se encontrarían con muchos más casos. Tampoco son enterrados en esta posición por ser herejes, falsos conversos, pecadores conocidos, brujas o vampiros, no arrepentidos, o suicidas. A todos estos se les habrían negado las exequias eclesiásticas y forzosamente nunca hubieran sido enterrados en iglesia.

Cuarto, cabe subrayar el ejemplo de Pipino el Breve y de los otros que son conocidos los motivos. Hay que advertir que se trata de un caso muy lejano en el tiempo, del siglo VIII, pero que se produce inserto en la devoción cristiana. Tanto la ubicación como la posición testimonian un mensaje determinado. Ser enterrado en el pórtico, nártex, o en el acceso de una iglesia —«*ante limina ecclesiae*»—, espacios destinados a los penitentes, se ha considerado como una forma de respeto y espera de una purificación porque el difunto admite no poseer el derecho de entrar en la iglesia propiamente dicha; el difunto adopta una actitud de espera ante el juicio antes de la entrada al Paraíso (Spicer y Hamilton, 2016). Existen más ejemplos de este lugar elegido para el enterramiento, principalmente altomedievales, y singularmente entre los carolingios (Nelson, 2000). Este significado sobre la ubicación complementa la interpretación sobre la postura, en decúbito prono, que se entiende como una expresión de penitencia. Algunos han visto en esta forma de enterramiento de Pipino un modelo concreto, por el cual el monarca quiere transmitir al pueblo un mensaje de humildad, fe y sometimiento al poder celestial. Y, desde una perspectiva más general, el caso de Pipino se puede identificar como un modelo cristiano precoz de enterramiento penitente, según nuestra interpretación, que establece ciertas características implícitas en el acto mismo de la penitencia cristiana: humildad, postración, anonimato, autoinflcción, introspección.

## CONCLUSIÓN

No es todavía posible, a la luz de los datos disponibles hasta el momento, dar una respuesta a por qué algunas personas eran enterradas boca abajo aun recibiendo las exequias religiosas. Sí que se pueden excluir todo un conjunto de respuestas que aparecen en la bibliografía, si bien dadas para casos en contextos diferentes: neonatos, prostitutas, brujas, suicidas, vampiros, etc. Además, es probable que, dadas las características de los cuatro cadáveres enterrados en decúbito prono de la iglesia de San Nicolás —diferentes épocas, sexo, edad— no sea un único motivo, ni siquiera el mismo, el que explique esta posición tan singular.

Teniendo en cuenta todo esto, sí que podría acotarse el espacio donde podrían encontrarse las respuestas a la pregunta inicial. Siguiendo el marco teórico conocido sobre las interpretaciones que se realizan sobre los enterramientos en decúbito prono por parte de la bibliografía, se refuerza aún más la singularidad de aquellos inhumados en esta posición dentro de las iglesias. No serían estos casos accidentales, sí deliberados. Pero generalmente los especialistas atribu-





yen esta intencionalidad a la comunidad de fieles, es decir, a los vivos, respecto al cadáver y, con ello, interpretan estos enterramientos deliberados boca abajo como una forma de humillación o como un temor hacia la muerte. No puede establecerse que fuese una decisión colectiva, bien de la comunidad de creyentes, bien de la jerarquía eclesiástica, principalmente porque se carecen de testimonios a este respecto, tanto en la normativa canónica como en los libros de Difuntos. Por el contrario, podría responder más bien a una decisión individual del fallecido, que se correspondería con el ámbito de la penitencia y la expectativa de una salvación. En esta medida, formaría parte de lo que podría denominarse como los ritos funerarios de «apariencia» o penitenciales: el rico que quiere pasar por pobre en su sepultura, adoptando el hábito franciscano en la mortaja o siendo depositado en el fosal junto con las personas humildes; el subsumido por los remordimientos y la culpa quiere enfatizar su vergüenza a través de su postura de penitencia —como Pipino o Carcano—. Uno y otro tienen claro el mensaje con el que quieren realizar su tránsito: despojarse de las riquezas; reconocer la culpa.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alfallé Villa, S. M. (2009). Sit tibi terra gravis: Magical-religious practices against restless dead in the ancient world. En Marco Simón, F., Pina Polo, F. y Remesal Rodríguez, J. (Eds.), *Formae mortis: el tránsito de la vida a la muerte en las sociedades antiguas* (pp. 181-216). Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Andry, G. (1800). *Le grand de Pepin-le-Bref*. London, UK: A. Dulau & co.
- Arcini C. (2009). Losing face: The worldwide phenomenon of ancient prone burial. En Back Danielsson, I.-M. et al. (Eds.), *Döda personers sällskap: Gravmaterialens identiteter och kulturella uttryck / On the threshold. Burial archaeology in the twenty-first century* (pp. 187-202). Stockholm: Stockholm University.
- Ariès, Ph. (2000). *Historia de la muerte en Occidente: Desde la Edad Media hasta nuestros días*. Barcelona: Acantilado. Edición original de 1974.
- Ariès, Ph. (2018). *El hombre ante la muerte*. Barcelona: Taurus. Edición original de 1977.
- Aspöck, E. (2008). What actually is a «deviant burial»? Comparing german-language and anglophone research on «deviant burials». En Murphy, E. (Ed.), *Deviant Burial in the Archaeological Record* (pp. 17-34). Oxford, UK: Oxbow Books.
- Bienes, J. J. (2017). Enterramientos singulares en la iglesia de San Nicolás. Tudela. Siglos XVIII-XIX. *Revista del Centro de Estudios Merindad de Tudela*, 25, 79-98.
- Bryant, C. D. (Ed.). (2003). *Handbook of death and dying*. Thousand Oaks-London, UK: SAGE.
- Daniell, Ch. (2005). *Death and burial in medieval England 1066-1550*. London, UK: Routledge.
- Donnelly, C. J. y Murphy, E. (2008). The origins of Cillíní in Ireland. En Murphy, E. (Ed.), *Deviant burial in the archaeological record* (pp. 191-223). Oxford, UK: OxbowBooks.
- Gardela, L. (2015). Face down: The phenomenon of prone burial in early medieval Poland. *Analecta Archaeologica Ressoiviensia*, 10, 99-135.
- Millett, M., Revell, L. y Moore, A., (Eds.). (2016). *The Oxford Handbook of Roman Britain*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Morel, E. (1855). *Petit cours d'Histoire de France*. Tournai, France: Casterman et fils.



- Nelson, J. L. (2000). Carolingian royal funerals. En Theuws, F. y Nelson, J. (Eds.), *Rituals of power: From late antiquity to the early Middle Ages* (pp. 503). Leiden, Boston, Köln: Brill.
- Philpott, R. (1991). *Burial practices in Roman Britain: A survey of grave treatment and furnishing, A.D. 43-410*. Oxford, UK: British Archaeological Reports.
- Quigley, Ch. (1996). *The corpse: A history*. Jefferson, USA: McFarland & Co.
- Reynolds, A. (2009). *Anglo-Saxon deviant burial customs*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Shay, T. (1985). Differentiated treatment of deviancy at death as revealed in anthropological and archeological material. *Journal of Anthropological Archaeology*, 4(3), 221-241.
- Spicer, A. y Hamilton, S. (2016). *Defining the Holy: Sacred space in medieval and early modern Europe*. London, UK: Routledge.
- Taylor, A. (2008). Aspects of deviant burial in Roman Britain. En Murphy, E. (Ed.), *Deviant burial in the archaeological record* (pp. 91-114). Oxford, UK: OxbowBooks.
- Tsaliki, A. (2008). Unusual burials and necrophobia: An insight into the burial archaeology of fear. En Murphy, E. (Ed.), *Deviant burial in the archaeological record* (pp. 1-16). Oxford, UK: Oxbow Books.
- Weiss-Krejci, E. (2008). Unusual life, unusual death and the fate of the corpse: A case study from dynastic Europe. En Murphy, E. (Ed.), *Deviant burial in the archaeological record* (pp. 169-190). Oxford, UK: OxbowBooks.



# CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA VIDA

---

## PRIMER PREMIO |

- 186 - **O da la miúda: distribución, etología y fenología del lobo ibérico (*Canis lupus signatus*) en las proximidades del centro**  
MARÍA BOUSO POSADA, XIANA REGO FERNÁNDEZ Y ANA RUBAL SÁNCHEZ

## SEGUNDO PREMIO |

- 199 - **Efectos del herbicida glifosato a bajas concentraciones: alteraciones en oenocitos y ovarios de *Drosophila melanogaster***  
JUAN SÁNCHEZ MATEOS
- 210 - **Estudio del gen SISKOR en plantas de tomate mediante edición génica (CRISPR-Cas9) y herramientas bioinformáticas**  
ANA HERVÁS ARACIL, ARACELI MARTÍN GARCÍA  
Y ANA VIVANCOS MELENCHÓN
- 223 - **Evaluación de los niveles de vitamina D en población anciana de Lorca (Murcia)**  
IRENE LÓPEZ AMAT

## TERCER PREMIO |

- 232 - **Armónicos Hipoacústicos. De la genética de la sordera a la música**  
LUCÍA ABAJO LIS
- 245 - **Posibles aplicaciones del óxido de grafeno para mejorar las complicaciones de los accesos venosos**  
JORGE REGADERA CARRASCO



# CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA VIDA

---

## ACCESIT |

- 254 - **El mejillón cebra, *Dreissena polymorpha*. Biología y modelización de la distribución por las aguas continentales de Cataluña**  
ITZIAR LARUMBE BELLOSTES
  
- 268 - **Análisis de las propiedades bactericidas de la plata**  
ADRIÁN GIL KORILIS, JAVIER GONZÁLEZ DE ECHÁVARRI ORBAIZ  
Y MIHAIL COJOCARU
  
- 282 - **CRISPR-Cas9 y el Déficit de Merosina: el camino hacia la cura**  
CLARA MUSACH VILLA, NÚRIA ESPINOSA CHECA  
Y EVA MARÍA FERRER BELTRÁN
  
- 294 - **Biomecánica aplicada a la natación: salida y viraje**  
ANNA FONTANALS JORBA



## O da la miúda: distribución, etología y fenología del lobo ibérico (*Canis lupus signatus*) en las proximidades del centro

/ PRIMER PREMIO

**AUTORAS** | MARÍA BOUSO POSADA, XIANA REGO FERNÁNDEZ Y ANA RUBAL SÁNCHEZ

**COORDINADOR** | ÓSCAR CHAO PENABAD

**CENTRO** | IES SAN ROSENDO

**CIUDAD** | MONDOÑEDO-LUGO

### RESUMEN |

Para obtener datos sobre la distribución y el comportamiento del lobo ibérico en el área de estudio (Sierra de O Xistral y estribaciones) se emplea una metodología diferente a los estudios previos realizados en la provincia de Lugo, donde los índices IKA no suponen una herramienta para confirmar la presencia de los grupos, sino un método previo al foto-trampeo de ejemplares con el que se obtienen datos más ajustados a la realidad y que permitirían valorar las tendencias poblacionales del *Canis lupus signatus* en la zona. Se ha logrado confirmar 5 manadas, (2 no localizadas hasta el momento) y otras 2 están pendientes de ser corroboradas como grupos independientes. En 3 de las confirmadas se observa la presencia de 1 único ejemplar subadulto y en otra ninguno, lo que corrobora la elevada dispersión de los individuos jóvenes en una zona altamente humanizada. La composición media de los grupos confirmados es de 4-5 lobos antes de los partos. En 2 de los grupos se ha podido asegurar la reproducción, con entre 1 y 4 cachorros. Según los resultados parece existir un brote de sarna que afecta a uno de los grupos y a 2 individuos periféricos, lo cual puede suponer un problema para las poblaciones en caso de extensión de la enfermedad. Esta información (junto a otras circunstancias) podría explicar un elevado número de ataques al ganado en el área de estudio antes de los partos de las yeguas (*Equus ferus atlanticus*). Igualmente hay pruebas que hacen sospechar de caza furtiva con ejemplares heridos o mutilados.



## ABSTRACT |

In order to obtain data on the distribution and behavior of the Iberian wolf in the study area (Mountains of O Xistral and surroundings), a methodology different from previous studies carried out in the province of Lugo is used where the IKA indexes do not represent a tool to confirm the presence of the groups, but a method prior to the photo-trapping of specimens with which more accurate data is obtained and that would allow to assess the population trends of the *Canis lupus signatus* in the area. It has been confirmed the existence of 5 packs, (2 never located before) and other 2 are pending to be corroborated as independent groups. In 3 of them the presence of a single subadult specimen is observed and in another none, which corroborates the high dispersion of young individuals in a highly humanized area. In 3 of the groups reproduction was confirmed (1-4 puppets). The average composition of the confirmed groups is 4-5 wolves before births. According to the results there seems to be an outbreak of scabies that affects one of the groups and 2 peripheral individuals, which can be a problem for the populations in case of the extension of the disease. This information (together with other circumstances) could explain a high number of attacks on livestock in the study area before mare births (*Equus ferusatlanticus*). There is evidence to suspect poaching with injured and mutilated specimens.



## 1. INTRODUCCIÓN

En este curso 2018/2019 decidimos embarcarnos en un ambicioso trabajo que llamamos “O da la miúda” en el que trabajamos con una especie siempre rodeada de polémica: el lobo ibérico. O DA LA MIÚDA (en castellano podría traducirse como “el de la lana fina”) es uno de los múltiples nombres “noa” que recibe el lobo en Galicia para evitar mencionarlo, especialmente durante la noche, ya que se creía que de hacerlo se atraía su presencia.

Propusimos realizar este trabajo como respuesta a la situación de persecución que vive la especie en nuestra zona, y tras comprobar la animadversión que existe hacia este animal por gran parte de la población local.

En este contexto, y ante los escasos y desactualizados estudios científicos realizados en la zona para conocer la distribución, abundancia y comportamiento del cánido, decidimos llevar a cabo dentro de nuestras posibilidades un trabajo de campo que arrojar luz sobre la situación real de la especie en nuestra comarca, poniendo fin a discusiones sin fundamento alrededor del lobo y aportando datos objetivos con una metodología exhaustiva.

El área de estudio abarca los ayuntamientos de Mondoñedo, Lourenzá, Abadín, Villalba, Alfoz y Muras, situados en la Serra do Xistral y en sus estribaciones.

## 2. ANTECEDENTES

El lobo ibérico ha sido objeto de numerosos estudios, sobre todo a partir de los años 80. En Galicia, a nivel de la provincia de Lugo encontramos pocas investigaciones salvo estudios llevados a cabo por empresas contratadas por la administración como A.RE.NA.(Llaneza y Ordiz, 2003). Son también escasas las que existen a escala comarcal, además de resultar inaccesibles por tratarse de informes inéditos en su mayoría.

En lo relativo a la distribución de la especie en el área de estudio, el trabajo de Llaneza y el censo realizado por la Xunta de Galicia en el período 2013-2015 (Xunta de Galicia, 2016) son los documentos accesibles que pueden aportar información relativamente reciente y de interés para este trabajo.

Sin embargo, ambos trabajos (al igual que la mayor parte de las investigaciones sobre el lobo ibérico en Galicia) emplean una metodología que puede inducir a errores a la hora de realizar una estima poblacional y conocer la distribución de este animal, basando parte de los resultados en encuestas e I.K.A. Este método en exclusiva es el que determina la confirmación de manadas en el 51% de los casos en el caso del censo de la Xunta de Galicia. De nuestra experiencia de campo y los estudios sobre el patrón de marcaje mediante heces (Barja, 2003) conocemos que, si bien una concentración de indicios señala una zona utilizada habitualmente por la especie, puede indicar una gran variedad de situacio-





nes: lugar de cría, límite de territorio, marcaje frente a perros... y en ocasiones no puede deducirse la existencia de un grupo individualizado en una zona, pues cabe la posibilidad de que dos áreas con un elevado IKA pese a estar separadas espacialmente por más de una decena de kilómetros, se correspondan con una única manada.

### 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis sobre la que trabajamos, por tanto, es que la información existente a día de hoy sobre el lobo ibérico en el área de estudio no se correspondería con la realidad. Esto se deduce de la escasez de información relativa a la zona donde se enmarca el proyecto, de la desactualización de la misma así como la metodología empleada en los trabajos disponibles, que creemos es mejorable y poco exhaustiva. Dado que se trata de una especie clave para la regulación de los ecosistemas, siendo muy perseguida, generando conflictos con la población local y que en Galicia puede ser cazada bajo determinadas circunstancias según el Plan de Gestión del Lobo (Xunta de Galicia, 2009), consideramos que los estudios científicos sobre la especie deben actualizarse permanentemente y realizarse con la metodología más eficaz posible.

Los objetivos que planteamos en este proyecto son:

- Revisar la metodología utilizada en los estudios existentes hasta el momento.
- Localizar el número de manadas de lobos existentes en las proximidades del centro.
- Conocer la composición de cada grupo en número de ejemplares y roles dentro de la manada.
- Estudiar sus desplazamientos y delimitar en la medida de lo posible sus territorios y las zonas de cría.
- Analizar la disponibilidad de presas en diferentes épocas del año.
- Valorar la relación con el ser humano: medidas preventivas existentes, caza ilegal y conocimiento de la especie entre la población.

### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.2. MATERIAL EMPLEADO

Para el desarrollo del presente proyecto empleamos diverso material:

- Para el trabajo de campo:
  - Herramientas para la biometría de rastros, cámaras de fototrampeo, material para la instalación y camuflaje de las cámaras, material óptico (durante los recorridos y esperas se emplean cámaras fotográficas, prismáticos y telescopios terrestres).



- Para el tratamiento de la información:
  - Se emplean herramientas como cuestionarios de Epicollect y aplicaciones como Mapas del IGN que permiten organizar y geolocalizar los rastros en los transectos y grabar el recorrido de los mismos, respectivamente.
  - Los datos obtenidos son volcados en la herramienta Google Earth Pro así como en Epicollect, lo que permite elaborar un sencillo SIG que posibilita interpretar sobre un mapa un gran número de variables e información.

### 4.3. METODOLOGÍA

Como se mencionó anteriormente, creímos necesario mejorar la metodología utilizada en los escasos trabajos previos sobre el lobo en la provincia de Lugo para conseguir información más exhaustiva sobre la situación real de la especie. Los pasos metodológicos se explican a continuación:

#### 4.3.1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN PREVIA

En las investigaciones publicadas con anterioridad sobre la población del *Canis lupus signatus* en el área de estudio podemos concluir que ambas coinciden en situar en la misma la presencia de 3 manadas, con 2 casos de reproducción confirmada en el año 2002 (Llaneza y Ordiz, 2003), calificándose como probable para un tercer grupo.

#### 4.3.2. ESTUDIO DE ATAQUES, MORTALIDAD, HÁBITAT Y AVISTAMIENTOS

Posteriormente se llevó a cabo una recopilación de datos sobre ataques atribuidos al lobo, de casos de mortalidad sobre la especie, información sobre el hábitat propicio y finalmente avistamientos por parte de vecinos. Todos los datos apoyados por fotografías tuvieron un mayor peso en la consideración para la realización de recorridos. Los datos fueron geolocalizados sobre un mapa empleando la herramienta Google Earth, incluyendo fotografías e información complementaria (fecha, hora, circunstancias concretas...).

#### 4.3.3. DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE RECORRIDOS

Una vez geolocalizados los datos éstos pueden ser interpretados sobre el mapa y al ser relacionados con el hábitat se diseñan recorridos para ser realizados preferentemente a pie. Estos trayectos iniciales servirán para la búsqueda de indicios.

#### 4.3.4. REALIZACIÓN DE RECORRIDOS PARA OBTENCIÓN DE INDICIOS Y NUEVAS RUTAS

A lo largo de los recorridos se presta atención a la presencia de los siguientes rastros: heces, rascaduras [imagen 1], huellas, depredaciones y carroñas.



Figura 01

Hembra alfa de uno de las manadas realizando un marcaje mediante rascaduras.



Los rastros más visibles y sencillos de reconocer son los excrementos, pese a contar con una amplia variedad de colores, y composición (pelos, huesos, material homogéneo...). [imagen 2]. Esto es debido a su tamaño y olor característico (G. Castellví, 2008). Los excrementos depositados por el lobo son utilizados como marcaje oloroso y visual, y su densidad aumenta en zonas clave como cruces de caminos, límites del territorio o zona reproductiva, siendo por tanto un buen indicador de la existencia de un grupo estable y reproductor (Barja, 2003).

Figura 02

Excremento de lobo casi exclusivamente constituido por pelo de caballo.



Es importante mencionar que estos indicios simplemente son considerados inicialmente como "atribuibles" a la especie, y tienen valor puestos en contexto y relacionados unos con otros. Únicamente el análisis genético de las heces permitiría confirmar su procedencia, pero debido al volumen de muestras y al coste de los trabajos sería imposible de abordar desde el centro escolar. Por tanto, este es un paso previo que aporta una información provisional.

A día de hoy se han recorrido un total de 565.47 km a lo largo de múltiples trayectos.

Figura 03

Distribución de indicios geolocalizados en un mapa.





Constantemente se diseñan nuevas rutas teniendo en cuenta la disposición y abundancia de indicios encontrados en los recorridos previos.

#### 4.3.5. INTERPRETACIÓN DE DATOS E INSTALACIÓN DE LAS PRIMERAS CÁMARAS

Una vez incorporados en un Sistema de Información Geográfica [imagen 3], los indicios obtenidos en cada zona deben ser interpretados e interrelacionados.

En este estudio también se tienen en cuenta los IKA, pero no se emplean como criterio para adjudicar grupos de manera definitiva, sino para escoger las mejores zonas y puntos clave donde serán instaladas las primeras cámaras de fototrampeo. Su cometido es en este paso confirmar que los indicios encontrados efectivamente se corresponden con *Canis lupus signatus*, a la vez que aportan ya información inicial sobre el número de ejemplares, dirección de movimiento, roles en el grupo...

#### 4.3.6. INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES Y DESPLAZAMIENTO DE CÁMARAS

En caso de confirmar la presencia de la especie mediante imágenes comienza la labor de planificación y construcción de la red de cámaras que debe obtener la información necesaria para el desarrollo de la investigación, analizando la dirección del desplazamiento de los individuos, la hora, el sexo de los ejemplares, sus roles en la manada o corroborar el éxito reproductivo (pareja alfa, adultos subordinados, jóvenes, cachorros, hembras con mamás,...). Igualmente, mediante las imágenes obtenidas principalmente de día se pueden identificar, lo que posibilita individualizar las manadas (evitando duplicaciones de grupos u omisión de alguna manada), conocer sus desplazamientos [imagen 4] y delimitar los territorios.

Las marcas del diseño “signatus” en las patas delanteras, el patrón del entrecejo, la coloración de la cola, el diseño de bigoteras, así como las heridas o defectos congénitos resultan de gran utilidad para poder diferenciar ejemplares. Individuos.

Figura 04

Pareja de lobo dirigiéndose hacia la zona de refugio al amanecer.





#### 4.3.7. ESPERAS Y ESCUCHAS SIN ESTIMULACIÓN DE AULLIDOS

De manera complementaria se realizan escuchas al atardecer sin estimulación de aullidos, para evitar alterar el comportamiento de los grupos o delatar su presencia en la zona. Igualmente se llevan a cabo esperas en las áreas donde se obtienen resultados positivos con los métodos comentados con anterioridad, siempre desde la distancia para no ser vistos por los animales y utilizando material óptico.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. NÚMERO Y LOCALIZACIÓN DE MANADAS

Hasta la fecha han sido localizados e individualizados 5 grupos en la zona de estudio, 2 de ellos nunca mencionado hasta el momento en los estudios consultados (Llaneza y Ordiz, 2003; Xunta de Galicia, 2016). 3 de las manadas coinciden con las localizaciones aproximadas indicadas en los censos anteriores realizados en la provincia. 1 grupo a mayores ha sido fotografiado solo durante un mes en una zona de caza compartida con otras manadas, y nunca más pudieron ser ubicados. Otros 2 grupos más están pendientes de confirmación, pues aunque la obtención de imágenes por fototrampeo hace sospechar de su existencia consideramos necesario probar que no son individuos desplazados de otros grupos o que se trata de ejemplares solitarios o divagantes, evitando así la duplicación de resultados.

### 5.2. COMPOSICIÓN DE LOS GRUPOS

Las manadas identificadas están compuestas por 4-6 individuos antes de producirse el parto de las lobas alfa, lo cual encaja con las predicciones consultadas en la bibliografía (Llaneza y Ordiz, 2003; Llaneza et al., 2009). Además de la pareja reproductora existen 1-2 adultos subordinados y 0-2 subadultos por grupo.

Es importante mencionar la observación de varios ejemplares que aparentemente padecen sarna. Dos de ellos actúan como periféricos, alimentándose de carroñas mientras que uno se trataría del macho alfa de uno de los grupos, que comienza a mostrar los signos de la enfermedad. También hay evidencias de 3 individuos con heridas graves en la zona inferior de las patas posteriores, todas ellas de características muy similares, lo cual hace sospechar la existencia de lazos, cepos, u otros métodos de caza furtiva.

### 5.3. TERRITORIOS Y DESPLAZAMIENTOS.

Se ha podido constatar la proximidad de las zonas de vida de estos 5 grupos, con separaciones que varían entre la mínima de 10 km, y un máximo de 30km. Para poder conocer con mayor exactitud los desplazamientos es necesario un mayor tiempo de estudio, pues se trata de una especie que puede recorrer decenas de km al día con territorios que pueden superar los 100km<sup>2</sup> (G. Castellví,



2008). Para comprender la capacidad del lobo de recorrer grandes distancias cabe mencionar que se ha detectado un ejemplar con una extremidad rota y con signos de padecer sarna en 3 localizaciones diferentes que distan entre sí aproximadamente 10 km en línea recta.

#### 5.4. REPRODUCCIÓN

Hacia el mes de mayo de 2019 comenzaron a dar a luz las lobas alfa de cada grupo. En los meses posteriores se pudo corroborar la reproducción en 2 de ellos, y establecer como probable la de otro. Las zonas de cría fueron localizadas en los tres casos. Hemos conseguido confirmar 4 crías en un grupo, mientras que en otro la hembra solo ha sacado adelante 1 cachorro.

#### 6. CONCLUSIONES

A la luz de los resultados obtenidos en el corto período de tiempo durante el que se han desarrollado los trabajos (aproximadamente 12 meses) se ve demostrada la eficacia de la metodología empleada. El método utilizado se muestra más eficaz ya que ha permitido constatar la presencia de al menos 2 grupos nuevos y poner en duda la existencia de 2 más. Además posibilita la recogida de una gran cantidad de información de gran interés a través de imágenes, algo muy difícil empleando otros métodos que serían mucho más invasivos, como el marcaje y radio-seguimiento de ejemplares. Utilizar los índices IKA como método principal puede llevar a obviar o duplicar grupos, pues algunos de ellos se encuentran muy próximos, separados por 5 km de distancia; así, la obtención de elevados IKA en esa área podría atribuirse a una misma manada, y no a 2 manadas separadas que marcan los límites de sus respectivos territorios.

En cuanto a la composición de los grupos, parece coincidir con la media establecida para los mismos antes de los partos, si bien dado el escasos número de subadultos observados, no parece adecuado establecer un promedio de 9-11 lobos por manada a la hora de realizar los censos (tal y como afirman la mayoría de autores consultados), pues este número se alcanzaría hipotéticamente



en un momento muy concreto del año, después de los partos, comprobando como los grupos están disgregados o compuestos por 4-5 individuos la mayor parte del año. La escasez de subadultos podría deberse a que se trata de un entorno fuertemente humanizado donde la actividad cinegética, las actividades deportivas, la construcción de infraestructuras (parques eólicos, autovía A-8) así como la destrucción del hábitat a favor de pastos y cultivos de eucalipto podrían determinar la dispersión de los ejemplares jóvenes. Esto parece no ocurrir en zonas con menor actividad humana dentro de la provincia, donde se han documentado manadas con hasta 11 individuos en invierno (Llaneza et al., 2009).

Además ha de tenerse en cuenta la mortalidad de ejemplares, donde la principal causa son los atropellos, algo ya observado para el resto de provincias gallegas (Llaneza y Ordiz, 2003; Llaneza et al., 2005, ). Aún así, el impacto de la caza ilegal o las muertes por trampas y veneno es muy difícil de valorar y probablemente sea superior según las informaciones recabadas.

Estos datos influyen y determinan la relación entre los lobos y el ganado extensivo que predomina en la zona de estudio (Llaneza et al., 1996; Necellas M., 2107). Las presas preferentes en las montañas donde abundan los caballos salvajes o garranos (*Equus ferus atlanticus*) son los potros (Bas López, 2016), y así se ha comprobado en el área de trabajo a la vista de los ataques y restos de depredaciones encontradas. Por otra parte, cabe destacar la casi inexistencia de medidas preventivas recomendadas (Comisión Europea, 2015) en las explotaciones ganaderas de la zona (sin vallados eficaces, mastines o recogida del ganado o ejemplares jóvenes durante la noche). Si a estas circunstancias sumamos una relativa abundancia del lobo, la debilidad de las manadas en invierno y la existencia de un brote de sarna en las poblaciones locales, todo ello provoca que el cánido tienda a abatir presas domésticas cuya caza les resulta mucho más sencilla, sobre todo hasta que no comienzan los partos de las yeguas en el mes de abril.

El presente trabajo de investigación lleva en marcha apenas 12 meses, tiempo en el que se han conseguido resultados muy positivos, pero resulta insuficiente para alcanzar todos los objetivos planteados. Para lograrlo es necesario completar la identificación de individuos y manadas y continuar con los trabajos de seguimiento de las ya localizadas con el fin de poder valorar las tendencias poblacionales de un modo lo más exhaustivo posible. Estudios a medio plazo se muestran fundamentales para una correcta gestión y conservación del lobo ibérico.





## 7. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Alonso P., M. Agulló, P. Sierra, F. G. Torre y M. Sánchez (1998). *Censo de efectivos reproductores de lobo no suroeste de Galicia en 1997. Evolución experimentada no periodo 1990-1997*. Informe inédito. 90 pp.
- Bárcena, F. (1976). *Censo de camadas de lobos en la mitad norte de la provincia de Lugo (año 1975) y algunos datos sobre la población de los mismos*. Bol. Est. Cent. Ecología, 5(9): 45-54.
- Bas López, S. (2016). *Dieta dos lobos dunha parte de Pontevedra: selección de presas e conservación*. BRAÑA, 14: 29-45.
- Comisión Europea. (2015). *La predación del lobo sobre el ganado vacuno. Caracterización del conflicto y propuestas para reducirlo*. Comisión Europea.
- Fagúndez, J.; Hermida, R.; Lagos, L.; (2017). *Brezales, lobos y caballos salvajes en Galicia*. Quercus, 337: 20-28.
- Barja, I. (2003). *Patrones de señalización con heces del lobo ibérico*. Etología, 11: 1-7.
- G. Castellví, I. (2008). *El rastro del lobo*. Antequera (Madrid), España. Equipo Sirius.
- Llanesa, L.; Fernández, A.; Nores, C. (1996). *Dieta del lobo en dos zonas de Asturias (España) que difieren en carga ganadera*. Doñana, Acta Vertebrata, 23 (2): 201-213.
- Llaneza, L.; Palacios, V.; Uzal, A.; Ordiz, A.; Sazatonil, V.; Sierra, P. Y Álvarez, F. (2005). *Distribución y aspectos poblacionales del lobo ibérico (Canis lupus signatus) en las provincias de A Coruña y Pontevedra*. Galemys, 17: 61-80.
- Llaneza, L.; Ordiz, A. (2003). *Distribución y aspectos poblacionales del lobo ibérico (Canis lupus signatus) en la provincia de Lugo*. Galemys, 15: 55-66.
- Llaneza, L. R. Herrador e E. J. García. (2008). *Seguimento do lobo nos Ancares Lucenses, 2007*. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Informe inédito. 39 pp.
- Llaneza L., E. J. García. e V. Palacios. (2009). *Seguimento do lobo nos Ancares Lucenses, 2008*. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Informe inédito. 39 pp.





Llaneza L., E. J. García e V. Palacios. (2010). *Seguimento do lobo nos Ancares Lucenses, 2009*. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia Informe inédito. 47 pp.

Llaneza L., E. J. García e V. Palacios. (2011). *Seguimento do lobo nos Ancares Lucenses, 2010*. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Informe inédito. 48 pp.

Llaneza L., E. J. García e V. Palacios. (2013). *Seguimento do lobo nos Ancares Lucenses, 2012*. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Informe inédito. 38 pp.

Necellas M., M. (2017). *Informe sobre a situación do lobo en Galiza*. ADEGA.

Palacios, V., L. Llaneza, e E. J. García. (2009). *Seguimento do lobo no Norte da provincia de Lugo, 2008-2009*. Encargado por la Consellería do Medio Rural. Xunta de Galicia. Informe inédito. 77 pp.

Xunta de Galicia, 2009. *Plan de Xestión do lobo*.

Xunta de Galicia, 2016. *Censo de lobo ibérico en Galicia. 2013-2014-2015*. Resumen.





## Efectos del herbicida glifosato a bajas concentraciones: alteraciones en oenocitos y ovarios de *Drosophila melanogaster*

---

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTOR** | JUAN SÁNCHEZ MATEOS

**COORDINADOR** | JESÚS MANJÓN SÁNCHEZ

**CENTRO** | IES MAESTRO GONZALO KORREAS

**CIUDAD** | JARAÍZ DE LA VERA-CÁCERES

### RESUMEN |

Tras constatar que no hay ningún estudio sobre los posibles efectos del glifosato a bajas concentraciones sobre los oenocitos, ni en *Drosophila melanogaster* ni en *Apis mellifera*, y empleando a *Drosophila melanogaster* como modelo, nos hemos planteado esclarecer si el glifosato a bajas concentraciones, unas 30000 veces inferior a la concentración de aplicación del producto en la dieta, influye en el estado fisiológico de las moscas y en su fertilidad. En vista de los resultados obtenidos debemos concluir que el herbicida causa importantes efectos sobre la morfometría de los oenocitos, produciendo una disminución clara del tamaño celular, y provocando una reducción del número de ovariolos por ovario.

### ABSTRACT |

We must emphasize that we have not found any studies on the possible effects of glyphosate at low concentrations on oenocytes, neither in *Drosophila melanogaster* nor in *Apis mellifera*. So, using *Drosophila melanogaster* as a model, we have decided to clarify whether glyphosate at low concentrations, 30,000 times lower than the concentration of application of the product in the diet, influences the physiology of the flies and their fitness. In the light of the results obtained, we must conclude that the herbicide causes important effects on the morphometry of the oenocytes, producing a clear decrease in cell size, and causing a reduction in the number of ovarioles per ovary.



## INTRODUCCIÓN

Tres años atrás, estando en el Segundo Ciclo de ESO, junto con mi compañera Claudia y el resto del equipo de investigación del IES Maestro Gonzalo Korreas de Jaraíz (Cáceres), coordinados por el mismo profesor que ahora guía mis pasos, realizamos un proyecto de investigación cuyo título corto es *Un Corazón de 7 Válvulas*. Consistió en un estudio acerca de la estructura y la mecánica in vivo del corazón de larvas de la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*). Nuestros objetivos se centraron en intentar arrojar un poco de luz sobre este asunto, al percatarnos de que poco se sabía realmente y muchas cosas de daban por supuestas.

Durante las numerosas sesiones de grabación del corazón, trabajábamos con una técnica de observación vital que nos rendía excelentes resultados. Permitía la observación, además del corazón, de muchos otros tipos de células que muy frecuentemente captadas en nuestras grabaciones. Entre estas se destacaban los conspicuos oenocitos, que observábamos formando grupos de 5 a 9 células visibles bajo la cutícula de la larva. Su reiterada visión estimuló nuestro interés y decidimos documentarnos acerca de este peculiar tipo celular. Pronto averiguamos que son células con un papel relevante en el metabolismo de los insectos, como ya veremos, y en un artículo que nos llamó poderosamente la atención (Cousin M et al. 2013) se describían los efectos de un herbicida, el paraquat, sobre los oenocitos de larvas de abejas.

Contemplamos entonces la posibilidad de realizar un estudio similar, también en abejas pero empleando otra sustancia diferente. Pronto nos dimos cuenta de que trabajar con larvas de abejas, teniendo que preparar el alimento tratado con la sustancia elegida para proporcionárselo directamente era algo inviable por la dedicación y el tiempo que se requería. Ello a pesar de que contábamos con la colaboración de un apicultor. Así pues, decidimos cambiar de organismo para llevar a cabo el trabajo que aquí se describe.

*Drosophila melanogaster* es uno de los modelos de invertebrados más empleados en investigación de la fisiología normal y patológica del Ser Humano. Infinidad de artículos y estudios han demostrado la analogía existente entre los mecanismos moleculares que regulan los procesos fisiológicos de este animal y los mamíferos.

Especialmente instructivo y esclarecedor para nosotros lo constituye el artículo de Berrak Ugur et al.(2016) en el que se describe la importancia del empleo de *Drosophila* como herramienta para ensayos de diversa índole sobre los variados aspectos de la fisiología humana. En esta revisión se presenta a los oenocitos como células muy similares a las células hepáticas humanas. Intervienen en el metabolismo de lípidos en colaboración con el cuerpo graso y en la detoxificación de sustancias. También en Gutiérrez E. et al. (2007) se establece su condición de células similares a las hepáticas de mamíferos y su importancia en



el metabolismo lipídico. Una completa descripción de la estructura y la función de los oenocitos en los diferentes grupos de insectos nos la proporcionan GF Martins y JM Ramalho-Ortigão (2012), que resultó ser de gran utilidad para nuestros fines.

En el ya mencionado artículo de Cousin M et al. (2013) se estudian los cambios de tamaño de estas células cuando larvas de abeja (*Apis mellifera*) eran expuestas a muy bajas concentraciones de un herbicida llamado Paraquat. La comercialización de este producto fue prohibida por sus efectos tóxicos para la salud. Se demuestra en dicho ensayo que el Paraquat altera el tamaño de los oenocitos, disminuyendo su tamaño y el de su núcleo, resultando muy perjudicial para las larvas de abejas. Hoy día el herbicida más empleado en España y en Europa. Nos pareció apropiado investigar sobre esta sustancia ampliamente empleada para erradicar malas hierbas.

El herbicida glifosato (N-fosfometilglicina, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>5</sub>P, CAS 1071-83-6). Es un herbicida de amplio espectro, no selectivo, desarrollado para la eliminación de hierbas y arbustos, en especial los perennes. Es el principio activo del herbicida llamado Roundup ( nombre comercial producido por Monsanto, cuya patente expiró en 2000). El uso del herbicida es objeto de controversia desde el punto de vista toxicológico y ambiental.

El 10 de agosto, un Tribunal de San Francisco (California, EE UU) condenó a Monsanto a pagar 289 millones de dólares a Diwan Johnson, un jardinero que aseguró que el popular herbicida de la multinacional, Roundup, le había provocado un cáncer terminal. Una condena sin precedentes que ha reactivado el antagonico debate sobre el glifosato en la Unión Europea (UE).

El pasado diciembre, la Comisión Europea (CE) renovó la autorización del glifosato durante cinco años concluyendo que la responsabilidad de su autorización final es de los países, que pueden decidir libremente permitir que los productos a base de esta sustancia circulen legalmente en sus territorios nacionales.

Si bien la Organización Mundial de la Salud (OMS) alertó en 2015 sobre los riesgos cancerígenos del glifosato, la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la Agencia Europea de Productos Químicos (ECHA) aseguraron después tener evidencias científicas para clasificar el herbicida, el más utilizado del mundo, como no cancerígeno.

Estudios científicos independientes señalan la necesidad de una reevaluación urgente del glifosato y sus productos relacionados. Estos estudios asocian la exposición al glifosato con una serie de efectos negativos en la salud humana y animal, incluyendo efectos a largo plazo o crónicos, entre los que podemos señalar efectos como disruptor endocrino, efectos mutagénicos o efectos sobre la fertilidad. Se trata de sospechas pero no aportan resultados concluyente.



El carácter mutagénico del glifosato a elevadas concentraciones en *Drosophila* ha sido ya establecido (Kale PG et al., 1995). Por otro lado, en la investigación de De Aguiar LM et al. (2106) se demuestra que el herbicida glifosato aumenta notablemente las defensas antioxidantes como respuesta al estrés causado por esta sustancia proporcionada a **altas concentraciones** –de 1g/l a 10 g/l- en la dieta de adultos de *D. melanogaster*.

Debemos destacar que no hemos encontrado ningún estudio sobre los posibles efectos del glifosato a **bajas concentraciones** sobre los oenocitos, ni en *Drosophila melanogaster* ni en *Apis mellifera*. Hacia ello encaminamos, pues, nuestros pasos. Consideramos que un estudio sobre los efectos a bajas concentraciones de esta sustancia sobre unas células tan importantes en el metabolismo como son los oenocitos pueden ser de gran interés dadas las circunstancias actuales.

Por otro lado, una cualidad, importantísima para la supervivencia, como es la fertilidad en los insectos, como se establece en numerosos libros y artículos, depende del número de ovariolas existentes en los ovarios. Ese número a su vez está influido por el ambiente en el que se desarrolla la larva, particularmente la calidad de la comida, la temperatura o la densidad larval. En *D. melanogaster*, el máximo número de ovariolas se alcanza a niveles óptimos de nutrición de la larva y a temperaturas medias (Shuker DM and Simmons LW, 2014). De la misma forma, la maduración de los folículos está determinado por condiciones hormonales (Buszczak M y Cooley L, 2000).

Hemos considerado oportuno incluir la posible influencia del glifosato en este aspecto pues, de nuevo, no encontramos referencias de los posibles efectos del glifosato como disruptor hormonal.

Llegados a este punto, modestamente, nos proponemos contribuir a aclarar estas cuestiones.

Nos planteamos el siguiente objetivo:

Esclarecer si el glifosato a bajas concentraciones en la dieta influye en el estado fisiológico de las moscas y en su fertilidad.

Nuestras hipótesis de trabajo son:

- El glifosato añadido en bajas concentraciones en la papilla nutricia (muy por debajo de la concentración de aplicación del producto) no afecta a la morfometría de los oenocitos de larvas de 3er instar (L3)
- El glifosato añadido en bajas concentraciones en la papilla nutricia (muy por debajo de la concentración de aplicación del producto) no afecta al número de ovariolas/ovario en hembras de la primera generación nacida en cultivos tratados.



## MATERIAL Y MÉTODOS

### 1. CULTIVOS TRATADOS.

A partir de la concentración de aplicación de 14 g/l de glifosato de la marca comercial Mérito (180 g/l) preparamos las diluciones empleadas para la iniciación de los cultivos. Los 6 cultivos fueron iniciados a partir de individuos adultos de *Drosophila melanogaster* de tipo salvaje. Fueron cultivados a 23°C entre los días en pequeños recipientes de cristal de 125 ml. En todos ellos se introdujeron 33 g de papilla nutricia hecha a base de puré de patata, levadura y plátano. En cada uno de ellos se añadió a la papilla 1 ml de la dilución preparada previamente de tal modo que la concentraciones de glifosato resultantes, en orden decreciente: 5.4 g/kg, 540 mg/kg, 54mg/kg, 5.4 mg/kg, 0.54 mg/kg y 0.0 mg/kg.

Todas estas concentraciones están por debajo de la concentración de aplicación (entre 3 y 30.000 veces)

Es reseñable que en el cultivo con la máxima concentración (5.4 g/kg) todos los adultos que iniciaron el cultivo desaparecieron y no hubo una primera generación. De la misma forma, conforme se aumenta la concentración disminuye la densidad de individuos en los cultivos, según pudimos comprobar con el paso de los días al avanzar el desarrollo.

### 2. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES Y PROCESADO.

Para la toma de las imágenes utilizamos la cámara de iPad acoplada al ocular (10X) de un microscopio de contraste de fases empleando el objetivo de 40X. Este tipo de microscopio es apropiado porque nos facilita mucho la observación de los tejidos vivos. El procesado para la mejora de contraste y definición facilita las labores posteriores.

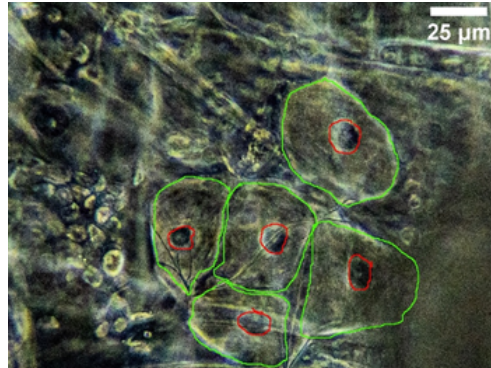
Utilizamos larvas de tercer instar (L3) errantes por las paredes del recipiente para realizar los registros *in vivo* de oenocitos. Es muy importante escoger larvas en este estadio pues nos garantiza que se encuentran en la misma fase del desarrollo, ya próximas a la pupación. Descartamos la observación post-mortem, evitando así el empleo de fijadores químicos que podrían alterar el volumen celular. Inmovilizamos las larvas mediante presión capilar, colocándolas en agua entre el porta y el cubre, según la técnica descrita en Nienhaus U et al. (2012). Resulta bastante laborioso orientar correctamente la larva, con pequeños movimientos en el cubre para hacerla rotar, y obtener un imagen óptima para el posterior análisis.

En la **figura 1** se ilustra el procedimiento para realizar las mediciones empleando el software de tratamiento digital de imágenes científicas **Fiji** (Schindelin, J.; Arganda-Carreras, I. & Frise, E. et al., 2012). Sobre cada una de las 12 imágenes de la muestra obtenida para cada concentración de glifosato en la papilla nutricia.



Figura 01

Un grupo de cinco oenocitos con el contorno celular y nuclear marcados, utilizados para estimar el área total y nuclear.



Previa calibración, se mide: **Área Celular Total (ACT)** y **Área nuclear (AN)**, en  $\mu\text{m}^2$

Se calcula: **Área citoplasmática (ACIT) = ACT - AN**, en  $\mu\text{m}^2$  y **La Ratio Nuclear (NCR) = AN/ACIT**

Para el recuento de ovariolas /ovario se extrajeron los ovarios de hembras de primera generación sacrificadas al ser sometidas a bajas temperaturas. La disección y posterior separación de ovariolas se realizó mediante estereomicroscopio de un modo similar al descrito por Weil, T. T., Parton, R. M., Davis, I (2012), empleando solución Ringer para estabilizar las ovariolas. La muestra pretendía ser de 10 pares de ovarios, pero ello no fue posible en las concentraciones más altas (sólo 6 pares) debido al descenso del número de efectivos. Para la tabulación de los datos en Excel introdujo la mitad del número de ovariolas por cada pareja, debido a que se montaban dos ovarios por preparación para su recuento al microscopio.

### 3. MUESTRAS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las muestras a analizar se obtienen midiendo dos grupos de 5 oenocitos por cada uno de 6 individuos L3 recolectados en cada una de las 5 (la de 5,4 g/l se descarta) concentraciones de glifosato empleadas en los cultivos. Resulta así **n = 60** para cada caso. Los datos son tabulados, calculados, representados gráficamente y analizados mediante Excel (2016). Se chequea la normalidad de cada distribución previa a la realización de Prueba t de Student para el correspondiente contraste de hipótesis.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. MORFOMETRÍA DE OENOCITOS DE LARVAS L3

En el análisis estadístico se utilizaron los datos, resultantes de las mediciones y los calculados para las mencionadas variables analizadas, **área celular total,**

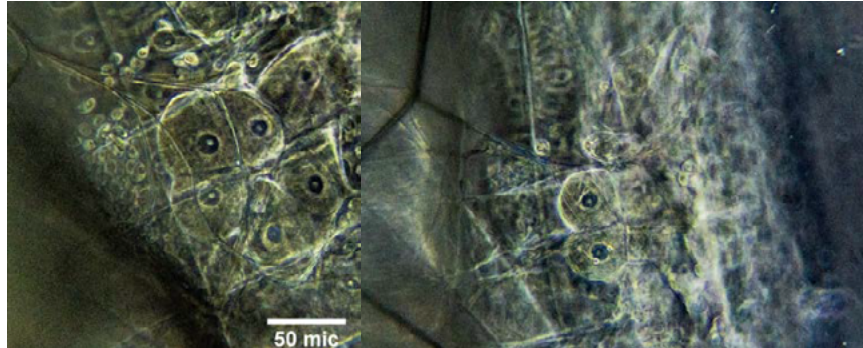




**área nuclear, área citoplasmática y ratio nuclear**, para cada uno de los cultivos del ensayo correspondientes a cada una de las concentraciones de glifosato empleadas en el ensayo.

Figura 02

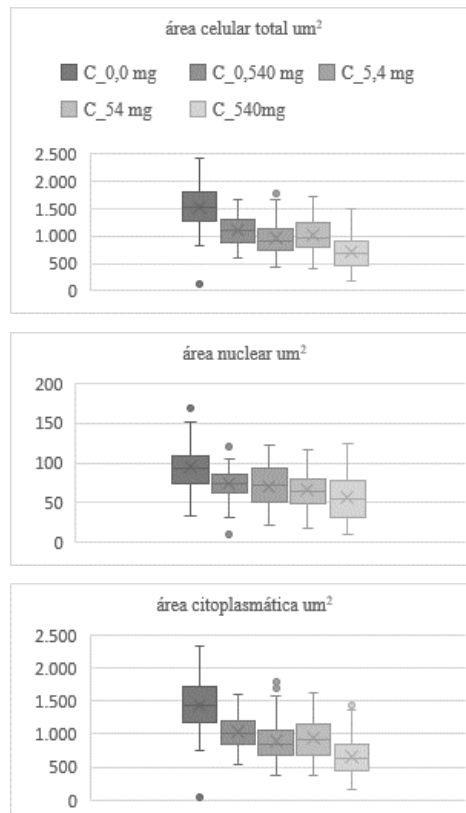
Derecha un grupo de oenocitos representativo de larvas L3 pertenecientes al grupo de control (0,0 mg/kg de glifosato)-media área celular = 1519  $\mu\text{m}^2$ . Izquierda: otro grupo de oenocitos representativo de larvas L3 del cultivo tratado con 0,540 mg/kg de glifosato -media área celular = 1096,6  $\mu\text{m}^2$ -



La **figura 2** muestra unas imágenes representativas de grupos de oenocitos correspondientes a larvas sin tratar (0,0 mg/Kg) y tratadas con la menor de las concentraciones empleadas (0,540 mg/kg). Las diferencias de tamaño entre ambos son visualmente apreciables y anticipan los resultados de las pruebas estadísticas que a continuación exponemos.

Figura 03

Derecha un grupo de oenocitos representativo de larvas L3 pertenecientes al grupo de control (0,0 mg/kg de glifosato)-media área celular = 1519  $\mu\text{m}^2$ . Izquierda: otro grupo de oenocitos representativo de larvas L3 del cultivo tratado con 0,540 mg/kg de glifosato -media área celular = 1096,6  $\mu\text{m}^2$ -



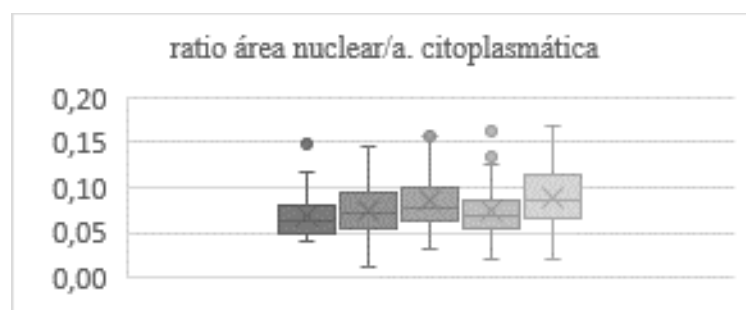


En la **figura 3** se muestran las gráficas de contraste de hipótesis correspondientes a las tres variables analizadas, **área celular**, **área nuclear** y **área citoplasmática**. Hemos centrado el contraste en comprobar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los oenocitos del cultivo no tratado y los del tratado con la concentración más baja de glifosato en la papilla nutriticia. Descartado el Análisis de la Varianza por no cumplir las condiciones, en los tres casos hemos empleado para el contraste de hipótesis paramétrico la prueba t de Student con un nivel de significación bastante exigente (alfa = 0,0005). En los tres casos debemos rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias. Las diferencias son estadísticamente muy significativas (p-valor < 0,00001), indicando que la presencia de glifosato en el medio nutritivo, incluso baja concentración, provocan un efecto medible en los oenocitos del ensayo. Una concentración que, recordemos, es unas 30.000 veces inferior a la dosis empleada en la aplicación del producto comercial.

Como es obvio, todos los demás tratamientos incrementan el efecto. Sin embargo, parece ser más importante la simple presencia del agente químico para producir este efecto que el aumento de su concentración. Tenemos que añadir, por otro lado, los claros indicios de que toda la fisiología se ve comprometida al comprobar que en las concentraciones más elevadas vemos un incremento ostensible en la duración de los estadios de desarrollo de la mosca. Este viene a ser de 1 a 2 días en las larvas y pupas de la primera generación y de hasta 4 días en las de la segunda generación. Además, con una concentración de 5,4 g/kg, que es 3 veces inferior a la de aplicación, se causó la muerte de los parentales, según parece. Con todo ello, no era propósito del presente estudio indagar sobre los efectos diferenciales que podría tener dicha sustancia los oenocitos a las distintas concentraciones del ensayo ni tampoco sobre qué significado pueda tener esta atrofia de oenocitos. Simplemente constatar si esta sustancia alteraba o no el tamaño de estas células, tal y como ya se ha dicho y conviene recalcar.

Figura 04

Gráfico de cajas mostrando la distribución de la ratio nuclear de cada una de las 60 células analizadas en cada uno de los cultivos tratados. Dado que la distribución de los datos correspondientes a 0,0 mg/kg no es normal –incluso transformándolos– no es posible la prueba t. Sin embargo, hay indicios de un aumento de la ratio al incrementarse la concentración.



En cuanto a cómo se ve afectada la ratio área nuclear / área citoplasmática la **figura 4** resume perfectamente los resultados obtenidos. Debido a que la distribución de los datos correspondientes se aleja bastante de la normalidad y no es posible realizar la prueba t con garantías suficientes. Según esto el valor de la ratio va en aumento al incrementar la concentración de glifosato. Es un indicio



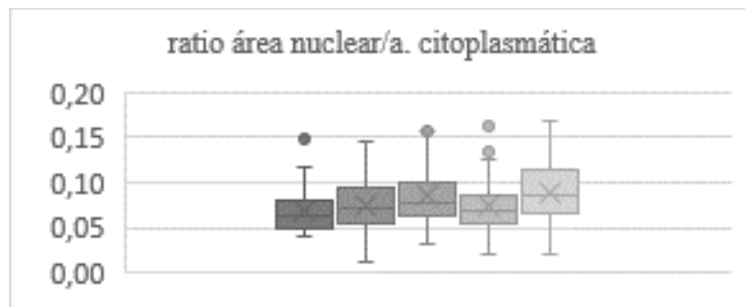
que no debería ser ignorado y que merece ser investigado implementando mejoras en el protocolo experimental.

## 2. NÚMERO DE OVARIOLAS / OVARIO EN HEMBRAS DE PRIMERA GENERACIÓN.

La estadística de los resultados se recoge en la **figura 5** que se basa en los datos experimentales. En esta se muestran los datos originales de la muestra de ovarios que oscila entre los 10 pares de las concentraciones nulas o más bajas hasta los 6 pares de las muestras obtenidas de individuos de primera generación expuestos las concentraciones más altas. Una vez comprobada la normalidad de la distribución, se pudo realizar la prueba t de Student para igualdad de medias de las muestras correspondientes a 0,0 mg/Kg y la de menor concentración 0,540 mg/kg. Con un nivel de significación  $\alpha = 0,0005$  el test de nuevo rechaza la hipótesis nula ( $p < 0,001$ ) de igualdad de medias en favor de la alternativa. Por tanto, parece estadísticamente significativa que la presencia de glifosato en el medio causa un descenso en el número de ovariolas/ovario en el ensayo realizado.

Figura 05

Gráfico de cajas mostrando la distribución del número de ovariolas / ovario de cada una de los 6 a 10 pares de ovarios analizados en cada uno de los cultivos tratados. La diferencia de medias es estadísticamente significativa ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ).



De nuevo comprobamos que al aumentar la concentración de glifosato la reducción del número de ovariolas/ovario es más acusada, como queda patente en la gráfica. Esclarecer las diferencias en la respuesta entre las muestras procedentes de distintas concentraciones empleadas no era el propósito de este estudio.

Es llamativo el hecho de que el número de hembras de primera generación que se pudo utilizar para la extracción de ovarios procedentes de los cultivos expuestos a las concentraciones más altas del ensayo era inferior al número de las procedentes de los cultivos de más bajas concentraciones o ausencia de la sustancia probada. De ahí que la muestra se reduzca en estos casos. Esta reducción en el número de efectivos se acentuó en la segunda generación. De hecho en el cultivo expuesto a 540 mg/Kg ya no hubo segunda generación.

## 3. CONCLUSIONES

Debemos concluir que creemos cumplido nuestro objetivo principal de contribuir a aclarar si el glifosato a bajas concentraciones en la dieta influye en el



estado fisiológico de las moscas y en su fertilidad.

Con los resultados obtenidos debemos rechazar ambas hipótesis de trabajo enunciadas al comienzo de nuestra investigación sobre este particular y por tanto debemos aceptar las hipótesis alternativas:

- El glifosato añadido en bajas concentraciones en la papilla nutricia (30000 veces inferior a la concentración de aplicación del producto) **sí afecta a la morfometría de los oenocitos** de larvas de 3er instar (L3), produciendo una disminución clara del tamaño del tamaño celular en su conjunto, tanto del núcleo como del citoplasma. Es posible, además, que esta atrofia afecte en mayor medida al núcleo.
- El glifosato añadido en bajas concentraciones en la papilla nutricia (30000 veces inferior a la concentración de aplicación del producto) **sí afecta al número de ovariolas/ovario** en hembras de la primera generación nacida en cultivos tratados, de tal modo que este valor se reduce de manera estadísticamente significativa.

Cabe reflexionar ahora sobre el significado y la repercusión fisiológica que pueda tener esta atrofia celular, provocada por el glifosato, que afecta a los oenocitos. Parece lógico pensar que la importante función metabólica de los oenocitos se ve comprometida. El hecho de que ésta disminución de tamaño pueda afectar, según los mencionados indicios, en mayor grado al núcleo es compatible con el carácter mutágeno ya evidenciado por Kale PG et al.(1995). Alteraciones celulares que también son compatibles con el estrés oxidativo y el aumento de las defensas antioxidantes investigadas por de Aguiar LM et al. (2106), en este caso con exposición de individuos adultos de ambos sexo a altas concentraciones (de 1g/L hasta 10 g/L). Que las concentraciones tan bajas como las empleadas en este ensayo provoquen alteraciones medibles, tanto en los oenocitos como en el número de ovariolas –reduciendo su fertilidad y, por tanto, su *fitness*- es cuando menos preocupante. Tampoco conviene soslayar esa demora en el desarrollo que hemos detectado. Son concentraciones bajas pero que pueden estar presentes en el suelo y en el agua, afectando a la fauna del suelo en una medida que desconocemos. También a polinizadores como las abejas e incluso a las poblaciones humanas.

Comprendemos que se trata de una modesta investigación basada en un ensayo pero creemos que no debe ser ignorada por este motivo. Es patente que, obviamente, habría que ampliar y repetir la investigación para confirmar los resultados obtenidos. En ello estamos trabajando ahora, disminuyendo las concentraciones del producto en la dieta y ampliando la muestra para aumentar la resolución del análisis.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente el apoyo constante de la directiva del IES Maestro Gonzalo Korreas, especialmente a Miriam García, directora, y Ana Navajas, secretaria. También a la Consejería de Educación y Empleo JUNTAEX, por la



donación del microscopio de contraste de fases empleado en estas investigaciones. De modo particular, agradezco a mi profesor coordinador su inestimable ayuda.

## REFERENCIAS

- Buszczak, M., & Cooley, L. (2000). Eggs to die for: cell death during *Drosophila* oogenesis. *Cell Death & Differentiation*, 7(11), 1071-1074.
- Cousin, M., Silva-Zacarin, E., Kretzschmar, A., El Maataoui, M., Brunet, J. L., & Belzunces, L. P. (2013). Size changes in honey bee larvae oenocytes induced by exposure to paraquat at very low concentrations. *PLoS One*, 8(5).
- de Aguiar, L. M., Figueira, F. H., Gottschalk, M. S., & da Rosa, C. E. (2016). Glyphosate-based herbicide exposure causes antioxidant defence responses in the fruit fly *Drosophila melanogaster*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 185, 94-101.
- Gutierrez, E., Wiggins, D., Fielding, B., & Gould, A. P. (2007). Specialized hepatocyte-like cells regulate *Drosophila* lipid metabolism. *Nature*, 445(7125), 275-280.
- Kale, P. G., Petty Jr, B. T., Walker, S., Ford, J. B., Dehkordi, N., Tarasia, S., ... & Sohni, Y. R. (1995). Mutagenicity testing of nine herbicides and pesticides currently used in agriculture. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 25(2), 148-153.
- Martins, G. F., & Ramalho-Ortigao, J. M. (2012). Oenocytes in insects. *Invertebrate Survival Journal*, 9(2), 139-152.
- Nienhaus, U., Aegerter-Wilmsen, T., & Aegerter, C. M. (2012). In-vivo imaging of the *Drosophila* wing imaginal disc over time: novel insights on growth and boundary formation. *PLoS One*, 7(10).
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., ... & Tinevez, J. Y. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature methods*, 9(7), 676-682.
- Shuker, D. M., & Simmons, L. W. (Eds.). (2014). *The evolution of insect mating systems* (No. 27). Oxford University Press, USA.
- Ugur, B., Chen, K., & Bellen, H. J. (2016). *Drosophila* tools and assays for the study of human diseases. *Disease models & mechanisms*, 9(3), 235-244.
- Weil, T. T., Parton, R. M., & Davis, I. (2012). Preparing individual *Drosophila* egg chambers for live imaging. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (60), e3679.



# Estudio del gen *SISKOR* en plantas de tomate mediante edición génica (CRISPR-Cas9) y herramientas bioinformáticas

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTORAS** | ANA HERVÁS ARACIL, ARACELI MARTÍN GARCÍA Y ANA VIVANCOS MELENCHÓN

**COORDINADOR** | JOSÉ MARÍA CABALLERO FERNÁNDEZ-RUFETE

**CENTRO** | IES JUAN CARLOS I

**CIUDAD** | MURCIA

## RESUMEN |

El gen *SISKOR*, de plantas de tomate, codifica para canales de  $K^+$ . Los objetivos de este trabajo son: (1) evaluar los cambios inducidos por CRISPR-Cas9 en el gen *SISKOR* y seleccionar aquellos que lo inactivan; (2) estudiar los efectos de la inactivación en el funcionamiento de la planta, y (3) realizar un análisis filogenético con secuencias homólogas al gen *SISKOR* y a sus productos.

Para la inactivación del gen se utilizó el sistema CRISPR-Cas9. Para estudiar los efectos de la inactivación medimos peso seco en plantas *SISKOR* y Wild-Type, y  $[K^+]$  de cada órgano y de la savia. Para el análisis filogenético se realizaron varias búsquedas en la base de datos del NCBI, y con las secuencias obtenidas se construyeron dendrogramas.

En cuanto a los resultados, se comprobó la inactivación del gen. Encontramos diferencias entre el peso seco de plantas WT y *SISKOR*. Las diferencias en las  $[K^+]$  solo fueron significativas en la hoja. Concluimos que la proteína *SISKOR* contribuye al transporte de  $K^+$  hacia la parte aérea, pero deben de existir otros sistemas de transporte, pues las diferencias son pequeñas.

Respecto al análisis filogenético, en los dendrogramas se refleja el parentesco evolutivo asumido en las clasificaciones actuales, pero a la vez se ponen de manifiesto numerosas duplicaciones génicas.



## ABSTRACT |

*SISKOR* is a gene, found in tomato plants, which codifies for  $K^+$  channels. The aims of this study are: (1) to evaluate changes induced by CRISPR-Cas9 in *SISKOR* gene and select those which lead to the gene inactivation; (2) to study the effects of *SISKOR* inactivation in the plant function, and (3) to carry out a phylogenetic analysis with sequences homologous to *SISKOR* gene or its products.

For gene inactivation, CRISPR-Cas9 techniques were used. To study inactivation effects we measured dry weight in *SISKOR* and Wild-Type (WT), and  $[K^+]$  in each organ and in sap. For phylogenetic analysis several searches were carried out in NCBI databases, and dendrograms were built with the sequences obtained.

As to results, *SISKOR* inactivation by means of CRISPR-Cas9 was confirmed. There were differences in dry weight between *SISKOR* and WT plants. Differences in  $[K^+]$  were only significant in leaves. Therefore we conclude that *SISKOR* protein helps  $K^+$  transport to the aerial part, but other transport system but exist since differences are small.

Referring to phylogenetics analysis, dendrograms reflect evolutionary relationships as assumed in present classifications but at the same time numerous gene duplications are shown.



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente trabajo se refiere principalmente al gen *SISKOR*, que codifica un canal de  $K^+$  que se encuentra en plantas de tomate, aunque hay genes homólogos en otras especies de plantas. Hemos estudiado este gen mediante técnicas de edición génica (CRISPR-Cas9) y técnicas bioinformáticas aplicadas al estudio de las relaciones filogenéticas.

### 1.1 CRISPR-CAS9

Desde 2013, año en que se puso en marcha (Doudna & Charpentier, 2014), la tecnología CRISPR-Cas9 es la herramienta más utilizada en la edición del genoma (Genscript, 2016), pues consigue cortar la doble cadena de DNA en el punto adecuado mediante las nucleasas Cas dirigidas por RNA. Posteriormente, los mecanismos celulares de reparación pueden actuar uniendo de nuevo las cadenas, con dos posibles resultados: (1) la inactivación del gen para estudiar su función; (2) un gen funcional con cambios de información y en los productos de su expresión.

### 1.2 GEN Y PROTEÍNA *SISKOR*

La proteína SKOR pertenece a la familia Shaker de canales de  $K^+$ , y lleva a cabo el transporte de  $K^+$  desde el citosol al exterior de la célula a través de complejos tetaméricos. Su papel en el transporte de  $K^+$  se describió inicialmente en *Arabidopsis thaliana*; en esta especie, contribuye de forma notable a la secreción de  $K^+$  a los vasos del xilema y, por tanto, participa en el transporte de  $K^+$  hacia la parte aérea.

Se sabe que los canales SKOR (y otros similares) son proteínas que constan de 4 subunidades, por las que el  $K^+$  atraviesa la membrana (Véry et al., 2014). Cada subunidad tiene 7 segmentos transmembrana.

Existen en plantas varios tipos de canales de  $K^+$  regulados por voltaje; sus relaciones filogenéticas han sido abordadas en diversos estudios utilizando técnicas de bioinformática (Nieves-Cordones & Gaillard, 2014; Véry et al., 2014; Riedelsberger et al., 2015). Los canales considerados Shaker (GORK, SKOR) aparecen bastante separados de otros tipos en los dendrogramas elaborados, y se ha sugerido que la diversificación de los canales de este tipo ocurrió antes de la separación de monocotiledóneas y dicotiledóneas.

Gracias a la secuenciación del genoma de las plantas de tomate, se ha podido identificar un gen que codifica una proteína homóloga a SKOR, *SISKOR* (Sl: *Solanum lycopersicum*). Este gen se encuentra en el cromosoma 11 y consta de 2973 pares de bases; sus exones contienen una secuencia codificadora de 2490 nucleótidos, que da lugar a una proteína de 829 aminoácidos.





### 1.3 BIOINFORMÁTICA Y ESTUDIOS FILOGENÉTICOS

Muchos estudios filogenéticos se basan en comparaciones de secuencias de aminoácidos o secuencias de nucleótidos de distintas especies. Hemos estudiado las relaciones entre las secuencias de nucleótidos y de aminoácidos del gen *SISKOR*, o genes similares, en distintas especies, y las similitudes se pueden atribuir, como hemos dicho, a afinidades filogenéticas entre las especies. Asimismo que a mayor parentesco, más similitud en las secuencias de nucleótidos y aminoácidos.

Se han publicado muchos estudios sobre filogenia de plantas en los que se utilizan técnicas de bioinformática; en APG IV (2016) se integran los resultados de numerosos trabajos de este tipo para actualizar la clasificación de angiospermas en órdenes y familias. Se trata de un estudio útil para nuestros propósitos, ya que nos permitirá comprobar si los resultados obtenidos al comparar nuestras secuencias de nucleótidos y aminoácidos son coherentes con la clasificación actual de las angiospermas.

### 1.4 OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo son los siguientes:

1. Provocar cambios en la secuencia de nucleótidos del gen *SISKOR* mediante CRISPR-Cas9; evaluar los cambios inducidos y seleccionar aquellos que inactivan el gen (mutaciones knock-out).
2. Conocer cómo afecta la falta de la proteína *SISKOR* al funcionamiento global de la planta.
3. Obtener y analizar datos (secuencias) del gen *SISKOR* y genes homólogos que puedan estar presentes en diversas especies de angiospermas, así como de los mRNA correspondientes y las proteínas que codifican. La comparación de secuencias podrá proporcionar información sobre relaciones filogenéticas de las plantas y sobre la evolución de los genes similares a *SISKOR*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 ESPECIES UTILIZADAS

La especie utilizada ha sido el tomate (*Solanum lycopersicum*), concretamente la variedad Micro-Tom. Su tamaño es menor debido a una mutación presente en los genes *dwarf*, y su ciclo vital es más rápido. Por estas razones, es una variedad muy usada en los laboratorios, pues agiliza así el proceso de experimentación. En nuestro trabajo se utilizaron dos tipos de planta de esta variedad: Wild-type (tipo silvestre) y plantas con el gen *SISKOR* inactivado (plantas *SISKOR*).



## 2.2 INACTIVACIÓN DEL GEN

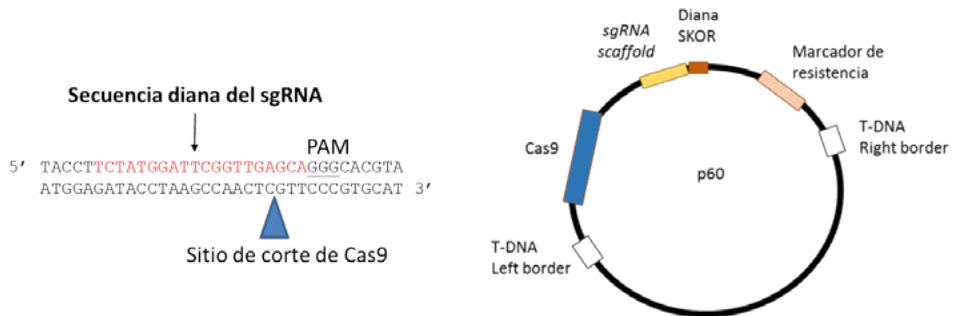
Para editar genéticamente las plantas de tomate (variedad Micro-Tom), en primer lugar se eligió una secuencia de DNA corta (20 pb) que permitiese dirigir a Cas9-gRNA al gen *SISKOR*. Esto se llevó a cabo a través del portal Breacking-Cas. Seleccionamos una secuencia que se encontraba en el exón 4 del gen *SISKOR*, pues era la que tenía menos probabilidad de cortar en sitios inespecíficos (“off-targets”) (Fig.1). Se sintetizó DNA con esta secuencia a través de una empresa privada, se ligó en un plásmido de entrada (llamado p59) y se introdujo en *Escherichia coli* por electroporación. La inserción se comprobó mediante PCR seguida de electroforesis.

El paso siguiente es transferir el gen que codifica el gRNA, con nuestro inserto de 20 pb del gen *SISKOR*, a un plásmido de expresión (Fig.1). Este plásmido de expresión, que contiene también la secuencia de DNA que codifica Cas9, se inserta en *Agrobacterium tumefaciens* mediante electroporación.

Mediante un protocolo de transformación genética realizado por una empresa externa, *Agrobacterium* introduce en el genoma del tomate un segmento de T-DNA que permitirá la expresión de gRNA y de Cas9 en las células de la planta.

Figura 01

Secuencia diana (20 pb) que dirige a Cas9 para que corte en un punto del exón 4 del gen *SISKOR*, y plásmido de expresión que se inserta en *Agrobacterium*.



DNA que permitirá la expresión de gRNA y de Cas9 en las células de la planta.

## 2.3 COMPROBACIÓN DE LOS EVENTOS DE EDICIÓN GÉNICA

Para saber si se habían producido mutaciones en el gen *SISKOR*, se llevó a cabo un genotipado a partir de los cotiledones del tomate. Tomamos muestras de 6 plantas (3 wild-type y 3 *SISKOR*). Para identificar los eventos de edición génica, se amplificó por PCR un fragmento de DNA del gen *SISKOR* (~1Kb) y el producto purificado se secuenció en una empresa privada. Los cromatogramas de la secuenciación se analizaron en el portal CRISP-ID. Para estudiar la función de *SISKOR*, se seleccionaron aquellas plantas que portaban mutaciones que alteraban la fase de lectura de *SISKOR* y que por tanto daban lugar a una proteína inactiva (se comprobó que eran mutantes “knock-out”).



## 2.4 EFECTOS DE LA INACTIVACIÓN

Las plantas fueron cultivadas en medio hidropónico Hoagland. Tras 14 días de cultivo, obtuvimos el peso fresco y seco de hoja, tallo y raíz, tanto de plantas WT como de *SISKOR*. Realizamos una digestión ácida del material vegetal de la cual se obtuvo la  $[K^+]$  de cada órgano. Para ello tomamos 100 g de cada muestra, previamente molida, y las introducimos en los tubos digestores, a los que añadimos 3 mL de mezcla nítrico-perclórica en una disolución. Tapamos los tubos y dejamos reposar las muestras durante una noche con las especificaciones en el programa para conseguir una correcta digestión. En otro experimento, se recolectó la savia de plantas a las que se les realizó un corte a nivel del tallo. Esta savia era principalmente savia xilemática, que se diluyó y se empleó para comparar las  $[K^+]$  en WT y *SISKOR*.

## 2.5 OBTENCIÓN Y COMPARACIÓN DE SECUENCIAS (ANÁLISIS FILOGENÉTICO)

En las bases de datos del NCBI se llevaron a cabo varias búsquedas que proporcionaron series de registros que se analizaron posteriormente. En este trabajo sólo consideraremos dos de esas búsquedas.

1. Partimos del registro XP\_004250206.1, que corresponde a la proteína *SISKOR* de *Solanum lycopersicum*. Se llevó a cabo *Blastp*, con las especificaciones por defecto excepto las siguientes: “Max target sequences” (500); “Matrix” (Blossum80) y “Expect threshold” (1e-18). Las secuencias de aminoácidos obtenidas se analizaron con MEGAX, llevándose a cabo alineamiento, y elaboración de dendrogramas con las secuencias alineadas (mediante el procedimiento de *Minimum Evolution*). Para evaluar los dendrogramas se utilizó el test Bootstrap (500 repeticiones).

3. Partimos del mismo registro que en el punto 2 (XP\_004250206.1). Se realizó *Blastp* con las especificaciones señaladas, excepto “Expect threshold”, que se fijó en 1e-30. El organismo se restringió a “*Solanaceae*”, obteniéndose así secuencias correspondientes a proteínas de solanáceas. Se alinearon y se construyó un dendrograma mediante *Maximum Likelihood*, evaluado mediante el test Bootstrap con 50 repeticiones.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

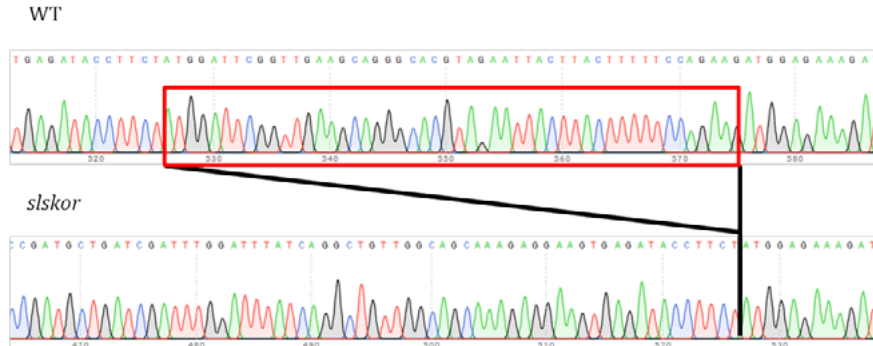
### 3.1 INACTIVACIÓN DEL GEN Y COMPROBACIÓN

Los cromatogramas obtenidos del genotipado de las plantas transformadas mostraron que se habían producido eventos de edición génica en el sitio esperado (Fig.2). Se seleccionó una línea de plantas de tomate en las que las dos copias de *SISKOR* se encontraban inactivadas.



Figura 02

Cromatograma:  
Comparación entre alelos  
WT y modificado por una  
delección de 49 pb.



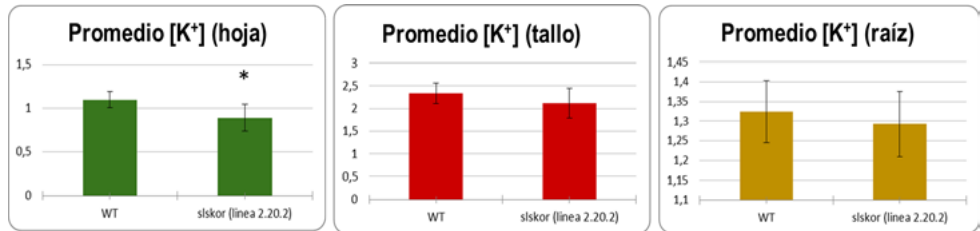
### 3.2 EFECTOS DE LA INACTIVACIÓN DEL GEN

Durante el estudio de los efectos de la inactivación, observamos diferencias a nivel de peso seco entre plantas WT y *SISKOR*, estas últimas de menor tamaño.

Por otro lado, las diferencias registradas en las  $[K^+]$  no fueron estadísticamente significativas en la raíz o tallo, pero sí en la hoja (Fig.3).

Figura 03

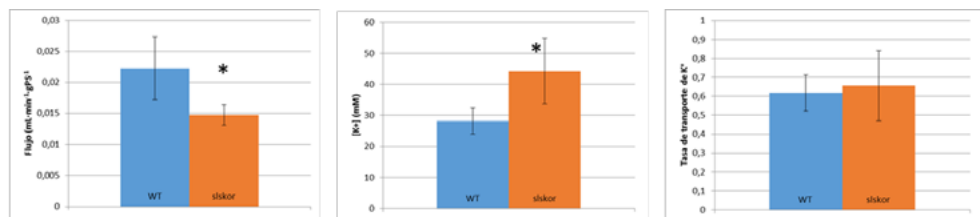
Promedio de  $[K^+]$  (mmol/gPS) en las distintas partes de la planta, comparando WT y *SISKOR*. PS: peso seco. \*: Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).



En cuanto al análisis de la savia bruta, el mutante *SISKOR* produce menos volumen de exudado. Puede influir que la raíz tenga un menor tamaño y, por tanto, pueda transportar menos cantidad de savia hacia las hojas. En cambio, la  $[K^+]$  en la savia es mayor en plantas *SISKOR* que en WT. De esta forma, en el mutante *SISKOR* parece que la mayor  $[K^+]$  puede compensar el menor volumen de exudado, dando lugar a tasas de transporte muy similares a WT (Fig.4).

Figura 04

Promedio de flujo,  $[K^+]$  en el exudado y tasa de transporte de  $K^+$  ( $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{gPS}^{-1}$ ). PS: peso seco. \*:  $p < 0,05$





### 3.3 ANÁLISIS FILOGENÉTICO

#### 3.3.1 SECUENCIAS DE PROTEÍNAS DE ANGIOSPERMAS

Se obtuvieron 500 secuencias de aminoácidos de angiospermas, el límite fijado. La mayoría correspondían a canales SKOR, aunque había también otros canales de potasio, e incluso proteínas hipotéticas o de función desconocida. En la figura 5 se representa el dendrograma de consenso obtenido por *Minimum Evolution*; suponemos que el de *Maximum Likelihood* será muy similar, pero el esfuerzo computacional que requiere nos ha impedido elaborarlo. Se ha dividido la figura en tres partes. En la parte A están representadas numerosas familias de dicotiledóneas. Los representantes de cada familia están agrupados, y separados de otras familias. Las relaciones en el nivel de orden también se ponen de manifiesto en general, así como otras de grado superior: la agrupación de *Solanales* y *Lamiales*, la de *Asterales* y *Apiales*, y la de *Ranunculales* y *Proteales* son ejemplos de esto último.

Figura 10

Dendrograma construido con las 500 secuencias de aminoácidos obtenidas mediante *Blastp*.

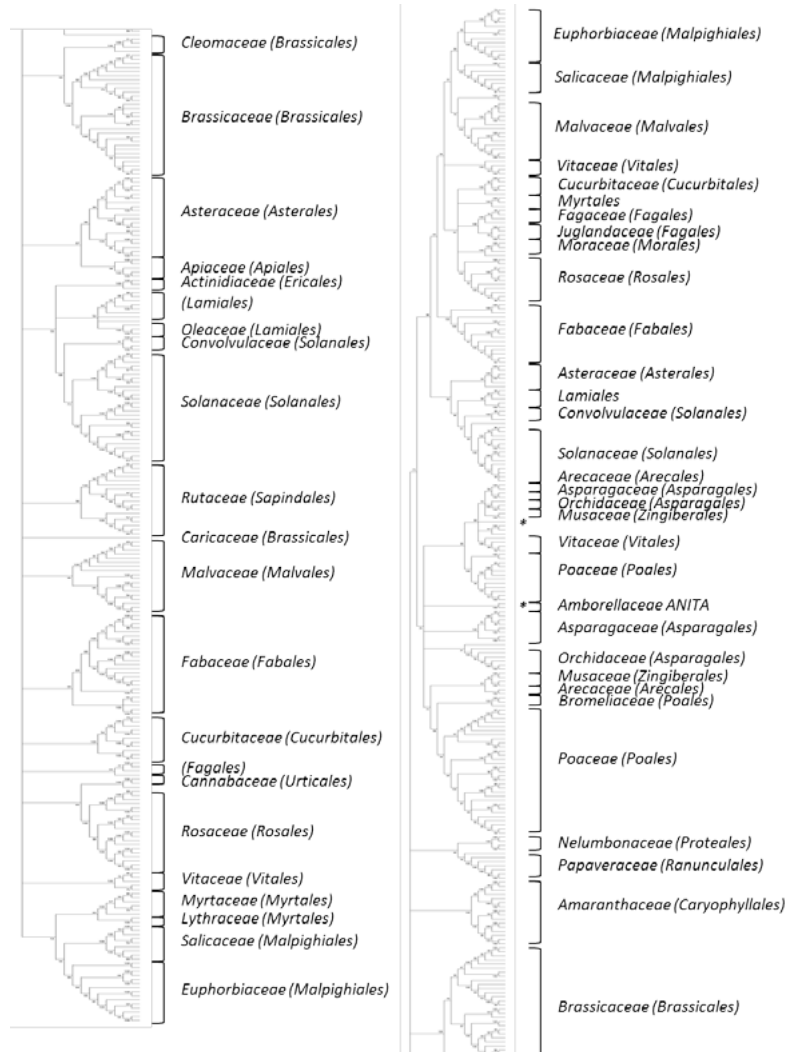
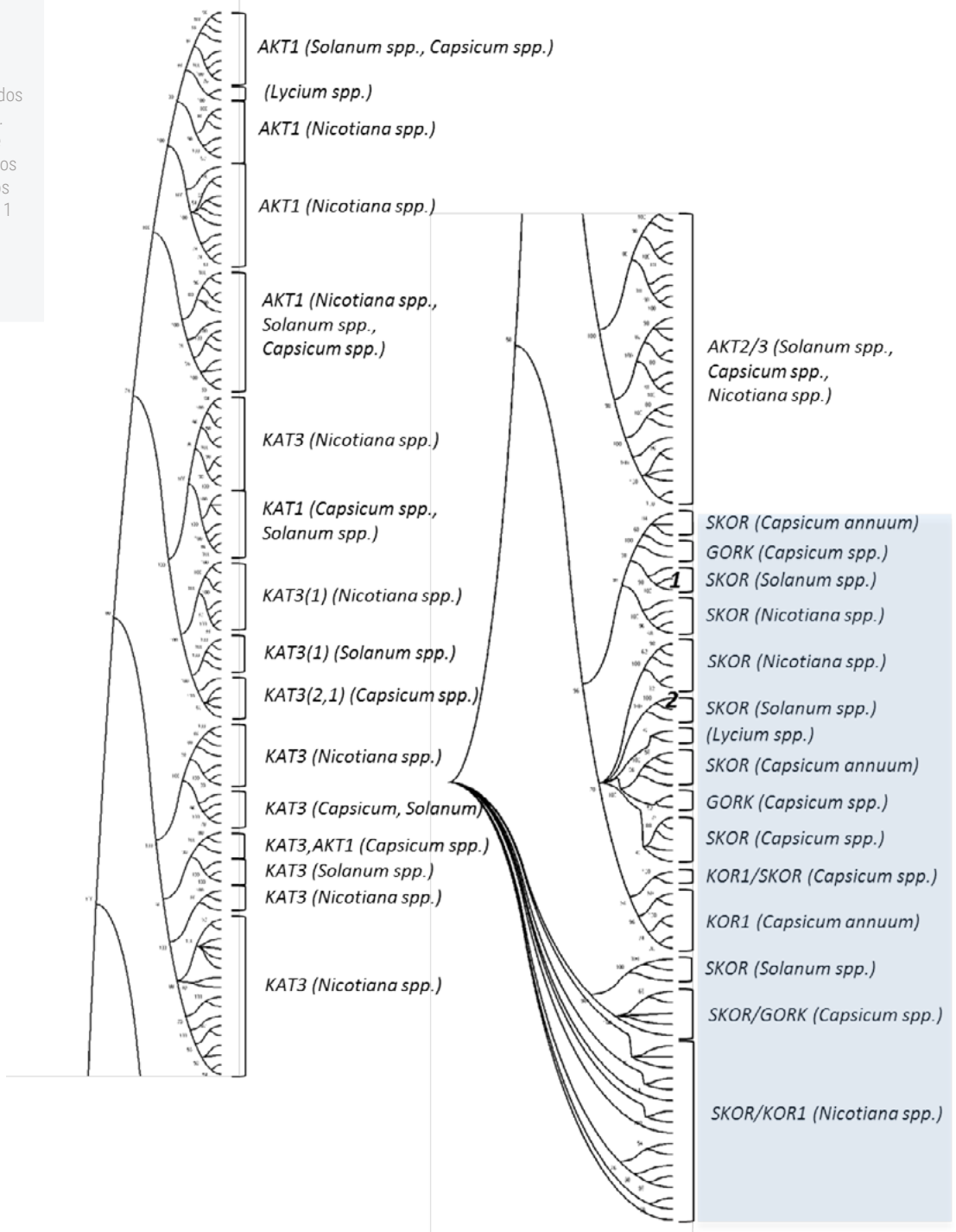




Figura 11

Dendrograma de las 205 secuencias de aminoácidos de la familia *Solanaceae*. En los agrupamientos se indica el tipo de canal y los géneros o especies en los que aparece. Para los n° 1 y 2, ver texto.





Las partes B y C del dendrograma son los dos bloques de una ramificación de la parte A. En B aparecen las monocotiledóneas y, además, *Amborellaceae*, las angiospermas más antiguas (APG IV, 2016), y *Vitaceae*, una familia de eudicotiledóneas cuya presencia en B resulta difícil de explicar. Hay que destacar que, salvo *Vitaceae* y *Bromeliaceae*, todas las familias de la parte B aparecen fragmentadas, cada una con dos grupos de representantes; esto ocurre porque una ramificación de la parte B contiene representantes de familias que también están presentes en las otras ramas de la parte B. Esta disposición se podría explicar por una duplicación génica temprana que afectó a todas (o a gran parte de) las monocotiledóneas, posiblemente incluso con mayor alcance. En otros términos, no estamos considerando sólo similitudes entre proteínas producidas por genes ortólogos, sino también el efecto de genes parálogos, y probablemente a distintos niveles.

En la parte C del dendrograma tenemos una situación parecida a la de B, pero ahora con respecto a A. En efecto, las familias que aparecen en C también tienen representación en A (excepto *Moraceae*). Se explica por un evento de duplicación génica que afecta a todas (o buena parte de) las dicotiledóneas. Podría ser el mismo al que nos referíamos al considerar la parte B.

### 3.3.2 SECUENCIAS DE PROTEÍNAS DE SOLANÁCEAS

Se obtuvieron 205 registros. El dendrograma se muestra en la figura 6. Mediante Blastp se seleccionaron distintos tipos de canales de  $K^+$ , no solo SKOR, a pesar de la elevada exigencia de similitud que se estableció.

Las divisiones del dendrograma se hacen en primer lugar según el tipo de canal (AKT1, KAT3,...), y posteriormente por géneros y especies. Sólo las últimas divisiones corresponden a canales SKOR, con los que en algunos casos aparecen mezclados otros de tipo GORK. Esto indica la alta similitud (y homología) de estos canales, y sugiere un origen polifilético. Asimismo, la presencia de distintos agrupamientos o racimos en los que se presentan las mismas especies y el mismo tipo de canal (SKOR) sugiere que a lo largo de la historia evolutiva, los genes de tipo SKOR han debido sufrir distintas duplicaciones, lo que ha dado lugar a la presencia de parálogos (además de ortólogos). Un ejemplo es que, en la figura 11 el número 1 corresponde a un canal SKOR de *Solanum lycopersicum* codificado por un gen del cromosoma 5, y el número 2 también corresponde a un canal SKOR de *Solanum lycopersicum*, pero en este caso codificado por un gen del cromosoma 11.

## 4. CONCLUSIONES

Mediante el sistema CRISPR-Cas9 se han obtenido plantas de tomate con el gen *SISKOR* inactivado.

La proteína *SISKOR* contribuye al transporte de  $K^+$  hacia la parte aérea de la



planta de tomate. Sin embargo, los efectos de la inactivación son menores que en *Arabidopsis*, por lo que deben existir otros sistemas de transporte, algunos de los cuales pueden ser proteínas codificadas por genes parálogos a *SISKOR*.

Para conocer la función completa de gen *SISKOR*, deben realizarse estudios que tengan en cuenta otros factores, como condiciones adversas relativas a la salinidad o la importancia del estado de desarrollo de la planta.

Las agrupaciones de los dendrogramas reflejan relaciones de parentesco evolutivo, especialmente en los niveles inferiores al de orden. Sin embargo, también se pone de manifiesto que a lo largo de la historia evolutiva han debido ocurrir numerosas duplicaciones génicas, que dan lugar a genes parálogos. Esto dificulta en ocasiones la percepción de las relaciones filogenéticas.





## 5. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

GenScript, (2016). “CRISPR handbook, Enabling Genome Editing and Transforming Life Science Research.” Disponible en:

<https://www.genscript.com/CRISPR-handbook.html>

Doudna, J.A y Charpentier, E., (2014). “The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9.” en *Science*, 346: 1077-1087 Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1126/science.1258096>

APG IV, (2016). “An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV.” en *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2016, 181: 1–20. Disponible en:

<https://academic.oup.com/botlinnean/article/181/1/1/2416499>

Nieves-Cordones M. y Gaillard I., (2014). “Involvement of the S4-S5 linker and the C-linker domain regions to voltage-gating in plant Shaker channels: comparison with animal HCN and Kv channels.” en *Plant Signal Behav.* 2014; 9(10): e972892 doi: 10.4161/15592316.2014.972892 Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4622754/>

Very, A. A.; Nieves-Cordones, M.; Daly, M.; Khan, I.; Fizames, C.; and Sentenac, H., (2014). “Molecular biology of K<sup>+</sup> transport across the plant cell membrane: what do we learn from comparison between plant species?” en *J. Plant Physiol.* 171, 748–769. doi: 10.1016/j.jplph.2014.01.011 Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?Db=pubmed&Cmd=ShowDetailView&TermToSearch=24666983>

Riedelsberger J.; Dreyer I. y Gonzalez W., (2015) “Outward Rectification of Voltage-Gated K<sup>+</sup> Channels Evolved at Least Twice in Life History” en *PLoS ONE* 10(9): e0137600. Disponible en:

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137600>

Base de datos y recursos del NCBI (Consultada en numerosas ocasiones entre octubre, 2017- abril, 2019) Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Breaking Cas. Disponible en:

<http://bioinfoqp.cnb.csic.es/tools/breakingcas/>

MegaX (molecular evolutionary genetics analysis). Disponible en:

<https://www.megasoftware.net/>





## Evaluación de los niveles de vitamina D en población anciana de Lorca (Murcia)

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTORA** | IRENE LÓPEZ AMAT

**COORDINADORA** | ESTHER SÁNCHEZ PÉREZ

**CENTRO** | IES FRANCISCO ROS GINER

**CIUDAD** | LORCA-MURCIA

### RESUMEN |

Evaluación del déficit de vitamina D en población mayor de 75 años en el área III de salud de la Región de Murcia, para ver si existen diferencias explicables por la edad, sexo o IMC. Se han efectuado análisis de los niveles de 25-(OH)D<sub>3</sub> en una muestra de 240 personas mayores de 75 años y en otra de 253 menores de dicha edad en el periodo abril-mayo del 2017. Según nuestros datos, los dos factores que más influyen en los niveles de 25-(OH)D<sub>3</sub> son la edad (mayores de 75 años con un 57,1% de déficit/insuficiencia y un 28,9% en los menores de 75 años, p=0,000) y el IMC (incidencia del déficit/insuficiencia en normopeso del 52,2% y en obesidad del 82,93%, p=0,000). Tanto la edad como el IMC son factores a tener en cuenta a la hora de realizar recomendaciones nutricionales y/o valorar la necesidad de suplementación.

**Palabras clave:** vitamina D, déficit, factores, ancianos, suplementación.

### ABSTRACT |

Evaluation of deficit of vitamin D in the population over 75 years of age in Area III of the Department of Health in the Region of Murcia, to check if there are differences depending on age, sex and BMI. The levels of 25-(OH)D<sub>3</sub> have been analysed in a group of 240 people over 75 years of age and in 253 people under that age from April to May 2017. According to our data, the two factors which mainly have an influence on the levels of 25-(OH)D<sub>3</sub> are age (people over 75 years of age with a 57.1% of deficit/insufficiency and 28.9% in people under 75 years of age, p=0,000) and the BMI (influence of deficit/insufficiency in normal weight of 52.2% and in obesity of 82.93%, p=0,000). Both age and BMI are factors to be considered when giving recommendations about nutrition and/or when evaluating the need of supplementation.

**Keywords:** vitamin D, deficit, factors, elderly people, supplementation.



## 1. INTRODUCCIÓN

“Deje que los alimentos sean su medicina y que la medicina sea su alimento”  
(Hipócrates).

Cada vez existen más evidencias científicas que apoyan la importancia de la Vitamina D, no solo a nivel óseo (antitumoral, cardioprotectora, en el sistema nervioso e inmunológicas). Se sabe que existen determinadas poblaciones especialmente susceptibles para padecer dicho déficit entre las que destacan las poblaciones de más de 75 años, por lo cambios ligados al proceso del envejecimiento como modificaciones en el metabolismo y en la composición corporal, así como una pérdida de la capacidad de síntesis por la piel.

Las necesidades de vitamina D pueden satisfacerse por la exposición la luz solar y por el consumo de alimentos (aceite de hígado de bacalao y algunos pescados que la contienen). La ingesta de vitamina D en población adulta debe ser como mínimo de entre 800 y 1000 UI/día. Llama la atención que en una zona con una elevada exposición solar (teórica) el déficit de vitamina D sea tan elevado y, sobre todo, en ancianos.

## 2. ANTECEDENTES

Desde la época romana existen referencias a enfermedades óseas parecidas al raquitismo, en 1807 Bardsley describió el beneficio del uso de aceite de hígado de bacalao en la prevención de la osteomalacia y posteriormente en 1890 Palm sugiere que la luz del sol poseía una acción antirraquítica. Hasta el siglo XX no se establece la relación entre raquitismo y déficit de vitamina D. En 1998 N Engl J Med publica el artículo titulado “Hypovitaminosis D in medical inpatients”, en el que demuestra una elevada incidencia del déficit. En 2009 se publicó en la revista *Osteoporos International* el artículo titulado “Global vitamin D status and determinants of hipovitaminosis D”, en el que se estudian los factores que determinan la falta de vitamina D. La magnitud del problema se pone de manifiesto en el artículo publicado en N Engl J Med (2016) y titulado “Vitamin D Deficiency- Is there Really a Pandemic?”, donde se pone de manifiesto la elevada incidencia de hipovitaminosis D, sobre todo en ancianos.

## 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1. Evaluar la incidencia del déficit/insuficiencia en la muestra.
2. Estudiar la influencia de la edad sobre los niveles de vitamina D.
3. Estudiar la influencia del sexo sobre los niveles de vitamina D.
4. Estudiar la influencia del IMC sobre los niveles de vitamina D.
5. Realizar recomendaciones para la población a estudiar.

En cuanto a nuestra hipótesis, afirmamos que existe una elevada incidencia de



déficit de vitamina D en la población anciana de Lorca, así como que la edad, el sexo y el IMC condicionan dicho déficit.

#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trata de un trabajo de cohorte retrospectivo y observacional basándonos en la determinación de los niveles plasmáticos de 25-(OH)-D<sub>3</sub>. La población estudiada pertenece al Área III (Hospital Universitario Rafael Méndez) del Servicio Murciano de Salud.

- **Población de referencia:** según el INE en Lorca en el año 2016 hay una población mayor de 75 años de 9.996 para una población total de 91.730.
- **Muestra:** 240 personas mayores de 75 años (94% de fiabilidad), comparados con 253 de entre 25 y 75 años.
- **Criterios de exclusión:** cualquier factor (patologías) que pudiera alterar los niveles de vitamina, así como la edad (menores de 25 años).
- **Reclutamiento:** pacientes con determinaciones de 25-(OH)-D<sub>3</sub> mediante HPLC efectuados en abril-mayo 2017.
- **Búsqueda bibliográfica:** a través de Pubmed utilizando como palabras clave “déficit de vitamina D”, “población anciana” y “suplementación”.
- **Variables principales y secundarias:** la relación entre niveles de vitamina D y la edad; y el sexo y la presencia o no de obesidad, respectivamente.
- **Recogida de datos:** tabla Excel para la realización del análisis estadístico en la que se incluye la edad, sexo, niveles de vitamina D e IMC.
- **Análisis estadístico:** Excel, Word y SPSS. Consideramos un resultado estadísticamente significativo cuando el p valor sea menor a 0,05.
- **Aspectos éticos:** autorización previa de la Gerencia y firma de confidencialidad previamente.

#### 5-RESULTADOS

La muestra analizada ha incluido un total de 493 (109 varones y 384 mujeres) personas reclutadas a partir de la base de datos de SELENE que cumplen los criterios de inclusión. La edad media es de  $67 \pm 13,5$  años siendo en los varones de  $64,3 \pm 15$  y en las mujeres de  $67,8 \pm 13$ . De estos, 253 < 75 años y 240  $\geq$  75 años. Según el IMC se clasifica en: 69 con normopeso (14%), 153 con sobrepeso (31%), 128 con obesidad grado 1 (25.9%); 108 con obesidad grado 2 (21.9%) y 35 con obesidad grado 3 (7.2%). La concentración media de los niveles de vitamina D en la muestra es de  $23,56 \pm 11,76$  ng/ml.

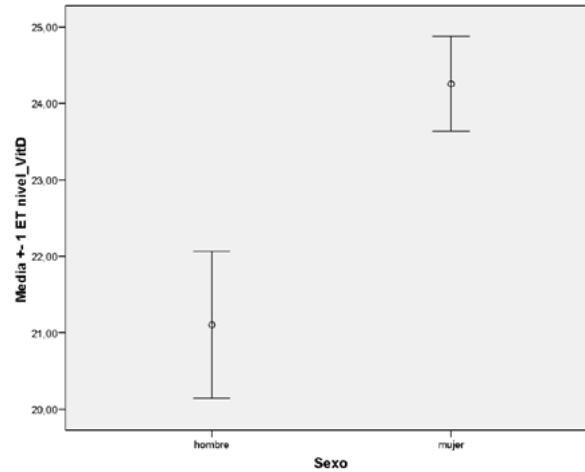
Según el sexo los niveles medios de vitamina D en el varón es de  $21,1 \pm 10,01$  ng/ml y en las mujeres de  $24,26 \pm 12,14$  ng/ml. Siendo estas diferencias estadísticamente significativas ( $p= 0,018$ ) y discordantes con la bibliografía, destacando



el artículo publicado en el 2009 en la revista Osteoporosis Internacional titulado “Global vitamin D status and determinants of hipovitaminosis D”, en el que se estudian los factores que determinan la falta de vitamina D destacando el sexo femenino como uno de ellos.

Gráfica 01

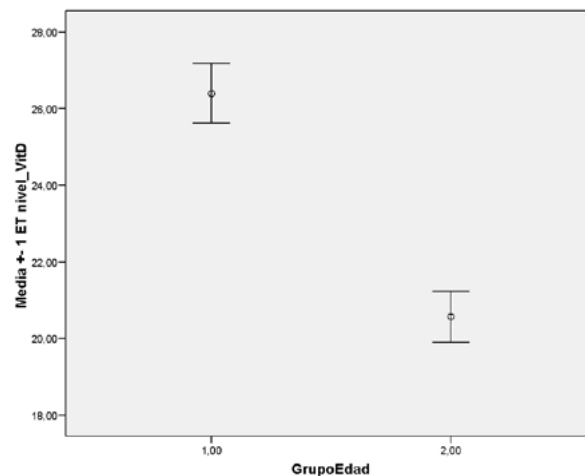
Niveles de vitamina D en función del sexo.



Atendiendo a la edad, la media para el grupo 1 (<75 años) es de  $26,4 \pm 12,40$  ng/ml y para el 2 (>75 años) de  $20,51 \pm 10,26$  ng/ml, siendo significativas ( $p=0,000$ ) y concordantes con lo publicado, destacando los trabajos: “Vitamin D deficiency in homebound elderly persons” (1995) de la revista JAMA, “Use of calcium or calcium in combination with vitamin D supplementation to prevent fractures and bone loss in people aged 50 years and older: a meta-analysis” de 2007 publicado en la revista Lancet y “Vitamin D Deficiency- Is there Really a Pandemic?” de 2016 publicado en la revista N Engl J Med; en todos se demuestra la relación entre niveles de vitamina D y la edad.

Gráfica 02

Niveles de vitamina D por grupos de edad.

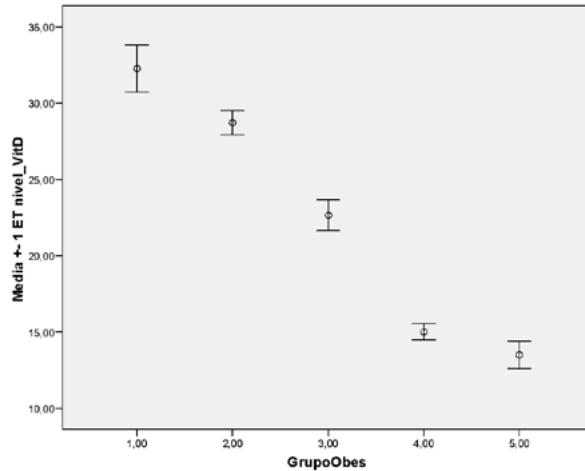




En relación al IMC: grupo 1 (normopeso)  $32,28 \pm 12,77$  ng/ml; grupo 2 (sobrepeso)  $28,72 \pm 9,93$  ng/ml; grupo 3 (obesidad grado I)  $22,65 \pm 11,5$  ng/ml; grupo 4 (obesidad grado II)  $15,01 \pm 5,53$  ng/ml; grupo 5 (obesidad grado III)  $13,5 \pm 5,39$  ng/ml, ( $p=0,000$ ). Resultados concordantes con lo publicado destacando el trabajo “Prevalence and correlates of vitamin D deficiency in US adults”, 2011 del autor Forrest KY, publicado en la revista Nutr. Res.

Gráfica 03

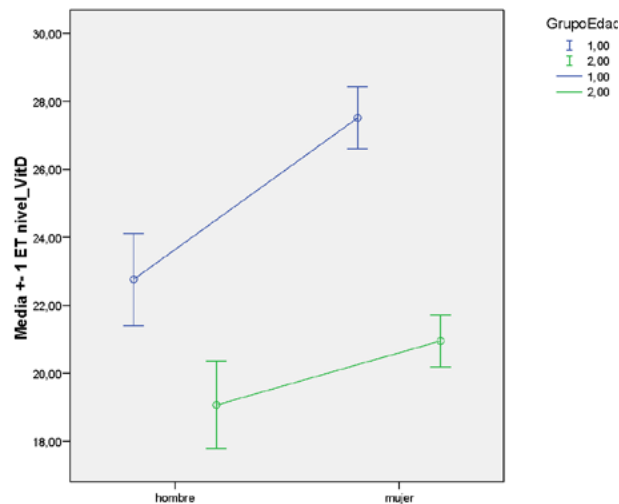
Niveles de vitamina D en relación con el IMC.



Del análisis de variables combinadas observamos que independientemente del grupo de edad las mujeres tienen un nivel de vitamina D mayor que los varones.

Gráfica 04

Niveles de vitamina D en relación con el IMC.

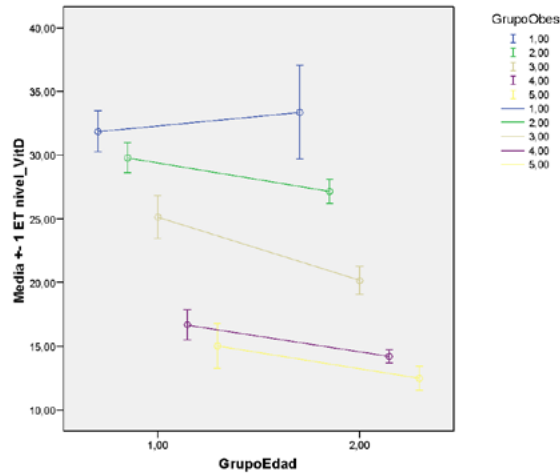


En relación a la edad y el IMC, observamos que independientemente de la edad la obesidad condiciona unos niveles menores de vitamina D.



Gráfica 05

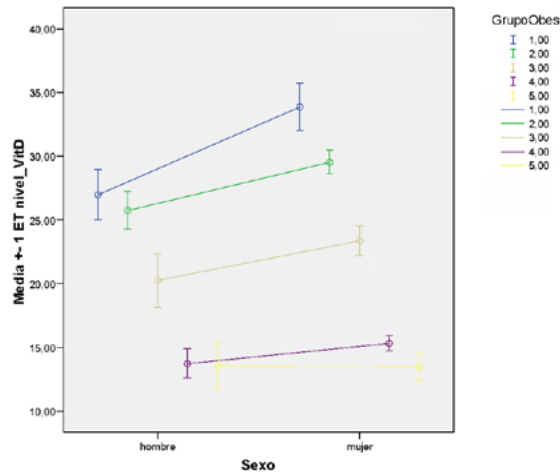
Niveles de vitamina D en función de la edad y el IMC.



De la misma forma la obesidad influye independientemente del sexo:

Gráfica 06

Niveles de vitamina D en función del sexo y el IMC.



Centrándonos en la edad y el IMC clasificamos a los pacientes según los estadios del déficit (normalidad grupo 1, insuficiencia grupo 2, deficiencia grupo 3).

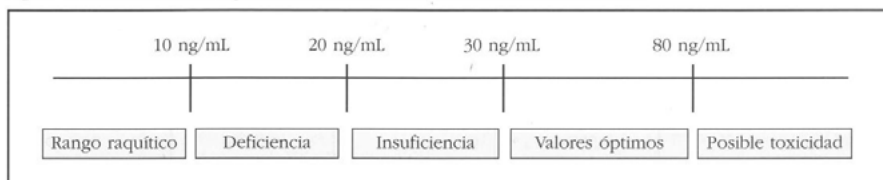


Figura 01 Clasificación de los pacientes en función de los niveles séricos de 25HCC. Reyes Domínguez AI et al (2017). Actualización sobre la vitamina D. Su utilización en el tratamiento de la osteoporosis. Revista de osteoporosis y Metabolismo Mineral.

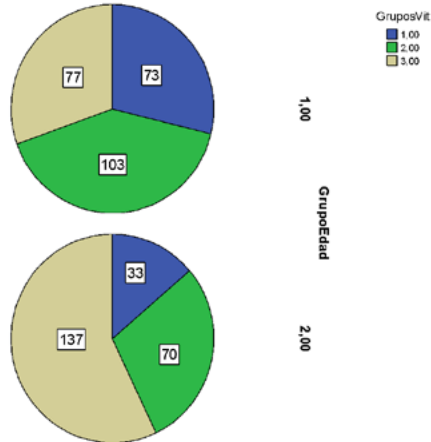




Las gráficas 7 y 8 destacan por la elevada prevalencia de déficit tanto en  $\geq 75$  años (57,1%) como en obesidad grado III (94,3%). En ambos casos  $p=0,000$ .

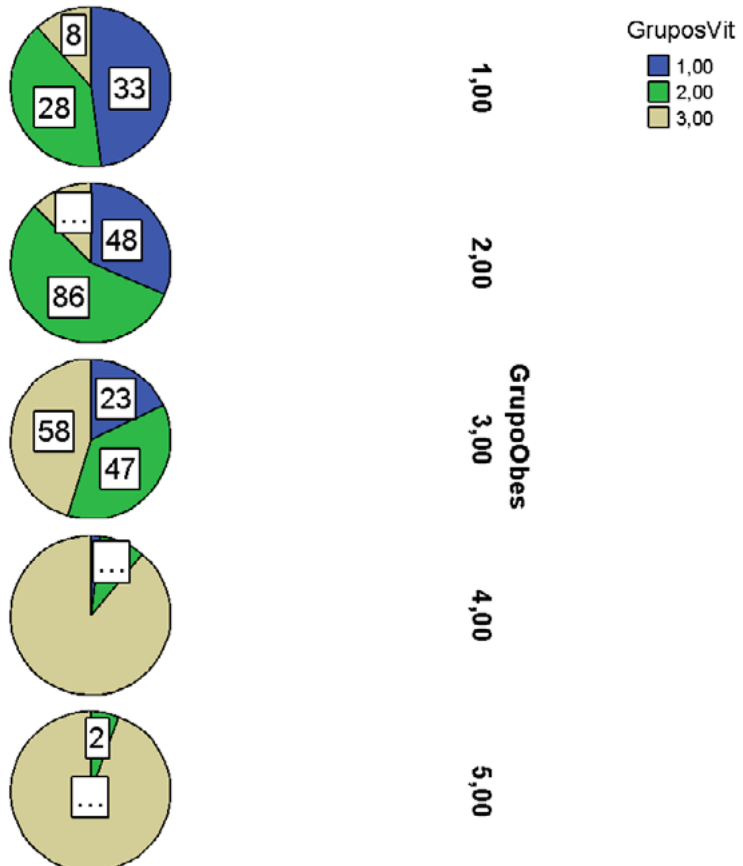
Gráfica 07

Clasificación de la muestra por edad según los estadios de déficit de vitamina D.



Gráfica 07

Clasificación de la muestra por edad según los estadios de déficit de vitamina D.





## 6-CONCLUSIONES

- Nuestros datos demuestran una elevada incidencia de déficit y de insuficiencia en nuestro medio.
- La edad es un factor determinante y condiciona el grado de déficit.
- El sexo no es un factor determinante en nuestra muestra.
- El IMC es un factor determinante y condiciona el grado de déficit.
- Se recomienda el consumo de alimentos ricos en vitamina D (salmón, atún, lácteos enriquecidos), una correcta exposición solar, según Holick (2004) de 5 10 minutos 2 o 3 veces por semana, alimentos enriquecidos o fortificados, y en caso de necesidad el uso de suplementos farmacológicos.

## 7-AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Doña Esther Sánchez y Don José Luis García; y a la Gerencia del Hospital Universitario Rafael Méndez por permitirme el acceso al historial clínico de los pacientes.

“Enseñar es el arte de despertar la curiosidad natural de los jóvenes con la intención de satisfacerla después” (Anatole France).



## 8-BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Forrest, K.Y y Stuhldreher, W.L. (2011). *Prevalence and correlates of vitamin D deficiency in US adults*. Nutr Res.
- Gómez de Tejada Romero, M.J. (2014). *Acciones extraóseas de la vitamina D*. Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral.
- Holick, M.F. (2007). *Vitamin D deficiency*. N Engl J Med.
- LeFevre, M.L. (2015). *Screening for vitamin D deficiency in adults: U.S. Preventive Services Task Force recommendation statement*. Ann Intern Med.
- Manson, J.E., Brannon, P.M. y Rosen, C.J. (2016). *Vitamin D Deficiency- Is There Really a Pandemic?*. N Engl J Med.
- Pretel Pretel, A. (2017). *Déficit de vitamina D en Atención Primaria. Recomendaciones en la práctica clínica*.



# Armónicos Hipoacústicos. De la genética de la sordera a la música

---

/ TERCER PREMIO

**AUTORA** | LUCÍA ABAJO LIS

**COORDINADORA** | MARÍA ASUNCIÓN COSTA PÉREZ

**CENTRO** | IES PINTOR ANTONIO LÓPEZ

**CIUDAD** | TRES CANTOS-MADRID

## RESUMEN |

La música es un arte intrínsecamente relacionado con la evolución humana, pues supone un desarrollo intelectual que se refleja en la genética de nuestra especie. Considerando esta relación entre la música y la genética, el presente proyecto tiene como objetivo establecer una asociación entre los elementos esenciales de una composición musical y los principales componentes del ADN en el gen GJB2 a nivel estructural y molecular, que mutado es el responsable de la sordera hereditaria.

En ese sentido, se han identificado relaciones de similitud entre la tonalidad de una composición y la representación visual bidimensional del ADN, traduciéndola a una onda de sonido para calcular su frecuencia y así establecer el tono, entre la estructura de los acordes y las propiedades y la estructura de los aminoácidos, y por último, entre la subdivisión de tiempos del ritmo y el número de componentes menores de un aminoácido, siendo posible, de esta forma, la creación de una melodía sobre el esquema armónico establecido.

Posteriormente, se ha creado dos composiciones musicales con estas asociaciones: la primera con el gen GJB2 mutado, titulada *Armónicos Hipoacústicos 35delG* y la segunda con el gen GJB2 sin mutar, denominada *Armónicos Acústicos GJB2*. Finalmente, se ha realizado un análisis comparativo entre ambas obras con el fin de estudiar sus analogías y diferencias y para determinar la posibilidad de que la química de la genética pueda ser expresada a través del lenguaje de la música.

**Palabras clave:** ADN, Mutación, Sordera Hereditaria, Aminoácidos, Acordes, Composición.



## ABSTRACT |

Subsequently, some similarities between genetics and music have been identified. Firstly, between a composition's tone and the DNA's bi-dimensional representation, which has been translated into a sound wave to find out its frequency and establishing the tone with it. Secondly, between the chords structure and the properties and structure of amino acids. Finally, between the subdivision of the rhythm's tempo with the number of an amino acid's substructures. Thanks to all these associations, it has been possible to create a melody based on the established harmonic scheme.

Two musical compositions have been created with these associations: the first one relates to the mutated GJB2 gene, titled *Armónicos Hipoacústicos 35delG* and the second piece related to the GJB2 gene without the mutation, titled *Armónicos Acústicos GJB2*. Finally, a comparison analysis has been carried out between the two works in order to study their analogies and differences and to determine the possibility that the chemistry of genetics can be expressed through the language of music.

**Keywords:** DNA, Mutation, Hereditary Deafness, Amino acids, Chords, Composition.



## 1. EL GEN GJB2

Este gen codifica para la conexina 26, proteína que forma parte de los canales intercelulares llamados uniones de hendidura o “*gap junctions*”, que son importantes para el traspase de cationes de potasio, K<sup>+</sup>, en la endolinfa coclear. Un fallo en el funcionamiento de esta proteína podría conllevar a una ausencia del traspase de K<sup>+</sup>, y, por tanto, la carencia de un impulso nervioso al cerebro para procesar un sonido. Este fallo es frecuentemente debido a una mutación en la cadena de ADN de esta proteína, la mutación 35delG. La mutación 35delG consiste en una deleción, es decir, la pérdida de una guanina en la posición 35 de este gen, lo que produce un desplazamiento del marco de lectura, y en consecuencia la generación de un codón terminal prematuro en el nucleótido 35. Como consecuencia, se produciría una sordera parcial o total en el individuo.

Figura 01

Extracto de la secuencia del genoma GJB2. Lo enmarcado dentro del cuadro rojo corresponde al aminoácido con el nucleótido en posición 35, la segunda guanina (G) del codón.

```

NGNNNAGNANNNGGATTGNNANNCGNNANNATC
.....ATGGATTGGGGCACGCTGCAGACGATCCTGGGGGGTGTGAACAAACACTC
50
.....-M--D--W--G--T--L--Q--T--I--L--G--G--V--N--K--H--S
17
  
```

## 2. CONCEPTOS MUSICALES. RELACIONES CON LA GENÉTICA

La composición de una obra musical se basa en cuatro conceptos básicos: la tonalidad, el ritmo, la armonía, establecida a partir de la tonalidad, y la melodía.

A partir de ellos se establecen las normas de composición básicas y más populares. Estos criterios compositivos se ven frecuentemente alterados en la música experimental, dentro de la cual se enmarcan las composiciones musicales realizadas en este proyecto ya que se trata de un método compositivo innovador. No obstante, se respetan las normas de composición de armonía clásica, estando estas justificadas y relacionadas con la información genómica del gen GJB2 y las propiedades estructurales del ADN.

### 2.1. TONALIDAD

La tonalidad es el tono en el que se compone una obra musical. A partir de esta se compone el resto de la composición, pues los acordes dependen de la tonalidad, y la melodía depende de los acordes.

El gen GJB2 consta de 2284 bases nitrogenadas. En la doble cadena de ADN, cada vuelta contiene 10,4 nucleótidos, por lo que en este gen hay 2284 nucleótidos. Si se divide el número de nucleótidos total entre el número de nucleóti-



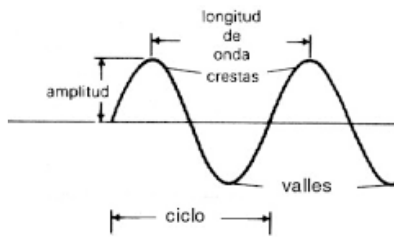
Figura 2

Representación bidimensional de una cadena de ADN.  
FUENTE: biologiamiquel, tema 2.



Figura 3

Onda de sonido y sus partes.  
FUENTE: Unifeed.club, partes de una honda



dos en cada vuelta, da como resultado el número de vueltas del ADN en este gen, que son un total de 219,6 vueltas. La representación bidimensional de las vueltas de la molécula de ADN es muy similar a la de una onda de sonido. En una onda de sonido cada ciclo por segundo es un hercio (Hz). Si se compara la onda de sonido a una cadena de ADN-B, cada ciclo corresponde con una vuelta completa del ADN-B sobre su eje, por lo tanto, si pudiéramos escuchar este gen tendría una frecuencia de 219,6 Hz, que coincide casi de manera perfecta con la frecuencia de la nota La 3, siendo esta de 220 Hz. Por ello, se ha seleccionado la tonalidad de La Mayor para componer esta obra.

## 2.2. ACORDES

Teniendo en cuenta la estructura de los acordes y el tamaño interválico de sus notas, se realiza una comparación con la estructura de los aminoácidos y se busca similitudes entre ellos:

1. Los acordes de la escala natural de La Mayor son ocho. Los aminoácidos con cadena lateral hidrofóbica son ocho también, por lo que se ha asociado el grupo de estos acordes al de estos aminoácidos. Dentro de esta clasificación existen otras subclasificaciones:

a. La Metionina es el aminoácido por el que empieza un gen. Igualmente, el acorde de la tónica de la escala, en este caso La Mayor, es el acorde por el que en la mayoría de los casos empieza una composición musical. Además, la metionina posee un átomo de azufre en su estructura, lo que la diferencia del resto de aminoácidos con cadena lateral hidrofoba.

b. Los aminoácidos con menos o igual a 5 átomos de carbono en su estruc-



tura se relacionan con acordes menores. Estos son la valina, la isoleucina, la alanina y la leucina.

c. A los aminoácidos con una ciclación en su estructura se les asocia acordes con una tercera añadida a la quinta, formando así acordes de séptima. Por ejemplo, la Fenilalanina es un aminoácido con un benceno en su estructura, por lo tanto, se asocia a un acorde de séptima menor. La Tirosina es un aminoácido con un benceno con un radical OH, es decir, un bencenol. Este añadido agranda la estructura del aminoácido y consecuentemente se agranda la estructura del acorde, convirtiéndose este en un acorde de séptima mayor (Re M- Re M 7ªM).

d. El triptófano es un aminoácido con dos ciclaciones, un benceno y un pirrol unidos, formando un indol. Como en este caso presenta una ciclación más respecto a los otros aminoácidos, se le añade otra tercera menor a la séptima, formándose así un acorde de 9ª menor (Mi M 9ª menor).

2. Los aminoácidos con cadenas laterales eléctricamente cargadas se han asociado a algunos de los acordes de la escala de la menor. Según la cadena lateral del aminoácido esté cargada, se dividen en dos tipos:

a. Positivamente cargadas: Los acordes asociados a estos aminoácidos son acordes mayores. Los aminoácidos con cadena lateral de carga positiva son la arginina, la lisina y la histidina. Este último aminoácido contiene un benceno en su estructura, por lo que su acorde asociado pasa a ser un acorde mayor con 7ª (Re M 7ªM).

b. Negativamente cargadas: Los acordes asociados a estos aminoácidos son acordes menores. Son el ácido aspártico y el glutámico.

3. También existen aminoácidos considerados como casos especiales, ya que no se puede categorizar en ninguno de los otros grupos. Lo mismo ocurre con los acordes asociados a ellos, siendo estos acordes totalmente ajenos a las escalas de La Mayor y La menor. Estos son la cisteína, la selenocisteína, la glicina, y la prolina. Este último tiene una ciclación en su estructura, una pirrolidina, por lo tanto, el acorde pasa a ser de 7ª menor.

4. El último grupo de aminoácidos es aquel que tiene cadenas laterales sin carga. Ya que no tienen carga eléctrica, ha sido interpretado como que no tiene carga sonora, por lo tanto, estos aminoácidos son silencios. Los aminoácidos sin carga son la serina, la treonina, la asparagina y la glutamina. Los silencios asociados son todos de 3 tiempos de negra, por motivos tratados en el siguiente punto, el ritmo.

### 2.3. RITMO

En música, el ritmo es la organización de los pulsos y acentos dentro de la estructura de una obra. El pulso es una unidad que divide una obra en fragmentos idénticos, los compases. Se ha escogido el tiempo de  $\frac{3}{4}$ . Esto quiere decir que por cada compás hay tres (3) pulsos de negra (4).





Tabla 01

Resumen de asociaciones establecidas entre los aminoácidos y los tipos de acordes.

Tipo de aminoácidos		Aminoácido	Símbolo del aa	Acorde	Tipo de acordes
Con cadenas laterales hidrofóbicas		Metionina (Met)	M	La M	La Mayor
		Valina (Val)	V	Si m	
		Fenilalanina (Phe)	F	Si m 7ª m	
		Isoleucina (Ile)	I	Do # m	
		Tirosina (Tyr)	Y	Re M 7ª M	
		Triptófano (Trp)	W	Mi M 9ª m	
		Alanina (Ala)	A	Fa # m	
Con Cadenas laterales eléctricamente cargadas		Leucina (Leu)	L	Sol # m	La menor
		Arginina (Arg)	R	Do M	
		Histidina (His)	H	Fa 7 M	
Negativos (-)		Lisina (Lys)	K	Sol M	
		Ácido aspártico (asp)	D	La m	
Casos especiales		Ácido glutámico (Glu)	E	Re m	Ajenos a la tonalidad de La M y La m
		Cisteína (Cys)	C	Sol m	
		Selenocisteína (Sel)	U	Mi m	
		Glicina (Gly)	G	Do m	
Con cadenas laterales polares sin carga		Prolina (Pro)	P	Si M 7ª m	Silencio
		Serina (Ser)	S	Silencio de blanca con puntillo (3 pulsos)	
		Treonina (Thr)	T		
		Asparagina (Asn)	N		
		Glutamina (Gln)	Q		

Un aminoácido está compuesto de tres bases nitrogenadas de las cuatro existentes (A-adenina, G-guanina, C- citosina, T-tiamina). Cada base nitrogenada se ha hecho equivaler a un pulso de negra dentro de un compás. Cada compás se ha compuesto sobre un sólo acorde asociado a un sólo aminoácido, por lo que un compás corresponde a tres bases nitrogenadas o tres tiempos de negra.

## 2.4. MELODÍA

La melodía se ha construido a partir de los acordes, que son la base de la armonía. La composición de la melodía se ha hecho de forma más creativa, sin estar sujeta a asociaciones con el gen más que las de los acordes. Una melodía más libre ha permitido, paradójicamente, crear una unión entre los acordes de esta obra para que su orden cobre más sentido.

La dificultad de la composición de la obra que presenta este proyecto se encuentra precisamente, en el orden en el que se encuentran los acordes. No es un orden clásico de composición, con unos acordes ordenados para crear, por ejemplo, cadencias claras o tensión donde se desea. Esta obra es dependiente del orden en el que se encuentran los aminoácidos en el gen, por lo tanto, las tensiones y cadencias están sujetas a ello. Adicionalmente, aparecen frecuentemente acordes en orden atonal, difíciles de asimilar para el oído inacostumbrado a estas estructuras atípicas en la música popular y que interrumpen el fraseo melódico que se está intentando seguir. Pese a esto, estas dificultades han aportado a las obras su sentido de originalidad.



### 3. LAS COMPOSICIONES

Tras haber establecido las similitudes descritas en el punto 2, se ha creado dos composiciones:

**1. ARMÓNICOS HIPOACÚSTICOS 35delG.** Se ha compuesto siguiendo el orden de los aminoácidos del gen GJB2 hasta que se llega a la mutación 35delG. Debido a esta mutación, al eliminarse un nucleótido, se desplaza el resto. Esto genera un codón de STOP poco después del comienzo de la lectura del gen, por lo tanto, el resto de la información genética queda fuera del marco de lectura y los codones restantes dejan de codificar proteína, por lo que se acaba la composición en ese codón de STOP. Se puede escuchar en el siguiente enlace. <https://www.youtube.com/watch?v=Zd6daLRoFtl>. La partitura de esta composición se encuentra en el siguiente enlace [https://drive.google.com/file/d/10uyPjf37Fe6j7RjjdQMBRzIXL\\_PVAacz/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/10uyPjf37Fe6j7RjjdQMBRzIXL_PVAacz/view?usp=sharing) o escaneando el código QR.

**2. ARMÓNICOS ACÚSTICOS GJB2.** Se ha compuesto siguiendo el orden en el que se disponen los aminoácidos en el gen GJB2.

La composición del gen mutado comienza igual que la no mutada y es idéntica hasta que llega al aminoácido previo al codón terminal, donde se reemplaza el aminoácido guanina.

Ambas obras concluyen con el aminoácido valina, relacionado con el acorde de Si menor. Este acorde en la tonalidad de La Mayor corresponde con el ii grado, que desempeña una función subdominante en vez de una función de tónica, como suelen tener los acordes finales de las obras, por lo que al finalizar la obra no da la sensación de cierre de frase. Esto se ha contrarrestado reforzando la llegada a ese acorde en los acordes anteriores mediante la repetición de la nota de Si y la aproximación armónica a la resolución de Si m, además de un *rittardando* en *Armónicos Acústicos GJB2*.

El pentagrama superior lo interpreta la mano derecha y normalmente lleva la melodía, mientras que el inferior lo interpreta la mano izquierda y representa

Figura 04

Fragmento de composición gen GJB2 sin mutación con abreviatura del aminoácido correspondiente.



el acorde asociado al aminoácido, a veces en forma de arpeggio o con otra estructuración rítmica o inversionado. En la parte superior de cada compás aparece la abreviatura de una sola letra del aminoácido que se ha asociado a ese acorde y en ese compás.

Dado que el gen tiene un total de 226 aminoácidos, la composición del gen sin mutar tiene ese mismo número de compases, mientras que la segunda composición tiene un total de 12 compases.

Esta diferencia tan grande de compases también tiene sentido musicalmente. Teniendo en cuenta que el gen GJB2 mutado impide la capacidad de oír parcial o totalmente, es lógico que de la misma forma la composición relativa sea tan corta, pues el resto del gen no se puede oír al igual que no podría una persona con la enfermedad causada por este gen. Esta obra se puede escuchar en el siguiente enlace

[https://www.youtube.com/watch?v=vUHW\\_b-jhRg&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=vUHW_b-jhRg&feature=youtu.be)

La partitura de esta composición se encuentra en el siguiente enlace

[https://drive.google.com/file/d/1mdk7wu6l3tCXeBXxWwZuiM5rlz9wNS1\\_/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1mdk7wu6l3tCXeBXxWwZuiM5rlz9wNS1_/view?usp=sharing) o en el código QR asociado a este apartado.

En cuanto al resultado de las composiciones, el orden de los aminoácidos y por consecuencia el de los acordes no siempre respeta los órdenes clásicos en los que se disponen los acordes para que la escucha sea cómoda para el oído. Sin embargo, esto no quiere decir que el orden en el que aparecen en la composición sea incorrecto o inválido. Además, no se repite ninguna secuencia de aminoácidos a lo largo del gen, por lo que tampoco se creó una secuencia armónica repetida. Esta secuencia armónica podría servir como el tema de la obra, también conocido como *leit motiv*. El *leit motiv* es el tema musical más importante en una obra, ya que se repite varias veces, haciéndolo fácilmente reconocible. Por ende, funciona como una figura de cohesión para todas las partes de una obra. Es una figura muy importante para mantener al oyente atento y más interesado en una obra.

Para compensar esta carencia, se han creado distintos espacios melódicos marcados en la partitura con anotaciones de interpretación como *'melódico'*, *'tempestuoso'*, *'juguetón'* para mantener al oyente pendiente de la escucha. El contraste entre estos espacios sonoros crea diferentes escenas, como si se tratara de una película. El oyente, en vez de buscar un tema familiar y reconocible, se encontrará expectante de lo que pasará en la siguiente escena, o en este caso, fragmento musical.

Por otro lado, debido a la presencia de los aminoácidos sin carga, se presentan muchos compases de silencios en medio de lo que podría ser un fraseo de la melodía. Estas pausas inesperadas también pueden llamar la atención del oyente. Para compensar esto, se recurre al empleo de frases melódicas marcadas por dinámicas como *fff*, *f*, *mp*, *pp* (*fortissimo*, *forte*, *mezzopiano*, *pianissimo*).



mo) entre otros, crescendos (<), disminuidos (>), y articulaciones como *staccatos*, ligaduras o *marcattos* para dar una sensación de fin de frase antes de la aparición de un silencio o aprovechar esa pausa para crear tensión y anexionar la parte anterior al compás o compases de silencios con la posterior.

#### 4. CONCLUSIÓN

En este proyecto se ha demostrado que es posible establecer relaciones entre la genética y la música mediante asociaciones entre los elementos más importantes del ADN del gen GJB2 y los de una composición musical. Estas asociaciones han dado como resultado dos composiciones: una con el gen sin mutar, *Armónicos Acústicos GJB2*, y otra con el gen mutado, *Armónicos Hipoacústicos 35delG*. Ambas obras presentan similitudes y diferencias entre ellas, de la misma forma que también las presentan el gen GJB2 sin mutar con el mutado.

Se aprecia que ambas obras carecen de algunos de los recursos musicales característicos de una obra clásica o popular, tales como secuencias de acordes repetidas, debido a que no hay grupos de aminoácidos en el gen GJB2 repetidos ordenadamente a lo largo del marco de lectura. Esto impide crear motivos que sirvan de cohesión a lo largo de las piezas.

Además, la presencia de aminoácidos sin carga, asociados a compases de silencios, interrumpen el fraseo melódico. A pesar de ello, sí existen relaciones tonales entre varios acordes que aportan cierto sentido de musicalidad junto con los espacios sonoros de diferente carácter creados y el uso de dinámicos.

Por otro lado, las dos composiciones comparten los once primeros compases. Sin embargo, aparecen diferencias a partir del duodécimo compás: mientras que *Armónicos Acústicos GJB2* continúa hasta los 226 compases, *Armónicos Hipoacústicos 35delG* concluye tras el compás número doce, debido a la mutación 35delG, que provoca un cambio de guanina a valina en el aminoácido número 12, y crea posteriormente un codón de terminación o STOP prematuro, que finaliza la codificación de los codones a proteínas. Se observa, por tanto, un paralelismo entre ambos genes y las obras derivadas de ellos.

Otra observación es que, al no acabar el gen por el mismo aminoácido por el que empieza, la metionina, ninguna de las dos obras musicales acaba por el acorde asociado a ese aminoácido inicial, como haría típicamente una pieza musical si esta no presenta una modulación a otra tonalidad, es decir, no cambia de tonalidad en algún fragmento. Al no estar presente esta cadencia al acorde de tónica, La Mayor, al final de ninguna de las dos obras, se ha reforzado la llegada al acorde final, si menor, mediante la repetición de la nota si en los acordes anteriores y la aproximación armónica a la resolución de Si menor, además del *ritardando* para crear una sensación de llegada al final de la obra.

Es destacable que la mutación 35delG, causante de la sordera hereditaria total



o parcial en un individuo, conlleve aparejada la imposibilidad de continuar con la interpretación de la obra y que, por lo tanto, el fragmento restante del gen no pueda ser escuchado, así como no podría hacerlo una persona sorda.

## BIBLIOGRAFÍA

- CIENCIAHOY, ADN una molécula maravillosa, 2018  
<http://www.cienciahoy.org.ar/ch/hoy08/adn2.htm>
- Sandeep A, 2018, *What is the difference between a Codon and an Anticodon*,  
<https://www.iaspaper.net/difference-codon-anticodon/>
- Gálvez Prada F, 2017, *Clasificación de los aminoácidos*, Hidden Nature  
<https://www.hidden-nature.com/clasificacion-de-los-aminoacidos/>
- Laboratorio GENETAQ, 2018, *Sordera hereditaria: Secuenciación gen GJB2 (Conexina26)*,  
<http://genetaq.com/es/catalogo/prueba/sordera-hereditaria-secuenciacion-gen-gjb2-conexina-26>
- ENSEMBL Project, “News about the Ensembl Project and its genome browser”,  
[https://www.ensembl.org/Homo\\_sapiens/Transcript/Sequence\\_cDNA?db=core;g=ENSG00000165474;r=13:20187463-20189780;t=ENST00000645189](https://www.ensembl.org/Homo_sapiens/Transcript/Sequence_cDNA?db=core;g=ENSG00000165474;r=13:20187463-20189780;t=ENST00000645189)
- Gallo-Terán J, Morales-Angulo C, Rodríguez-Ballesteros M, Moreno-Pelayo A, del Castillo I, Moreno F, 2005, *Prevalencia de las mutaciones 35delG en el gen GJB2, del (GJB6-D13S1830) en el gen GJB6, Q829X en el gen OTOF y A1555G en el gen del ARNr 12S mitocondrial en sujetos con hipoacusia neurosensorial no sindrómica de inicio congénito o en la infancia*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001651905786490>
- Álvarez A, del Castillo I, Pera A, Villamar M, Moreno-Pelayo MA, Rivera T, et al. 2003, *Uniparental disomy of chromosome 13q causing homozygosity for the 35delG mutation in the gene encoding connexin-26 (GJB2) results in prelingual hearing impairment in two unrelated Spanish patients*, 40:636-9.  
[https://www.researchgate.net/publication/263582470\\_A\\_rare\\_event\\_of\\_maternal\\_UPD\\_in\\_a\\_proband\\_with\\_congenital\\_nonsyndromic\\_hearing\\_impairment\\_with\\_homozygosity\\_for\\_GJB2\\_pW24X\\_mutation](https://www.researchgate.net/publication/263582470_A_rare_event_of_maternal_UPD_in_a_proband_with_congenital_nonsyndromic_hearing_impairment_with_homozygosity_for_GJB2_pW24X_mutation)
- CdeCiencia, Youtube *¿Por qué nos gusta la música?* (ft. Jaime Altozano) 2018,  
<https://www.youtube.com/watch?v=si-jXKZ7LGc>
- Gonzalo Claros, M, ADN-B, [http://sebbm.es/BioROM/contenido/av\\_bma/apuntes/T3/dnab.htm](http://sebbm.es/BioROM/contenido/av_bma/apuntes/T3/dnab.htm)
- Teoría de la Música, Figuras Musicales. Wordpress.com, 2018,  
<https://musicateoria.wordpress.com/figuras-musicales/>



- Algunos animales también tienen sentido rítmico de la música.* 2014,  
<https://www.eluniverso.com/vida-estilo/2014/02/17/nota/2201486/algunos-animales-tambien-tienen-sentido-ritmico-musica>
- Tristán M, *Los instrumentos musicales más primitivos se fabricaron con hueso de buitre*, El Mundo, 2012,  
<https://www.elmundo.es/elmundo/2012/05/28/ciencia/1338222683.html>
- Altozano J, 2017, *Qué es un ACORDE. Tipos de Acordes*,  
<https://www.youtube.com/watch?v=YDX4xULkwc&list=PLrNRWzklmhnyDJYrUe2h0KgpuPu4ov-QKp&index=7>
- Shara I, *La batuta invisible*, Editorial Conecta de Barcelona, 2014.
- Resendes Bl, Williamson Re Morton CC 2001, *At the speed of sound: Gene discovery in the auditory system*, *American Journal of Human Genetics*; 69:923-5.
- Tseng CJ, Lalwani AK, 2000, *Cracking the auditory genetic code: Part II. Syndromic hereditary hearing impairment*, *American Journal of Otology*; 21: 437-51.
- Universidad de Chile, 2012, *Otorrinonaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello, Frecuencia de la mutación 35delG del gen GJB2 (conexina 26) en una muestra de escolares sordos de Santiago.*









# Posibles aplicaciones del óxido de grafeno para mejorar las complicaciones de los accesos venosos

/ TERCER PREMIO

**AUTOR** | JORGE REGADERA CARRASCO

**COORDINADORA** | MINERVA MARTÍN GARCÍA

**CENTRO** | IES JAVIER GARCÍA TÉLLEZ

**CIUDAD** | CÁCERES

## RESUMEN |

Los accesos venosos tanto centrales como periféricos son el método más usado en contextos hospitalarios para la administración de fármacos, como por ejemplo, en los tratamientos de quimioterapia. También son usados en diálisis y en otros tratamientos que requieren mantener canalizado el acceso venoso por un tiempo prolongado aumentando la probabilidad de sufrir complicaciones graves como flebitis o infecciones. Nuestra propuesta se basa en aplicar Óxido de Grafeno (GO) en los catéteres con el propósito de reducir estas incidencias. En esta investigación hemos realizado un estudio in vitro de la citotoxicidad en células SH-SY5Y mediante ensayo colorimétrico de MTT. Las células se cultivaron con GO a diferentes concentraciones entre 200 y 0  $\mu\text{g/ml}$ , encontrando una citotoxicidad dosis dependiente y resultados prometedores por debajo de 50  $\mu\text{g/ml}$ . Esta característica, unida a su acción bactericida convierten al GO en un buen candidato para desempeñar la función propuesta.

## ABSTRACT |

The central and peripheral venous accesses are the most used method in hospital contexts for the administration of drugs, as for example, in chemotherapy treatments. They are also used in dialysis and other treatments that require maintaining a venous access channeled for a long time, increasing the likelihood of serious complications such as phlebitis or infections. Our proposal is based on applying Graphene Oxide (GO) in catheters with the purpose of reducing these incidences. In this research we have carried out an in vitro study of the cytotoxicity in SH-SY5Y cells by colorimetric MTT assay. The cells were cultured with GO at different concentrations between 200 and 0  $\mu\text{g/ml}$ , finding a dose-dependent cytotoxicity and promising results below 50  $\mu\text{g/ml}$ . This characteristic, together with its bactericidal action, make the GO a good candidate to perform the proposed function.



## 1. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

El grafeno es una sustancia compuesta por átomos de carbono empaquetados en una estructura hexagonal (panal de abeja), con hibridación  $sp^2$  en dos dimensiones y a una distancia carbono-carbono de 0.142 nm. Fue aislado de manera estable por primera vez a partir de grafito en el año 2004 mediante exfoliación mecánica, por Andre K. Geim y Konstantin S. Novoselov, quienes en el año 2010 comparten el Nobel de Física por su trabajo (Novoselov, Geim y col., 2004). A partir de entonces se genera un interés creciente por el grafeno y sus propiedades, debido a las cuales se ha propuesto para numerosas aplicaciones en nanotecnología y Biomedicina.

Entre sus derivados químicos se encuentra el Óxido de grafeno (GO), forma oxidada del grafeno que comparte su misma estructura pero incluye grupos funcionales intercalados que contienen oxígeno. Precisamente, este es el material empleado en esta investigación debido a propiedades como su alta biocompatibilidad, acción bactericida e incluso solubilidad en etanol o agua; lo cual facilita su aplicación y utilización en los procesos experimentales.

Por otra parte, como el objetivo principal de la labor investigadora consiste en indagar en la posible aplicación del grafeno como componente de los accesos venosos para reducir las complicaciones derivadas; debemos explicar en primer lugar, que un acceso venoso es cualquier canalización de un vaso venoso, ya sea periférico o central. Se trata de una técnica muy extendida en el ámbito sanitario, como por ejemplo, para la aplicación de una terapia intravenosa. Sin embargo, también pueden provocar una serie de complicaciones, siendo las más frecuentes la *bacteriemia*: presencia de bacterias en el torrente sanguíneo; y la *flebitis*: inflamación de la pared endotelial de los vasos sanguíneos y que suele ir acompañada de la formación de trombos, con el consecuente riesgo de infartos o ictus. Algunos datos reseñables son, por ejemplo, que en el año 2000 el Hospital Vall d' Hebron de Barcelona, registró una frecuencia de bacteriemias en pacientes con catéteres intravasculares centrales del 5,3% (Gago et al, 2018); mientras que se estima que entre el 10-30 % de los pacientes con un catéter intravenoso puede padecer flebitis de mayor o menor grado (Bellido, 2006).

Figura 01

Esquema explicativo de la flebitis. Fuente: (ADAM Education, n.d.).  
Fuente: <http://aia5.adam.com/content.aspx?productid=118&pid=5&gid=001108>





## 2. ANTECEDENTES

El grafeno ya ha sido ampliamente propuesto para ser empleado en el campo de la Biomedicina (Hess et al, 2013; Fiorillo et al, 2015; Aguirre, Rodríguez, 2017). Otros estudios relevantes relacionados con esta investigación serían:

Investigadores (Wells et al, 2017) han descubierto que la cubierta de plata de los catéteres actuales (con propiedad bactericida) reacciona con ciertos medicamentos quimioterápicos, reduciendo su efectividad y generando compuestos nocivos. Se ha estudiado paralelamente la reactividad química del grafeno (Muñoz, 2016) dando como resultado que este último es prácticamente inerte o, en todo caso, en presencia de reductores fuertes, generaría derivados del propio grafeno (Dreyer et al, 2009); por lo que no supondría un gran riesgo.

Otro trabajo (Gago et al, 2016) ha demostrado que el grafeno prístino few-layer fue capaz de inhibir entre 100 y 400 veces la colonización bacteriana de la placa petri en la que fue aplicado. Además, proponen usarlo en productos dirigidos a evitar las infecciones de heridas causadas en combate.

En base a nuestra propuesta, este trabajo podría considerarse pionero, pues no se han encontrado antecedentes en cuanto al uso de grafeno como componente de accesos venosos. Tampoco existen referencias a estudios de citotoxicidad sobre la línea celular empleada en nuestro trabajo.

## 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

Nuestra hipótesis se basa en el uso de este material para mejorar las complicaciones de los accesos venosos, recubriendo los catéteres de una fina lámina de GO. Gracias al Óxido de Grafeno esperamos reducir el índice de bacteriemias en base a sus propiedades bactericidas y reducir el índice de aparición de la flebitis, en la mayoría de casos causada por infección.

La acción bactericida del Óxido de Grafeno y derivados está ampliamente demostrada por investigaciones previas (Liu et al, 2012; Ji et al, 2016; Khan et al, 2015; Krishnamoorthy et al, 2012a; Krishnamoorthy et al, 2012b), pese a que el mecanismo por el cual el grafeno posee esta propiedad bactericida no está aún concretado. Por otra parte, existen diversas investigaciones enfocadas en el estudio (Wang et al, 2007; Pelin et al, 2017) de la biocompatibilidad y citotoxicidad del Óxido de Grafeno: su biocompatibilidad mejoraría aún más si se funcionaliza con grupos nitrogenados principalmente (Orecchioni, 2017).

En este trabajo proponemos un estudio in vitro para analizar la citotoxicidad del GO, realizando un cultivo celular y aplicando disoluciones de óxido de grafeno en distintas concentraciones.



## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

Para nuestra investigación, tal y como se ha referenciado, hemos empleado Óxido de Grafeno en polvo, debido a que es la forma idónea para la experimentación. Las diferentes disoluciones de óxido de grafeno y agua empleadas fueron obtenidas a partir de una disolución madre de GO y agua (1 mg/ml), preparada añadiendo 10 mg de GO en polvo a 9 ml de agua destilada tipo I y sonicando la disolución durante dos ciclos de 10 minutos (30 kHz). Posteriormente, a partir de esta disolución madre se elaboraron otras de diversas concentraciones (200 µg/ml, 100µg/ml, 50µg/ml, 10µg/ml, 5µg/ml y 1µg/ml).

### CULTIVO CELULAR

Las líneas celulares empleadas en el proyecto fueron de Neuroblastoma humano (SH-SY5Y), las cuales crecen en forma de monocapa en un soporte sólido para cultivos celulares. Para el cultivo celular se usó una placa de 96 pocillos con un volumen de 100 µL/pocillo, para lo que es necesario realizar las correspondientes suspensiones con el fin de obtener una concentración de 90.000 células/ml (valor para línea celular SH-SY5Y).

Una vez realizada la siembra se incubaron 24 horas en un incubador de cultivo a 37°C. Después de este tiempo y previa observación al microscopio óptico de la morfología y confluencia, se procede a tratarlas con GO, utilizando 4 pocillos por cada concentración (4×200 µg/ml, 4×100µg/ml, 4×50µg/ml, 4×10µg/ml, 4×5µg/ml y 4×1µg/ml), 4 pocillos con un control de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (2µL/ml), 4 pocillos de control solo GO en cada una de las concentraciones (1×200 µg/ml, 1×100µg/ml, 1×50µg/ml, 1×10µg/ml, 1×5µg/ml y 1×1µg/ml) y 4 pocillos con un control solo medio. Se deja actuar al tratamiento durante 6 horas en un incubador a 37°C antes del análisis y obtención de los resultados finales.

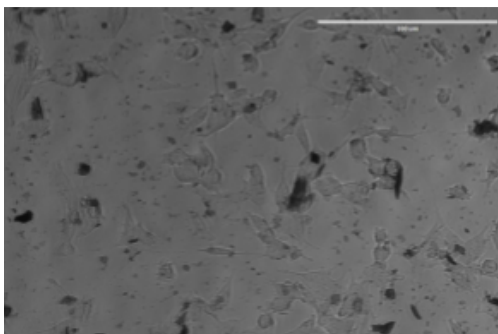
### ENSAYO DE LA VIABILIDAD CELULAR

Para contabilizar la viabilidad de las células tras el tratamiento con GO, 2 horas antes de la finalización del experimento se aplica al medio una disolución de 5 µL (5 mg/ml) de MTT con PBS.

#### Figura 02

Imagen al microscopio de las células con GO (200 µm), se pueden observar las láminas de GO (manchas negras).

Fuente: propia.





El MTT es un reactivo que es reducido sólo por células viables, transformándose en un compuesto de color lila en presencia de isopropanol ácido. Por lo tanto, la cantidad de formazán (color lila) será proporcional a la cantidad de células viables.

Esta cantidad se determina mediante espectrofotometría midiendo la absorción a 570 nm en un lector de placas, en nuestro caso el ASYS UVM 340.

## SEGURIDAD Y SALUD

En todo momento se siguieron normas de seguridad para la parte experimental en el laboratorio, usando el Equipo de Protección Individual pertinente: mascarilla, guantes, bata y gafas protectoras. También se empleó una cabina de bioseguridad.

## 5. RESULTADOS

### EFFECTO DEL GO SOBRE LA VIABILIDAD CELULAR

Para la interpretación de los resultados, se estima que el control (sólo medio) tiene una viabilidad del 100 %. Tal y como muestran las figuras, la viabilidad celular disminuye a medida que aumenta la concentración de GO en el medio.

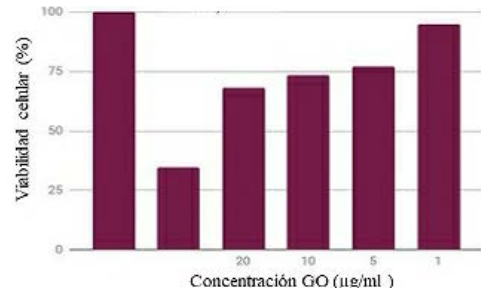
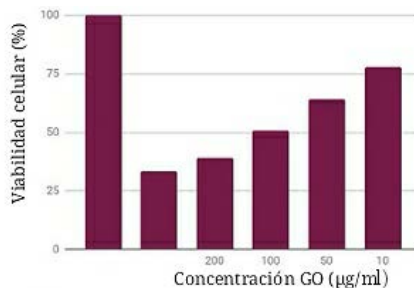
Los resultados fueron obtenidos a las 6 horas después de haberlas tratado con el Óxido de Grafeno. Como se puede observar, el porcentaje de viabilidad de las células es indirectamente proporcional a la concentración de GO.

Gráfica 01

Viabilidad celular frente a concentración de GO de 100 a 10  $\mu\text{g/ml}$ .

Gráfica 02

Viabilidad celular frente a concentración de GO de 20 a 1  $\mu\text{g/ml}$ .



Los resultados sugieren por tanto que la citotoxicidad del GO sobre las células SH-SY5Y es dosis dependiente. Por debajo de 50  $\mu\text{g/ml}$  la viabilidad supera el 50%. Por debajo de 10  $\mu\text{g/ml}$  la viabilidad es significativamente elevada, reflejando una citotoxicidad del GO muy baja. Debemos recordar que el GO empleado en esta investigación puede contener ciertas impurezas según detalla el fabricante; por lo que la viabilidad con un GO más puro o con mayor nivel de funcionalización química podría ser aún mayor. También, destacar que es difícil predecir la reacción del producto en el organismo, ya que el contexto para el desarrollo de nuestro trabajo se trata de un modelo in vitro.



## 6. CONCLUSIONES

El presente trabajo proporciona por primera vez un modelo in vitro para el estudio de los efectos del óxido de grafeno sobre células SH-SY5, encontrando una baja citotoxicidad del GO por debajo de 50  $\mu\text{g/ml}$  sobre nuestra línea celular (la línea SH-SY5Y tiene un elevado nivel de expresión, por lo que su reacción ante estímulos es muy fiable), los resultados abren la posibilidad de aplicar el Óxido de Grafeno para fines sanitarios.

Asimismo, en el hipotético uso del GO en catéteres iría aplicado en forma de imprimación en monocapa sobre el material del mismo, por lo que la interacción células-GO sería mucho menos directa que en nuestro experimento in vitro. La acción bactericida que posee lo hace idóneo para combatir bacteriemias e infecciones locales, una de las principales causas de flebitis. Otro beneficio, ya presentado anteriormente, sería sustituir el actual recubrimiento, basado en iones plata, que llevan los catéteres consiguiendo así evitar las interacciones entre distintos fármacos agresivos que se pueden aplicar por TIV (como los quimioterápicos).

Conviene señalar que el color negro profundo de la disolución de GO puede parecer un inconveniente a la hora de fabricar catéteres semitransparentes; como lo son la mayoría de los usados actualmente. Sin embargo el óxido de grafeno presenta alta transparencia óptica en el espectro visible ya que, aisladas las monocapas, es atómicamente delgado. Por este motivo, en nuestro prototipo se propone la aplicación del grafeno en monocapa, la cual transmite alrededor del 97.7% en la zona visible y por tanto es altamente transparente.

Nuestra propuesta se basa en aplicar una capa de Óxido de Grafeno, en forma de imprimación o pintura, sobre el material del catéter, en la parte que se fija dentro del vaso. Otra opción sería fabricar el catéter de un material compuesto de poliuretano y GO. Fabricar la aguja de punción también de algún material basado en grafeno sería muy beneficioso dado que este tiene un grosor de 1 o 2 átomos, lo que disminuiría considerablemente la flebitis de causa mecánica.

Por último, corresponde mencionar que esta hipótesis sería válida para catéteres venosos y arteriales por igual. Nosotros nos hemos centrado en los venosos debido a que son los más frecuentemente usados, además de haber más bibliografía disponible sobre índice de bacteriemias y flebitis.

## 7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Minerva Martín García (coordinadora del proyecto) y a Carmen Mena Marugán, también profesora del IES Javier García Téllez. También, mostrar mi gratitud a Mireia Niso Santano (PhD) y a Mario Rodríguez Arribas (PhD), del CIBERNED (Facultad de Enfermería y Terapia Ocupacional UEX), que me ayudaron y me explicaron todo el proceso para poder llevar a cabo el cultivo celular, que se realizó en dicha facultad.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Novoselov, K.S., Geim, A.K., Morozov, S.V., Jiang, D., Zhang, Y, Dubonos, S.V., Grigorieva, I.V., Firsov, A.A. (2004). ELECTRIC FIELD EFFECT IN ATOMICALLY THIN CARBON FILMS. *Science*, Vol. 306, [5696], pp. 666-669. DOI: 10.1126/science.1102896. [http://www.condmat.physics.manchester.ac.uk/pdf/mesoscopic/publications/graphene/Science\\_2004.pdf](http://www.condmat.physics.manchester.ac.uk/pdf/mesoscopic/publications/graphene/Science_2004.pdf)
- Rodríguez, A.; (Junio 2016) GRAFENO: SINTESIS, PROPIEDADES Y APLICACIONES BIOMÉDICAS. TFG, Facultad de Farmacia. UCM, Madrid  
<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ALBA%20RODRIGUEZ%20VILLALON.pdf>
- Graphenano Nanotechnologies; (Julio 2017) EL GRAFENO: PROPIEDADES Y APLICACIONES  
<https://www.graphenano.com/uploads/2017/11/Que-es-el-grafeno.pdf>
- Bosch, D.; (2014) ESTUDIO, APLICACIONES Y OBTENCIÓN DEL GRAFENO. Trabajo Bachillerato. Escuela Vedruna, Girona  
<http://www.nanomadrid.es/wp-content/uploads/2014/10/Trabajo-del-Grafeno.pdf>
- ABC; (Actualizado:10/07/2015 11:51h) EL GRAFENO, UN NUEVO ALIADO EN LA LUCHA CONTRA EL CÁNCER. ABC Ciencia  
<https://www.abc.es/ciencia/20150710/abci-grafeno-quimioterapia-tratamientos-201507100919.html>
- Applnano Solutions; (Marzo 2018) QUÉ ES EL GRAFENO: DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN  
<http://www.applnano.com/es/que-es-el-grafeno-definicion-y-descripcion/>
- The Graphene Box; MÉTODOS DE SÍNTESIS DEL ÓXIDO DE GRAFENO <https://www.thegraphenebox.com/es/documentacion-tecnica/metodos-de-sintesis-del-oxido-de-grafeno-26>
- Bellido, J.C.; Carrascosa, M.I.; García, F.P.; Tortosa, M.P. (Mayo 2006) GUÍAS CLÍNICAS, CUIDADOS EN ACCESOS VENOSOS PERIFÉRICOS Y CENTRALES DE INSERCIÓN PERIFÉRICA. Complejo Hospitalario de Jaén (CHJ) | <http://www.index-f.com/evidentia/n9/218articulo.php>
- Gago, M.; García, F.; García, S.; Carrero, M.; (Directores académicos), (2018) ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS EN TERAPIA INTRAVENOSA. (pág 11). Hospital Vall d' Hebron. Barcelona |  
[http://www.vygon.es/wp-content/uploads/sites/4/2015/08/terapia\\_intravenosa1.pdf](http://www.vygon.es/wp-content/uploads/sites/4/2015/08/terapia_intravenosa1.pdf)
- Tunkel, A.R.; (Mayo 2016) BACTERIEMIA. Warren Alpert Medical School of Brown University  
<https://www.msmanuals.com/es-es/professional/enfermedades-infecciosas/biolog%C3%A1-Da-de-las-enfermedades-infecciosas/bacteriemia>
- Akhavan, O.; Ghaderi, E.; (2010) TOXICITY OF GRAPHENE AND GRAPHENE OXIDE NANOWALLS AGAINST BACTERIA. Institute for Nanoscience and Nanotechnology, Sharif University of Technology. Iran  
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nn101390x>





- Hess, L.H.; Seifert, M.; Garrido, J.A.; (Julio 2013) GRAPHENE TRANSISTORS FOR BIOELECTRONICS. Institute of Electrical and Electronics Engineers | <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1302/1302.1418.pdf>
- Aguirre, J.A.; Rodríguez, N.; (Marzo 2017) CELL SURVIVAL AND DIFFERENTIATION WITH NANOCRYSTALLINE GLASS-LIKE CARBON USING SUBSTANTIA NIGRA DOPAMINERGIC CELLS DERIVED FROM TRANSGENIC MOUSE EMBRYOS. Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina, Universidad de Málaga <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0173978>
- Wells, J.; Kjaer, H.; Cooil, S.; Mazzola, F.; Hu, D.; Kjaervik, M.; Ramleth, E.; Trinh, T.; (Noviembre 2017) DEGRADATION OF THE CHEMOTHERAPY DRUG 5-FLUOROURACIL ON MEDICAL-GRADE SILVER SURFACES. Applied Surface Science, Elsevier [https://www.researchgate.net/publication/321329081\\_Degradation\\_of\\_the\\_chemotherapy\\_drug\\_5-fluorouracil\\_on\\_medical-grade\\_silver\\_surfaces](https://www.researchgate.net/publication/321329081_Degradation_of_the_chemotherapy_drug_5-fluorouracil_on_medical-grade_silver_surfaces)
- Muñoz, E.; (Septiembre 2016) EL GRAFENO: QUÍMICA Y APLICACIONES. Instituto de Carboquímica ICB-CSIC [http://www.gecarbon.org/boletines/articulos/BoletinGEC\\_041\\_art2.pdf](http://www.gecarbon.org/boletines/articulos/BoletinGEC_041_art2.pdf)
- Dreyer, D.; Park, S.; Bielawski, C.; Ruoff, R.; (Noviembre 2009) THE CHEMISTRY OF GRAPHENE OXIDE. Department of Chemistry and Biochemistry, Department of Mechanical Engineering. The University of Texas at Austin | <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2010/cs/b917103g>
- Fiorillo, M.; Verre, A.F.; Iliut, M.; Gandara, R.; Sotgia, F.; (Febrero 2015) GRAPHENE OXIDE SELECTIVELY TARGETS CANCER STEM CELLS, ACROSS MULTIPLE TUMOR TYPES: IMPLICATIONS FOR NON-TOXIC CANCER TREATMENT, VIA “DIFFERENTIATION-BASED NANO-THERAPY” MCCM, Institute of Cancer Science, University of Manchester, UK <http://www.oncotarget.com/index.php?journal=oncotarget&page=article&op=view&path%5B%5D=3348>
- Gago, I.; Molina, I.; León, G.; Miguel, B.; (Noviembre 2016) INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ANTIBACTERIANAS DEL GRAFENO. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Politécnica de Cartagena [https://www.academia.edu/29975053/Posibles\\_aplicaciones\\_del\\_grafeno\\_como\\_bactericida](https://www.academia.edu/29975053/Posibles_aplicaciones_del_grafeno_como_bactericida)
- Liu, S.; Hu, M.; Zeng, T. H.; Wu, R.; Jiang, R.; Wei, J.; Wang, L.; Kong, J.; Chen, Y. (Julio 2012). LATERAL DIMENSION-DEPENDENT ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF GRAPHENE OXIDE SHEETS. Langmuir. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/la3023908>
- Ji, H.; Sun, H.; Qu, X. (Octubre 2016). ANTIBACTERIAL APPLICATION OF GRAPHENE-BASED NANOMATERIALS. RECENT ACHIEVEMENTS AND CHALLENGES. Advanced Drug Delivery Reviews <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2016.04.009>





- Khan, M. S.; Abdelhamid, H. N.; Wu, H. F. (Marzo 2015). NEAR INFRARED (NIR) LASER MEDIATED SURFACE ACTIVATION OF GRAPHENE OXIDE NANOFILAKES FOR EFFICIENT ANTIBACTERIAL, ANTIFUNGAL AND WOUND HEALING TREATMENT. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092777651400736X>
- Krishnamoorthy, K.; Umasuthan, N.; Mohan, R.; Lee, J.; Kim, S. J. (Noviembre 2012b). ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF GRAPHENE OXIDE NANOSHEETS. *Science of Advanced Materials*.  
[https://www.researchgate.net/publication/235327332\\_Antibacterial\\_Activity\\_of\\_Graphene\\_Oxide\\_Nanosheets](https://www.researchgate.net/publication/235327332_Antibacterial_Activity_of_Graphene_Oxide_Nanosheets)
- Krishnamoorthy, K.; Veerapandian, M.; Zhang, L.; Yun, K.; Kim, S. J. (Julio 2012a). ANTIBACTERIAL EFFICIENCY OF GRAPHENE NANOSHEET AGAINST PATHOGENIC BACTERIA VIA LIPID PEROXIDATION. *The Journal of Physical Chemistry C*  
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp3047054>
- Wang, Y; Wu, S; Zhao, X; Su, Z; Du, L; Sui, A. (2007). IN VITRO TOXICITY EVALUATION OF GRAPHENE OXIDE ON HUMAN RPMI 8226 CELLS. Department of Hematology, Medical College of Qingdao University, China  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25226897>
- Pelin, M; Fusco, L; León, V; Martín, C; Criado, A; Sosa, S; Vázquez, E; Tubaro, A; Prato, M. (Enero 2017) DIFFERENTIAL CYTOTOXIC EFFECTS OF GRAPHENE AND GRAPHENE OXIDE ON SKIN KERATINOCYTES. Department of Life Sciences, University of Trieste, 34127 Trieste, Italy  
<https://www.nature.com/articles/srep40572>
- Orecchioni, M.; Bedognetti, D.; Newman, L.; et al. (Octubre 2017) SINGLE-CELL MASS CYTOMETRY AND TRANSCRIPTOME PROFILING REVEAL THE IMPACT OF GRAPHENE ON HUMAN IMMUNE CELLS. Department of Chemistry and Pharmacy University of Sassari, Italy  
<https://www.nature.com/articles/s41467-017-01015-3>

#### LINK AL TRABAJO COMPLETO

Academia.edu:

[https://www.academia.edu/40701925/Posibles\\_aplicaciones\\_del\\_óxido\\_de\\_grafeno\\_para\\_mejorar\\_las\\_complicaciones\\_de\\_los\\_accesos\\_venosos?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/40701925/Posibles_aplicaciones_del_óxido_de_grafeno_para_mejorar_las_complicaciones_de_los_accesos_venosos?source=swp_share)



# El mejillón cebra, *Dreissena polymorpha*. Biología y modelización de la distribución por las aguas continentales de Cataluña

---

/ ACCESIT

**AUTORA** | ITZIAR LARUMBE BELLOSTES

**COORDINADORA** | MARÍA DEL ROSER LÓPEZ DE ZAMORA USÓN

**CENTRO** | IES MARIUS TORRES

**CIUDAD** | LLEIDA

## RESUMEN |

Una especie exótica invasora (EEI) puede traer consecuencias muy graves para un ecosistema. Por este motivo, he abordado el tema de las EEI en Cataluña, escogiendo para ello una de las 100 especies más dañinas y que generan más impacto en sistemas de todo tipo: el mejillón cebra.

El trabajo se estructura en tres bloques: primeramente he llevado a cabo una búsqueda de información de las EEI en general y particularmente del mejillón cebra para conocer la especie, así como he entrevistado a biólogos y expertos en el bivalvo. Seguidamente he realizado un muestreo en un embalse de la plana de Urgell (Lleida), donde se hizo un tratamiento de agua oxigenada y vinagre en 2017, y se quería ver si, un año después, el tratamiento fue efectivo. Finalmente, he hecho una modelización que me ha permitido conocer las zonas de Cataluña por donde puede expandirse el mejillón y ver las capacidades de aplicación a otros EEI. Hay varias herramientas de modelización, yo he optado por el programa MAXENT. Este programa compara la presencia de citas del animal (lugar donde se encuentra el mejillón) con una serie de mapas de parámetros en un territorio como lo es Cataluña. Según la relación entre los parámetros y la localización actual de la especie, el programa es capaz de realizar un mapa general previsible de presencia por todo el territorio considerado, en este caso, Cataluña. De esta manera he podido saber en qué áreas sería de vital importancia aplicar medidas de prevención y así evitar grandes pérdidas económicas y medioambientales.



## ABSTRACT |

An invasive alien species (IAS) can have very serious consequences for an ecosystem. For this reason, I have addressed the issue of IAS in Catalonia, choosing for this one of the 100 most harmful species and that generate more impact on systems of all kinds: the zebra mussel.

The work is structured in three blocks: first, I have carried out a search for information on the IAS in general and particularly the zebra mussel to know the species, as well as interviewing biologists and experts in the bivalve. Next, I carried out a sampling in a reservoir of the Urgell plan where a treatment of oxygenated water and vinegar was made in 2017 and we wanted to see if the treatment was effective. Finally, I have done a modeling that has allowed me to know the areas of Catalonia where the mussel can expand and see the application capabilities to other IAS. There are several modeling tools, I opted for the MAXENT program. This program compares the presence of citations of the animal (where the mussel is located) with a series of parameter maps in a territory such as Catalonia. According to the relationship between the parameters and the current location of the species, the program is capable of making a general predictable map of presence throughout the territory considered, in this case, Catalonia. In this way I have been able to know in which areas it would be of vital importance to apply preventive measures and thus avoid great economic and environmental losses.



## 1. INTRODUCCIÓN

En Cataluña en particular, las EAI son un problema creciente. La prueba es que la Generalitat ha tenido que generar una página llamada EXOCAT ([http://exocat-db.creaf.cat/base\\_dades/](http://exocat-db.creaf.cat/base_dades/)) sobre la presencia de EAI que cuenta ya con más de 1.270 especies, lo que da una idea de la magnitud del problema durante los próximos años. Por este motivo, me ha parecido oportuno abordar en mi Trabajo de Investigación el tema de las EAI en Cataluña, escogiendo para ello una de las especies que todos los expertos coinciden en que puede ser más nociva y generar más impacto en sistemas de todo tipo: el mejillón cebra.

## 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 2.1. HIPÓTESIS

- Cuando hay un animal alóctono en un territorio con unas condiciones medioambientales y hábitat determinados hay una probabilidad alta de que este se expanda hacia los territorios con las mismas condiciones ambientales o similares.
- Se pueden prever las zonas más propensas a ser colonizadas por mejillón cebra.
- Los muestreos son una buena técnica preventiva contra el mejillón cebra
- El mejillón cebra, con su propagación, afecta al medioambiente y a sectores económicos estratégicos.

### 2.2. OBJETIVOS

- Obtener un conocimiento exhaustivo del mejillón cebra para aplicarlo en la modelización en la parte práctica II.
- Averiguar los lugares hacia donde es más posible que la especie del mejillón cebra se expanda durante los próximos años.
  - Saber interpretar los resultados de los mapas y gráficos obtenidos.
  - Prever los impactos que puede causar en zonas determinadas.
  - Estudiar estrategias de reducción del impacto y de prevención por la posible invasión del mejillón cebra en las masas de agua de Cataluña.
- Aprender a utilizar herramientas y programas informáticos de estadísticas MAXENT y ARCGIS: modelos predictivos de distribución de especies.

## 3. MARCO PRÁCTICO I: MUESTREO EN EL CANAL DE URGELL

El año pasado (2017) se hizo un tratamiento de agua oxigenada y vinagre en la zona de la plana de Urgell. Un año después (2018) se quiere ver si el tratamiento ha sido efectivo. El objetivo concreto en este embalse es recoger muestras de agua en un medio acuífero con el fin de detectar si dentro de este hay larvas de mejillón cebra. Se llevarán a cabo diferentes recogidas de agua de la balsa, tanto



de la parte superior (en el embalse) como de la inferior (en la arqueta).

### 3.1. MATERIAL

- Bomba de extracción de agua
- Dos mangueras
- Cuerda
- Pote esterilizado
- Agua destilada
- Pote de formol
- Centrifugadora
- Cuentagotas
- Microscopio de contraste de fases
- Generador
- Contador eléctrico de litros
- Filtro de 50 micras
- Cubo
- Peróxido
- Cuentagotas
- Contraste de fases
- Placas de Petri
- Cuatro vasos centrífugos

### 3.2. METODOLOGIA

**1. La recogida de agua en la arqueta y recogida de agua en el embalse:** Recoger una cantidad de agua suficiente, para tener la seguridad de que en caso de haber larvas circulantes, alguna debe estar en la cantidad de litros recogido. En nuestro caso se recogen 200L en la arqueta y 200L en el embalse. Una vez recogida la muestra, filtrar el agua para que toda partícula por encima de las 50 micras quede en un pequeño bote.

**2. Limpieza del equipo:** Como posiblemente habrán quedado larvas de mejillón en el material, limpiar el material con peróxido para evitar la contaminación a otras aguas.

**3. Observación de las muestras:** Someter las muestras a un centrifugado, separando la parte del agua limpia de los posos donde quedan las larvas que hubiera. Finalmente, examinar el poso concentrado a través un microscopio de contraste de fases, ya que se ha comprobado que la luz polarizada deja evidente una marca cálcica peculiar que tienen las larvas de mejillón cebra, pudiéndose así no sólo determinar la presencia de estas larvas, sino también su abundancia por litro de agua recogido.

## 4. MARCO PRÁCTICO II: MODELIZACIÓN DE LA EXPANSIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA EN CATALUÑA

La modelización es una herramienta informática que se está convirtiendo indispensable para el trabajo de prevención y erradicación de EEI, ya que permite optimizar medidas de gestión donde se pueda prever que las especies invasoras



alcanzarán las máximas densidades y, en consecuencia, generarán los efectos nocivos.

Hay varias herramientas de Modelización, yo he optado por el programa MAXENT, que es una aplicación relativamente poco complicada que se ha utilizado para hacer otras modelizaciones en Cataluña.

#### 4.1. MATERIAL

- **APLICACIÓN ArcMap 10.5:** Se ha utilizado para transformar los datos de las variables que posteriormente introduciré al MAXENT a formato Raster, el formato con el que trabaja MAXENT.

- **PROGRAMA MAXENT:** Es el programa que lleva a cabo la modelización. A partir de las citaciones y los parámetros nos proporciona un conjunto de gráficas, tablas y mapas que nos advierten de la distribución potencial del mejillón cebra.

- **CITACIONES - SITIOS CON PRESENCIA DE MEJILLÓN CEBRA:** Para modelizar la presencia de mejillón cebra debemos partir de un mapa de datos de presencia detectadas.

- **MAPAS DE LOS PARÁMETROS:** También se ha partido de los parámetros restrictivos o favorecedores para la presencia del mejillón cebra. El trabajo se centra en la obtención de los siguientes parámetros: temperatura media del agua, pH, concentración de materia orgánica disuelta (condiciona la nutrición del animal), concentración de calcio disuelto y conductividad.

#### 4.2. METODOLOGÍA

**1. Recopilación de datos:** El programa MAXENT necesita dos ficheros. Por un lado necesita un registro de muestras encontradas dentro del territorio que se quiere estudiar (en este caso es Cataluña), y por otro un registro de los factores que condicionan la presencia de la especie también de Cataluña. Con estos datos, el programa nos mostrará los lugares del territorio donde existen condiciones óptimas por el mejillón, por lo tanto, los más propensos a ser colonizados.

a. Obtener datos de dónde se encuentra el mejillón cebra en Catalunya – en la web exocat

b. Obtener datos de parámetros que condicionan la presencia del mejillón cebra – proporcionados por la agencia catalana del agua.

**2. Adecuación de datos para su posterior introducción al MaxEnt:** MAXENT, como todos los programas informáticos, trabaja con un formato determinado de archivos. Por lo tanto, transformar las citaciones, que están en formato base de datos DBF en CSV separado por comas, y los parámetros en formato excel XLS en formato TEXTO (ASCII).

**3. Introducción de los datos al MaxEnt**



## 5. RESULTADOS

### 5.1. RESULTADOS DEL MUESTREO

Se ha detectado la presencia de ejemplares de larvas de mejillón cebra en el embalse donde se llevó a cabo el muestreo, por lo tanto, también hay mejillón cebra adulto.

Sin embargo, después de hacer el recuento de las larvas que se han obtenido en las muestras del embalse, la hemos comparado con el número de larvas que se encontraron en el mismo embalse del año pasado (2017) y hemos visto que la concentración de larvas ha disminuido desde el último muestreo, el cual se hizo antes de hacer la limpieza con agua oxigenada y vinagre. Por este hecho, podemos concluir que la razón de esta disminución de la concentración del número de larvas en el agua es debido a esta limpieza.

### 5.2. RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN

Después de introducir los datos en el programa MAXENT los resultados obtenidos son los que se muestran a continuación:

#### Análisis pormenorizado de las variables (jackknife)

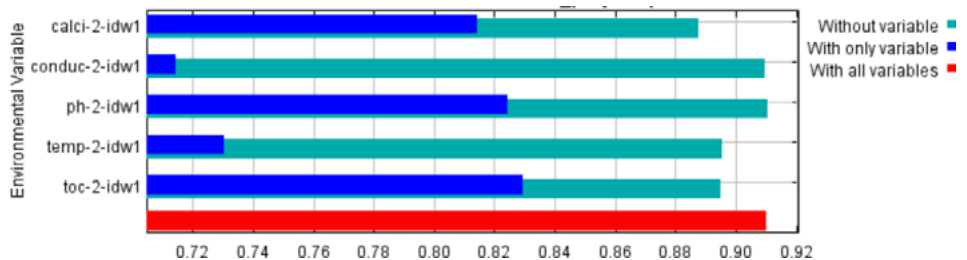


Figura 01

Análisis pormenorizado de las variables.  
Fuente: propia.

La barra roja nos muestra que el modelo, llega a un nivel de significación del 0.91 (91%). Esto indica que el modelo, con estas variables, tiene un alto nivel predictivo. Por lo tanto, la inclusión de nuevos parámetros en la modelización no aportará una mayor fiabilidad al modelo, por el que podemos darlo por significativo y fiable. El análisis del gráfico también indica que hay tres factores que condicionan más intensamente la presencia y densidad del mejillón cebra en una zona una vez la haya colonizado: calcio, materia orgánica disuelta y pH.

#### Response curves

CALCIO (mg de  $\text{CaCO}_3$  / L)

El rango más interesante para la presencia del MC está entre los 100-150 mg de Carbonato Cálcico por litro de agua. Estas condiciones se dan en toda Catalu-



ña excepto los extremos más bajos y los más altos: Pirineos y en las zonas de Cataluña Central.

#### CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ )

Las aguas que presentan una conductividad por debajo de los  $1.000 \mu\text{S} / \text{cm}$  no son muy aptos para el animal, como ocurre con las zonas pirenaicas. Pero a partir de llegar a estos niveles de conductividad, no parece ser un factor que incida mucho en la presencia del mejillón cebra.

#### pH

Las aguas serán poco aptas para este hasta que no lleguen a un pH de 7,5. Este hecho que podría parecer un factor limitante muy determinante, no lo es tanto en Cataluña, ya que la mayoría de nuestras aguas tienen un pH por encima de este 7,5, excepto en los Pirineos axiales.

#### TEMPERATURA ( $^{\circ}\text{C}$ )

El mejillón cebra muestra predilección por temperaturas entre 11 y 15 grados. Estas temperaturas óptimas, en Cataluña se encuentran en buena parte del territorio menos el Pirineo y la veguería de Barcelona.

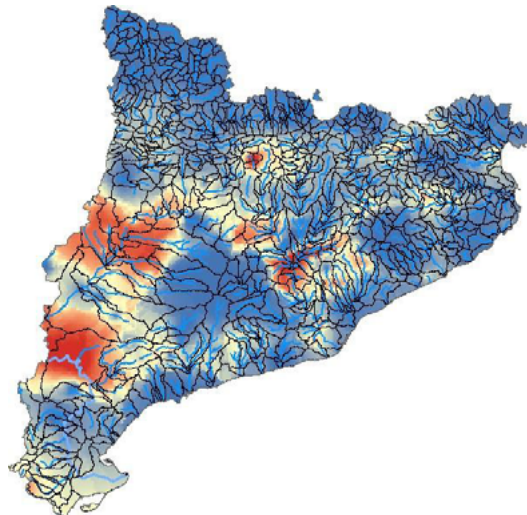
#### MATERIA ORGÁNICA (TOC, total organic carbon) ( $\text{mg C} / \text{L}$ )

El rango óptimo de su presencia oscila entre 1 y  $5 \text{mg C} / \text{L}$ . A partir de este nivel se reduce hasta que desaparece por completo. En Cataluña, las zonas que tienen la MO óptima para el mejillón cebra cubren la mayoría de territorio, excepto Tarragona.

#### Mapa resultante del análisis y la modelización de Cataluña

Figura 02

Mapa de la distribución del MC en Cataluña.  
Fuente: propia.







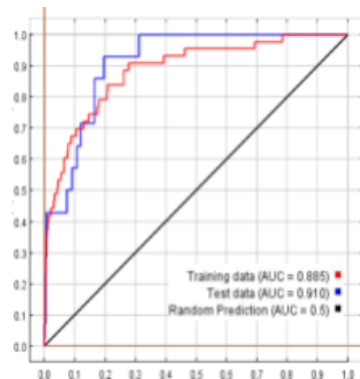
Atendiendo al análisis previamente efectuado y en función de los parámetros existentes en los ríos, MAXENT realiza un mapa de Modelización de la posible ocupación del mejillón cebra tras transcurrir el tiempo necesario.

El mapa obtenido de la modelización se puede dividir en zonas como se ven en la anterior imagen. En particular una serie de seis zonas presentan una alta potencialidad para la presencia de mejillón cebra (color amarillo) y otras cinco una muy alta potencialidad (color marrón). Estas últimas cinco zonas son muy relevantes y es donde se debería aplicar una especial atención en la lucha contra este animal invasor. Es una superficie que sobrepasa los 4.560 km<sup>2</sup>, que representa el 14% del territorio catalán.

Con el fin de probar la veracidad del modelo, MAXENT realiza un análisis representado en un gráfico:

Figura 03

Porcentaje de superficie del modelo tomado en base a las áreas de máxima probabilidad hasta las de menor probabilidad.  
Fuente: propia.



El significado de este gráfico se encuentra en la relación entre el porcentaje de citas (eje de las ordenadas) y la superficie prevista de máxima probabilidad según el modelo (eje de abscisas).

Para calcular el porcentaje de fiabilidad de los resultados que nos da y MAXENT, calcularemos el área que se encuentra bajo las curvas, en ángulos Area Under Curve (AUC). En nuestro caso, la valoración con los datos con las que hemos realizado el modelo básico alcanza el 88'5% (área bajo la curva roja). Incluso se supera el 91% si hacemos el mismo análisis para los datos del test (un 25% de los datos totales escogidas al azar), lo que ya había sido señalado en el análisis Jackknife. **Nuestro modelo tiene un gran nivel de fiabilidad de predicción.** Estos niveles de significación son suficientes para considerar fiable el modelo y obtener conclusiones.

## 6. CONCLUSIONES

Erradicar el mejillón cebra es a día de hoy imposible en masas de agua naturales una vez se ha instalado en ellas, los efectos de su propagación pueden afectar a la diversidad biológica, a la extinción de especies nativas, e incluso,



puede llegar a cambiar el paisaje. Por esto es necesario una actuación que debe orientarse hacia la prevención de su expansión y la mitigación de los impactos. Los muestreos, como se ha podido ver, es un ejemplo de las técnicas útiles para prevenir el mejillón cebra.

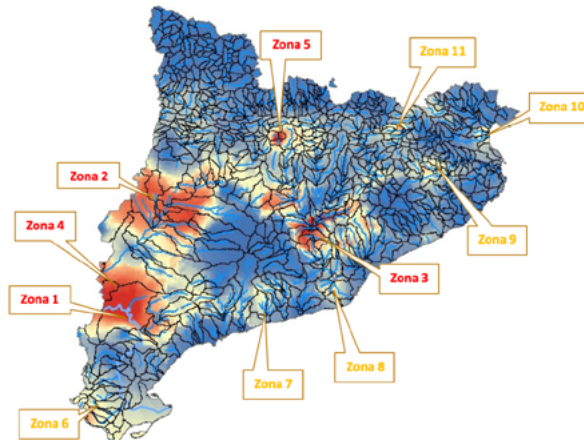
### 6.1. CONCLUSIONES DE LA MODELIZACIÓN

Como se ha podido ver gracias al programa MAXENT, cuando un animal como el mejillón cebra se encuentra en un territorio con unas condiciones medioambientales y hábitat determinados hay una probabilidad alta de que este se expanda hacia los territorios con las mismas condiciones ambientales o similares. También se han podido prever estas zonas con las condiciones ambientales óptimas para la supervivencia del mejillón cebra hacia las cuales es más posible que sean colonizadas por el bivalvo.

El modelo territorial nos indica que **no toda Cataluña presenta la misma aptitud para la presencia del mejillón cebra**. En el mapa siguiente se ven indicadas las cinco zonas con mas probabilidades de ser colonizadas por el animal invasor (zonas en rojo) y otras seis zonas de importancia secundaria (en amarillo).

Figura 04

Mapa per zones de la aptitud per a la presencia del mejillón cebra.  
Fuente: propia.



#### ZONA 1: RIBERA DEL EBRO

Toda la zona de la Ribera del Ebro, con el centro en Flix, presenta una alta vulnerabilidad para la presencia de mejillón cebra. Si el mejillón cebra llega a colonizar esta zona nos encontramos con dos tipos de actividades humanas que se verán muy afectadas: una amplia zona agrícola de regadío, que se verá muy afectada ya que el mejillón cebra colapsará los canales de riego y algunas industrias, en particular la Central Nuclear de Ascó y su sistema previsto de refrigeración.



## ZONA 2: COMARCA DE BALAGUER

Toda la zona agrícola de Balaguer es también muy propensa a la presencia del mejillón cebra. En los sistemas de riego debe plantearse poner filtros para garantizar la no entrada de larvas de mejillón cebra. Esto puede representar fuertes inversiones que encarecerían los productos. La alternativa de no hacerlo puede representar unas consecuencias muy graves para el sector primario en Lleida.

## ZONA 3: AREA DE MANRESA

Manresa, ligada al río Llobregat, parece ser también muy apta para la presencia de mejillón cebra. En la zona de Manresa se encuentran más de 500 empresas, muchas de ellas utilizan el agua para la producción. El trabajo de prevención en este importante foco industrial puede convertirse en vital para la zona, ya que pueden causar la obstrucción parcial o total de rejillas, conducciones de agua y equipos de bombeo entre otros. También pueden sobre calentar los circuitos de refrigeración.

## ZONA 4: ZONA DE VALLMANYA

Vallmanya, de unos 260 km<sup>2</sup>, mostró también una mayor predisposición a la presencia del mejillón cebra. Para solucionar el problema debe plantearse poner filtros en los sistemas de riego para garantizar la no entrada de larvas de mejillón cebra. Aunque esto represente una fuerte inversión, la alternativa de no hacerlo puede representar unas consecuencias muy graves para el sector primario.

## ZONA 5: SUBCONCA DEL CARDENER (LA COMA)

La zona de La Coma, cerca del río Cardener, también se da unos condicionantes propicios que justifican la presencia del mejillón. El río Cardener atraviesa pueblos de atractivo turístico (Port del Compte, St. Llorenç de Morunys, Cardona), y las actividades de ocio relacionadas con el agua podrían verse afectadas. También se podrán ver afectadas las 5 estaciones de aguas residuales domésticas que se encuentran en su cuenca debido al fouling.

## ZONAS 6, 7, 8, 9, 10 Y 11

Tras estas cinco zonas principales pueden determinarse otras seis zonas de importancia secundaria, es decir, que no tienen una probabilidad tan alta de ser colonizada como la de las zonas anteriores, aunque esta siga siendo bastante elevada.

Zona 6: zonas de regadío alrededor de carrascal a la frontera con la comunidad valenciana; zona 7: comarca del penedés; zona 8: castelldefels; zona 9: área de



girona, en el entorno del fluvià; zona 10: bahía de roses, alrededor de empúria brava; zona 11: olot.

### ZONAS CON BAJA SUSCEBILIDAD DE PRESENCIA DEL MEJILLÓN

Se puede observar que también hay zonas no susceptibles para la presencia de mejillón cebra. La franja pirenaica y buena parte de la pre pirenaica muestran temperaturas del agua por debajo los 10 e incluso los 9 grados, lo que dificulta mucho la implantación del mejillón cebra. Contribuyen a ello un pH más ácido, por debajo de 8, una baja conductividad y una baja concentración de Calcio.

#### 6.3. RESUMEN

- El rango óptimo para la presencia del bivalve está entre 50 y 200 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ .
  - Las aguas con una conductividad más apta son las de a partir de 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
  - El pH óptimo del mejillón cebra es a partir del 7.5. Este condiciona en un grado muy alto la presencia del mejillón pero como generalmente las aguas continentales de Cataluña tienen un pH óptimo este factor no será tan condicionante en nuestro territorio.
    - El mejillón muestra predilección por temperaturas de agua entre 11 y 15°C.
    - El rango óptimo de materia orgánica disuelta en el agua es entre 1 y 5 mg C/L.
    - En Cataluña encontramos una serie de cinco zonas que tienen muy alta potencialidad para la presencia de mejillón cebra. En estas es donde se debería aplicar una especial atención en la lucha contra este animal invasor. Estas zonas se encuentran en la Ribera del Ebro, en la comarca de Balaguer, a la del área de Manresa, a Vallmanya y la subcuenca del Cardoner.
      - En Cataluña también encontramos otras seis zonas que presentan una alta potencialidad para la presencia del animal invasor.
        - La franja pirenaica de Cataluña y buena parte de la prepirenaica es una zona con baja susceptibilidad de presencia de mejillón cebra.
        - Los impactos causados el mejillón cebra en Cataluña son: colapso de los canales de riego, colapso del circuito del sistema de refrigeración en industrias como la Central Nuclear de Ascó, obstrucción parcial o total de rejillas, conducciones de agua y equipos de bombeo entre otros y pérdida de atractivo turístico.



## BIBLIOGRAFIA

- Murphy, T. (2008). *Dreissena polymorpha*.  
[https://animaldiversity.org/accounts/dreissena\\_polymorpha/](https://animaldiversity.org/accounts/dreissena_polymorpha/)
- Álvarez, R. (2010). *Diez preguntas y respuestas fundamentales sobre la presecia del mejillón cebra en España*.  
<http://www.naturalezadearagon.com/fauna/mejillon.php>
- Wikipedia. (2018). *Zebra mussel*. [https://en.wikipedia.org/wiki/zebra\\_mussel](https://en.wikipedia.org/wiki/zebra_mussel)
- Confederación hidrográfica del Ebro. (2006, Septiembre). *Características generales de la biología y el comportamiento del mejillón cebra*.  
[www.chebro.es/contenido.streamFichero.do?idBinario=9943](http://www.chebro.es/contenido.streamFichero.do?idBinario=9943)
- Cia Abaurre, I. (2008). *Ecología del mejillón cebra (Dreissena polymorpha) en el tramo inferior del río Ebro. Problemática y posibilidades de control*.  
[http://www.anhidra.com/Publicaciones/Entradas/2008/10/20\\_La\\_tesis\\_doctoral\\_sobre\\_el\\_mejillon\\_cebra\\_\(Dreissena\\_polymorpha\)\\_files/MEJILLON\\_CEBRA\\_INT.pdf](http://www.anhidra.com/Publicaciones/Entradas/2008/10/20_La_tesis_doctoral_sobre_el_mejillon_cebra_(Dreissena_polymorpha)_files/MEJILLON_CEBRA_INT.pdf)
- Agencia Vasca del Agua.(2011, Diciembre) *Asistencia técnica en relación a la Susceptibilidad de las masas de agua de la Comunidad Autónoma del País Vasco al asentamiento del mejillón cebra (Dreissena polymorpha)*  
[http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000376/es/contenidos/informacion/invasoras\\_mejillon\\_cebra\\_2014/es\\_def/adjuntos/0%20memoria.pdf](http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000376/es/contenidos/informacion/invasoras_mejillon_cebra_2014/es_def/adjuntos/0%20memoria.pdf)
- Agencia Vasca del Agua. (2009) *Asistencia técnica para el control larvario de Dreissena polymorpha en aguas del país vasco*.  
[http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000376/es/contenidos/informacion/invasoras\\_mejillon\\_cebra\\_2014/es\\_def/adjuntos/MC\\_URA\\_2009\\_deteccion\\_larvas\\_cast.pdf](http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000376/es/contenidos/informacion/invasoras_mejillon_cebra_2014/es_def/adjuntos/MC_URA_2009_deteccion_larvas_cast.pdf)
- Agencia Vasca del Agua. (2014) *Evaluación del impacto causado por el mejillón cebra (dreissena polymorpha) sobre las poblaciones de bivalvos autóctonos en el sistema de embalses del zadorra (urrúnaga y ullíbarri-gamboa)*  
[http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000376/es/contenidos/informacion/invasoras\\_mejillon\\_cebra\\_2014/es\\_def/adjuntos/nayades\\_2014.pdf](http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000376/es/contenidos/informacion/invasoras_mejillon_cebra_2014/es_def/adjuntos/nayades_2014.pdf)
- Arenas Camps, M. (2015, 23 de Julio). *¿Qué es una especie exótica y una invasora?*  
<https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2015/07/23/especies-exotica-invasora/>
- IAGUA. (2017) *El Dreissena polymorpha. Lo que debes conocer de esta especie invasora*.  
<https://www.iagua.es/noticias/espana-brasil-portugal/technymar-soluciones/17/04/28/dreissena-polymorpha-lo-que-debes>
- Agencia Vasca del Agua. (2018, Marzo) *Plan de acción para el control del mejillón cebra en la Comunidad Autónoma del País Vasco*.  
[http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000376/es/contenidos/informacion/invasoras\\_mejillon\\_cebra\\_2014/es\\_def/adjuntos/Plan\\_MC\\_2018-2020.pdf](http://www.uragentzia.euskadi.eus/u81-000376/es/contenidos/informacion/invasoras_mejillon_cebra_2014/es_def/adjuntos/Plan_MC_2018-2020.pdf)



Durán, C; Montoro, C; Maña, M. (2017) *Plan de choque contra la invasión del mejillón cebra en la confederación hidrográfica del Júcar 2017-2021*

<https://www.chj.es/es-es/medioambiente/mejilloncebra/Documents/Plan%20de%20choque%20mejill%C3%B3n%20cebra%20Fase%201%202017%20Nov%2020.pdf>

Dogc. (2010, 15 de Noviembre) *Pla especial de protecció del medi natural i del paisatge dels espais naturals protegits de la plana de Lleida i el Pla de gestió d'aquests espais.*

[http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/patrimoni\\_natural/senp\\_catalunya/espais\\_sistema/n707\\_docs\\_comuns/acord\\_gov\\_185\\_2010.pdf](http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/patrimoni_natural/senp_catalunya/espais_sistema/n707_docs_comuns/acord_gov_185_2010.pdf)

Esri. (2016) *Qué es ArcMap.*

<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap.htm>





## Análisis de las propiedades bactericidas de la plata

---

/ ACCESIT

**AUTORES** | ADRIÁN GIL KORILIS, JAVIER GONZÁLEZ DE ECHÁVARRI ORBAIZ  
Y MIHAIL COJOCARU

**COORDINADOR** | PABLO ALVIRA IRAIZOZ

**CENTRO** | CC SAN IGNACIO

**CIUDAD** | PAMPLONA-NAVARRA

### RESUMEN |

La resistencia adquirida a antibióticos por parte de las bacterias ha hecho que cada vez un mayor número de estas sustancias se tornen inefectivas. Por lo tanto, resulta imprescindible determinar nuevos materiales que puedan sustituir a aquellos cuyas funciones son ya nulas. La presente investigación se llevó a cabo con el objetivo de constituir la plata como un componente habitual de los antibióticos, partiendo de sus ya conocidas propiedades bactericidas. El método experimental utilizado fue el conocido como antibiograma disco-placa o método Kirby-Bauer. En el proceso experimental la plata se usó en forma de plata coloidal, mientras que la bacteria *Escherichia coli* fue utilizada como material biológico. Finalmente, se determinó que la actividad antibacteriana del metal era observable a partir de los 50 mg/L. El equipo de investigación, formado por alumnos del Colegio San Ignacio Jesuitas Pamplona, llevó a cabo este estudio entre los meses de octubre de 2018 y enero de 2019, teniendo lugar parte de la fase experimental en los laboratorios de Ciencias del Medio Natural de la Universidad Pública de Navarra (UPNA).





## ABSTRACT |

The resistance that some bacteria have acquired to antibiotics means that an increasing number of these substances is turning ineffective. Therefore, it is essential to find new materials that can replace those that do not work anymore. The present investigation was carried out with the objective of making silver a usual component of antibiotics, starting from its already known bactericidal properties. The experimental method used is known as the disk-plate antibiogram or Kirby-Bauer method. In the experimental process, silver was used in colloidal form, while *Escherichia coli* was used as the biological material. Finally, it was determined that the antibacterial activity of the metal was observable at a concentration of 50 mg/L. The research team, made up of students from the San Ignacio Jesuitas Pamplona School, carried out this study between October 2018 and January 2019, and a part of the experimental work took place in the laboratories of Natural Sciences of the Public University of Navarra (UPNA).



## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Las propiedades antibacterianas de la plata se conocen desde la antigüedad, dado que este material se lleva utilizando con fines médicos desde la Edad Antigua. En la Grecia Clásica ya se usaba un polvo obtenido a partir de este metal como bálsamo para heridas o como desinfectante de recipientes de almacenaje de alimentos. Sin embargo, no tardó en observarse que si era ingerida podía llegar a resultar tóxica, por lo que se redujo su uso a simples aplicaciones tópicas. En el siglo XIX se descubrió que su absorción por parte de los tejidos humanos es limitada. La introducción de los antibióticos en la década de 1940 contribuyó a que la plata mantuviese su campo de actuación tópico, como pomadas para quemaduras y heridas [[www.smith-nephew.com](http://www.smith-nephew.com)].

La acción bactericida de la plata está relacionada con los radicales libres de oxígeno ( $O^{2\cdot-}$ ), los cuales son productos normales del metabolismo de toda célula. Al estar cargados negativamente, pueden unirse a proteínas y causar daños, aunque es cierto que la propia célula posee mecanismos para eliminarlos. La plata es capaz de alterar los procesos de producción de radicales libres, provocando tal aumento de la producción de  $O^{2\cdot-}$  que la bacteria no es capaz de eliminarlos. Por lo tanto, tras sufrir inflamaciones y daños en el ADN el microbio acaba por morir [Huma et al, 2018; Dayem et al, 2017; [www.cun.es](http://www.cun.es)]. Para el año 2025 se prevé la producción de más de 800 toneladas de plata, formando parte de más de 1800 productos diferentes. Sin embargo, sólo una proporción muy pequeña de este volumen será destinada al campo de los antibióticos. Esto es debido, como ya se ha mencionado anteriormente, a que la plata puede llegar a ser tóxica para el ser humano.

El desarrollo de sistemas de medición capaces de estudiar la escala nanométrica ha permitido la caracterización de las conocidas como *nanopartículas de plata*. Según la ISO (*International Organization for Standardization*), “un nanomaterial es un material con cualquier dimensión externa en la escala nanométrica (“nano-objeto”) o que tenga una estructura interna o superficial en la escala nanométrica (“material nanoestructurado”)”. Sin embargo, cabe destacar la polémica existente entre esta y más descripciones, pues aún no se ha establecido si lo que es llamado como “material nanoestructurado”, como una nanofibra, puede ser considerado una nanopartícula a pesar de que una de sus dimensiones sea mayor que la escala nanométrica. Esta está definida como el rango desde aproximadamente 1 a 100 nanómetros,  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ).

Lo que sí que se puede entender es que las nanopartículas de plata presentan un tamaño realmente reducido, lo que les permite introducirse en el interior de las bacterias, y de cualquier célula, sin prácticamente impedimento alguno. Esta entrada puede darse bien por endocitosis, la célula incorpora partículas extracelulares englobándolas con la membrana plasmática, o también por difusión, flujo de moléculas a través de una membrana permeable [Nowack, Krug y Height, 2011; Calderón-Jiménez et al, 2017; [www.iso.org](http://www.iso.org)].



Aunque el desarrollo de aparatos que permitiesen medir en la escala nanométrica abrió las puertas al estudio de la toxicidad de la plata, lo cierto es que aún no se ha logrado avanzar lo suficiente como para producir antibióticos a partir de ella. En estos casos, se suele utilizar un método conocido como antibiograma disco-placa o de difusión en agar, estandarizado por Bauer et al. en 1966 y que ha derivado en el aceptado como método Kirby-Bauer, recomendado por la FDA (*Food and Drug Administration*) y el NCCLS (*National Committee for Clinical Laboratory Standards*). El objetivo de este método es determinar la sensibilidad bacteriana a los antimicrobianos. Consiste en depositar discos de papel de filtro impregnados con antibióticos en la superficie de un medio de cultivo sólido en el que previamente se hayan sembrado bacterias. Al hacer contacto el disco con el medio sólido, la sustancia bactericida difunde radialmente a través del espesor de dicho medio. Pasado el tiempo de incubación de las bacterias, los discos aparecen rodeados de una zona en la que no han crecido bacterias, conocida como “halo de inhibición” [Gamazo, López-Goñi y Díaz, 2005; www.seimc.org]. El método Kirby-Bauer es el más utilizado para determinar la sensibilidad bacteriana ante una sustancia considerada antimicrobiana. Por este motivo, será del que se partirá en este trabajo para estudiar las propiedades bactericidas de las nanopartículas de plata.

## 2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

### 2.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo con la motivación de establecer la plata como un componente habitual de los antibióticos y luchar contra la resistencia antibiótica adquirida, la cual genera la ineffectividad de muchos de ellos. Una vez establecido el método a utilizar, se debe aclarar una serie de aspectos más para poder comprender el objetivo del presente estudio. Se está haciendo referencia a la MIC (Concentración Inhibitoria Mínima, por sus siglas en inglés). Ésta es la cantidad más pequeña de un agente necesaria para inhibir completamente el crecimiento de un microorganismo. La MIC no es constante para un agente concreto, sino que depende de factores tan variables como la versatilidad del microorganismo utilizado. Cabe destacar que para la plata aún no se ha establecido este valor mínimo de concentración. Por tanto, el objetivo de esta investigación no corresponde solamente a determinar la MIC, pues esto requeriría una gran cantidad de estudios, sino a un acotamiento del posible valor. Determinar la MIC de la plata es clave para contar con una concentración de partida sobre la que se pueda estudiar la toxicidad de este metal en el ser humano [Gamazo, López-Goñi y Díaz, 2005; www.seimc.org; Madigan *et al.*, 2015].

### 2.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

En la presente investigación se utilizó la bacteria *Escherichia coli* (E. coli). Para desarrollar todo el estudio se partió de la siguiente hipótesis de trabajo: “La



concentración de nanopartículas de plata y su acción bactericida siguen una tendencia concentración-dependiente, es decir, a mayor concentración del agente antibacteriano mayor inhibición de bacterias”.

La acción antibacteriana de la plata y su posible efecto en las cepas de *E. coli* ya son conocidas, pero se ha querido demostrar que el diámetro del halo de inhibición es proporcional a la cantidad de agente antibacteriano añadido a los discos. Además, se partió de la idea de que cualquier concentración de nanopartículas de plata, por mínima que fuese, tendría una consecuencia directa en el crecimiento de los cultivos.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES

- Papeles de filtro circulares de 6 mm de diámetro, obtenidos mediante sacabocados de esa medida (modelo Uni-Core, marca *Whatman*, *GE Healthcare*) y papel de filtro de la misma marca.
- Agua ultrapura, obtenida mediante una estación *Wasserman* y dispensada en botellas de borosilicato estériles.
- Placas de Petri de plástico de 9 cm de diámetro.

#### BACTERIA E. COLI

La cepa utilizada en este experimento fue obtenida de una colección de bacterias preexistente en el laboratorio y conservada en glicerol a -20 °C. Además, había sido tratada con el objetivo de retirársele los factores de virulencia, queriendo esto decir que a grandes rasgos se le fue desprovista de su acción patógena.

#### PLATA COLOIDAL

La plata coloidal utilizada en esta investigación fue adquirida de [www.amazon.es](http://www.amazon.es). Se trata de un producto suplementario vegano de la firma alemana *fairvital* de 30 mL con una concentración de 500 ppm, es decir, 500.000 µg/L. Cabe destacar que esta es la plata coloidal más concentrada que se ha podido encontrar en el mercado. Aunque el tamaño de las nanopartículas de plata de este material se suele encontrar entre 1 y 10 nm de diámetro, el producto no especificaba este dato. Su color era ciertamente oscuro, casi negro [[www.nccih.nih.gov](http://www.nccih.nih.gov)].

#### MEDIO DE CULTIVO

Un medio de cultivo es un conjunto de nutrientes, factores de crecimiento y otros componentes que crean las condiciones necesarias para el desarrollo de microorganismos. Hay muchos tipos diferentes, como el caldo EC, agar chocolate, caldo *Giolitti-Cantoni*, *Moeller* o agar sangre. En el presente experimento



se prepararon dos cultivos diferentes, uno líquido y otro sólido, fundamentados ambos en el medio LB, (*Luria-Bertani*) [Gamazo, López-Goñi y Díaz, 2005; Willey, Sherwood y Woolverton, 2008; Robledo, 2010].

Los componentes del medio se disolvieron en un litro de agua ultrapura, obteniendo así un medio de cultivo líquido. Para obtener el medio sólido se utilizaron 15 g de agar, sustancia muy común desde que Robert Koch y Frederick Loeffler la usasen por primera vez en 1881. El agar, que permitió el paso del medio líquido al sólido y el aislamiento de cultivos puros, es un polisacárido sulfatado complejo que suele ser extraído de algas rojas. La solidificación del medio se debe a su elevada acción gelificante [Gamazo, López-Goñi y Díaz, 2005; Willey, Sherwood y Woolverton, 2008].

### 3.3. TÉCNICAS EMPLEADAS

#### 3.3.1. TÉCNICAS DE ESTERILIZACIÓN

La esterilización es un proceso que destruye cualquier tipo de vida microbiana. Esto incluye, por tanto, otras formas además de bacterias, como esporas, formas vegetativas y virus. En este estudio el material de vidrio se esterilizó en estufa, mientras que en la cámara de flujo laminar, donde se desarrolló la fase experimental, se aplicó luz ultravioleta y etanol.

#### 3.3.2. TÉCNICAS DE SEMBRADO

El procedimiento habitual consiste en cultivar la cepa en un caldo líquido para después distribuirlo en los medios sólidos. Sin embargo, el día previo a la experimentación se llevó a cabo un sembrado en *LB* agar (sólido), con el objetivo de asegurar el correcto crecimiento de la cepa y la inexistencia de contaminaciones antes de llevar a cabo el citado cultivo líquido.

El día de la práctica a primera hora se llevó a cabo el sembrado del cultivo líquido en 5 mL de medio *LB* a partir de lo crecido en el *LB* agar del día anterior. Se incubó a 37 °C durante 4 h hasta alcanzar el nivel de densidad óptica idóneo para el sembrado definitivo. La densidad óptica (turbidez) es una medida cuantitativa de la dispersión de la luz por un medio de cultivo. Para organismos unicelulares resulta proporcional al número de células, y en bacterias alcanza su momento idóneo tras finalizar la fase exponencial de su desarrollo, en la fase estacionaria. La escala de McFarland relaciona la turbidez con el número de bacterias, precisándose aquí una equivalente al 0,5 estándar ( $1,5 \cdot 10^8$  bacterias) de esta escala. Una vez alcanzado el grado de turbidez deseado, se procedió a sembrar parte del cultivo diluido en las placas de Petri, que contenían medio *LB* agar hasta una altura de 4 mm. Se pipeteó un volumen, inferior a 1 mL, del caldo líquido en el interior de cada recipiente. Después se realizó una siembra por extensión, es decir, se extendió cada muestra de manera regular en la totalidad de la superficie del medio, utilizando para ello un asa de vidrio estéril.



El objetivo fue el crecimiento de colonias en la totalidad de la superficie de la placa, al contrario de lo que sucede, por ejemplo, en una siembra por estrías [Gamazo, López-Goñi y Díaz, 2005; Madigan et al, 2015; Willey, Sherwood y Woolverton, 2008; Bell y Kyriakides, 2000].

### VARIANTES

Con el fin de comprobar si la acción bactericida de la plata coloidal se podía extender a otras bacterias que no fuesen *E. coli*, se plantearon dos variantes del experimento. En estas, las bacterias no fueron obtenidas de una colección del laboratorio, sino que fueron extraídas del pomo de la puerta de los servicios públicos del laboratorio y de la pantalla táctil de un teléfono móvil. Tras la recogida de muestras mediante hisopos humedecidos, se procedió a su sembrado por extensión en las placas de Petri con medio LB agar.

### 3.4. METODOLOGÍA CIENTÍFICA

Con un rotulador, se enumeraron recipientes del 1 al 6. Los cinco primeros fueron destinados a acoger las disoluciones de plata coloidal, mientras que en el sexto se introdujo agua ultrapura, sin plata, constituyendo así un control.

A continuación se prepararon las cinco disoluciones de plata coloidal siguiendo un proceso de dilución en serie, es decir, estableciendo una disolución de referencia a partir de la cual se prepararon las demás mediante dilución. En concreto, la relación de concentraciones fue de 10:1, queriendo representar que la siguiente disolución poseía una concentración de soluto diez veces menor que la inmediatamente anterior. La disolución madre, la plata sin diluir, fue colocada en el recipiente 1, siguiendo así un orden de concentración decreciente, como se observa en la tabla 3.1.

Recipiente	Concentración (nanopartículas de plata por litro de disolución)	Cultivo de bacterias <i>E. coli</i>
1	500.000 µg/L	1
2	50.000 µg/L	2
3	5.000 µg/L	3
4	500 µg/L	4
5	50 µg/L	5
6	0 µg/L	6

Figura 3.1

Relación de recipientes, concentraciones y cultivo.  
Fuente: propia.

Las placas de Petri, contando ya con su contenido, fueron numeradas del 1 al 6 para sí acoger papeles de filtro impregnados con una disolución diferente. A continuación, se impregnaron tres discos de papel de filtro con la disolución 1 y, tras retirar el exceso de líquido, se colocaron en la respectiva placa formando un triángulo. Se hizo lo mismo con el resto de disoluciones.



Una vez preparadas todas las placas con su disolución correspondiente, los cultivos se dejaron desarrollar en una estufa a 37 °C, temperatura óptima de crecimiento para *E. coli*, durante 24 h. Obviamente, la luminosidad en el interior era nula. Cabe destacar que fueron colocadas boca abajo, con el cultivo en la parte superior. De manera contraria, la condensación haría caer gotas de agua sobre las bacterias y podría alterar el experimento.

Con respecto a las variantes, se optó por alterar la colocación de los filtros. Así, cada variante fue alojada en una placa donde se colocaron cinco discos impregnados con las cinco disoluciones diferentes siguiendo la forma de un pentágono regular.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un aspecto ciertamente destacable es que los halos de inhibición aparecieron desde el primer día, y sus medidas permanecieron constantes a lo largo de las jornadas. Detalles de los filtros y de la longitud del diámetro del halo se incluyen en la tabla 4.1.





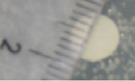

Placa	Detalle	Medida	Placa	Detalle	Medida
1 (500.000 µg/L)		4 mm	4 (500 µg/L)		0 mm
2 (50.000 µg/L)		2 mm	5 (50 µg/L)		0 mm
3 (5.000 µg/L)		Longitud inferior a 1 mm	6 (0 µg/L)		0 mm (sin plata)



Figura 4.2

Comparativa de las colonias a las 72 h. Fuente: propia.

Por otro lado, las colonias de las placas 1 a 5 destacaron por ser pequeñas y regulares, siendo blancas pero tendiendo al color amarillo con el paso del tiempo. Sin embargo, en la placa 6, de control, habían crecido menos colonias que en el resto de cultivos, aunque con mayor tamaño. Estas observaciones se ilustran en la tabla 4.2.

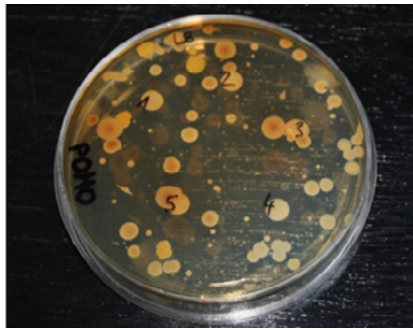
Las variantes, al no saber exactamente qué microorganismos habían sido cultivados, se dejaron desarrollar durante 16 días. Sin embargo, desde prácticamente el segundo día se hizo notar que las colonias que iban apareciendo se acercaban en gran cantidad a los discos impregnados de las disoluciones de plata coloidal, siendo inexistentes los halos de inhibición, como se ve en la figura 4.1.

Aunque a las 24 h el crecimiento de lo sembrado había sido mínimo, cierto es que ambas variantes se desarrollaron enormemente hasta la sexta jornada, observándose asimismo muy pocos cambios entre ese día y el decimosexto. Se observaron, sobre todo en el cultivo de la pantalla del móvil, colonias bacterianas de distintos colores (blanco, amarillo e incluso marrón) y de diversos tamaños



Figura 4.1

Variante del pomo a los 16 días.



(las amarillas eran generalmente de mayor tamaño), así como la presencia de hongos. Estos últimos eran especialmente notorios en el cultivo del pomo, reconocibles por un centro más oscuro, un borde fibroso y por producir una sustancia de tonos marrones.

Para poder discutir los resultados obtenidos, resulta conveniente recordar la hipótesis de trabajo: “La concentración de nanopartículas de plata y su acción bactericida siguen una tendencia concentración-dependiente, es decir, a mayor concentración del agente antibacteriano mayor inhibición de bacterias”.

Es indudable que la hipótesis planteada no ha sido verificada. En ella se partía de la idea de que cualquier concentración de nanopartículas de plata, por mínima que fuese, tendría una consecuente acción antibacteriana visible. Sin embargo, solo puede notarse mínimamente a partir de los 5.000  $\mu\text{g/L}$  (placa 3), pero para poder hacerlo con total seguridad habría que extenderse hasta los 50.000  $\mu\text{g/L}$  (placa 2). A partir de ahí sí que podría decirse que existe cierta relación entre la concentración de nanopartículas de plata y el diámetro del halo de inhibición obtenido. Recuérdese que con los 50.000  $\mu\text{g/mL}$  (placa 2) la medida era de 2 mm, mientras que con los 500.000  $\mu\text{g/L}$  (placa 1), de 4 mm. Se trataría del doble de longitud al aumentar 10 veces la concentración. Obviamente habría que realizar más ensayos para poder asegurar esta conclusión, aunque cabe mencionar que la plata coloidal era la de mayor concentración del mercado, por lo que habría que buscar otras alternativas.

Retomando los objetivos, se podría decir que esta investigación ha ayudado a reducir los posibles valores de la *MIC* de la plata. Se menciona esto último porque en cepas de *E. coli* las sustancias antibacterianas suelen producir un halo mayor, aspecto que deberá tenerse en cuenta en investigaciones futuras en una búsqueda de disoluciones más concentradas.

Teniendo en cuenta que las colonias de la placa de control eran más grandes y menos numerosas, se podría afirmar que la plata ha interferido en el crecimiento de alguna forma. Partiendo de la idea de que las disoluciones podrían





haberse extendido por el *LB* agar y afectar a la totalidad de las superficies de las placas, no solo en lo circundante al disco, podría argumentarse que incluso una mínima cantidad de plata afecta a la capacidad de las bacterias de formar colonias (no se observan diferencias notables entre las distintas concentraciones). Aunque podría constituir un punto a incluir en estudios futuros, la verdad es que este aspecto resulta bastante evidente.

Por último, los resultados con ambas variantes dan a entender que las disoluciones de plata no han sido lo suficientemente concentradas como para poder inhibir el crecimiento de los microorganismos cultivados. Es posible que se necesite una mayor concentración para neutralizarlas, aunque hay que añadir que no se sabe qué especies crecieron en las placas. También se podría poner en duda las propiedades antifúngicas de la plata, o puede ser que estas se desarrollen con concentraciones mayores. Como ya se ha comentado a lo largo de este apartado, se necesitarán más ensayos con otros tipos de bacterias y hongos para poder afirmar esto con seguridad.

## 5. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Con relación al objetivo, futuros estudios podrían centrarse en establecer la *MIC* de la plata o en analizar su toxicidad y la respuesta del organismo humano frente a ella. Con relación al experimento, se podrían estudiar otras variables como modificar la viscosidad del medio *LB* añadiendo distintas proporciones de agar, utilizar otro medio de cultivo de diferente naturaleza o sintetizar nanopartículas de plata por otros procedimientos no comerciales. Partiendo del nitrato de plata y procesos como la electrólisis, se podrían obtener concentraciones más elevadas que pueden resultar tóxicas, pero que son necesarias teniendo en cuenta los resultados obtenidos.

## 6. RESUMEN Y CONCLUSIÓN FINAL

En esta investigación se ha hecho un especial hincapié en los antibióticos. La resistencia antimicrobiana a estos fármacos ya es una de las principales segadoras de vidas humanas en un futuro a corto plazo. Algunas fuentes, como la OECD (*Organisation for economic Co-operation and Development*), afirman que más de 2,4 millones de personas morirán en los 30 próximos años como resultado de infecciones de microorganismos con resistencia adquirida. Otras, como la WHO (*World Health Organization*) declaran que ya en el expirado 2018 más de 700.000 personas (33.000 en la Unión Europea) han perdido sus vidas por la misma causa. Y la estimación para el año 2050 es de 10.000.000 de defunciones, una cifra realmente alarmante [Hofer, 2019; [www.who.int](http://www.who.int) (a); [www.amr-review.org](http://www.amr-review.org); [www.who.int](http://www.who.int) (b)].

La resistencia bacteriana a los antibióticos no se debe solamente a su exceso o uso inadecuado, ya que el hecho que los animales no puedan aprovechar todo el potencial de estos fármacos hace que en el medio existan cantidades de ellos



muy pequeñas. Por tanto, no es de extrañar que los microorganismos evolucionen para sobrevivir. Por eso es importante que se sigan desarrollando nuevos antibióticos, y el papel de la plata en esto puede ser trascendental [[www.ghdx.healthdata.org](http://www.ghdx.healthdata.org)].

Recuérdese, además, que este metal de transición tiene un problema añadido: es tóxico. Es por esto por lo que determinar la *MIC* es tan importante, para así poder trabajar con tal cantidad y observar los posibles daños que cause en los seres vivos. Tras el establecimiento de la *MIC*, se deberán realizar los estudios de genotoxicidad pertinentes para ayudar a solventar este asunto. Se habla del prefijo geno- en referencia a los daños genéticos que la plata puede causar, alterando el ADN y pudiendo derivar en mutaciones genéticas a largo plazo

Tras asegurarse que la plata es segura, se pondría en marcha la fase clínica, comenzando por estudios *in vitro*, en células, para pasar a animales y finalmente a los seres humanos. Puede parecer un proceso largo y tedioso, aunque necesario para que la plata pueda formar parte, en un futuro no muy lejano, de los antibióticos y otros elementos antibacterianos. Y todo esto depende de la paciencia y del método científico.

## 7. Agradecimientos

En primer lugar, desearíamos agradecer al Dr. César Arrese-Igor Sánchez, Catedrático de Fisiología Vegetal y profesor de la Universidad Pública de Navarra (UPNA), por permitirnos el acceso a sus laboratorios. Tampoco podemos olvidarnos de Mikel Domínguez Arrizabalaga, estudiante de doctorado del Departamento de Agronomía, Biotecnología y Alimentación de la UPNA, por facilitarnos el material biológico que tanta importancia ha tenido a lo largo del proyecto. También nos resultó verdaderamente útil la información aportada por Adriana Rodríguez Garraus, estudiante de doctorado del Departamento de Farmacología y Toxicología de la Facultad de Farmacia y Nutrición de la Universidad de Navarra (UNAV). Los datos que nos proporcionó fueron de vital importancia para la comprensión del estudio. Además, querríamos agradecer también al Dr. Jesús Echeverría Morrás, docente de Química Inorgánica de la UPNA, por la orientación que nos proporcionó antes de iniciar la investigación. Asimismo, el Dr. Miguel Ángel Vicente Rodríguez, Catedrático de Química Inorgánica de la Universidad de Salamanca (USAL), no dudó en informarnos sobre procedimientos sencillos para sintetizar nanopartículas de plata. Por último, cabría mencionar a aquellas otras personas que no trabajaron directamente con nosotros, pero que sin cuya colaboración todo hubiese sido distinto, como Ainhoa Garraus Baquedano.<sup>o</sup>



## 8. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Bell, C.; Kyriakides, A. (2000) 'E. coli Una aproximación práctica al microorganismo y su control en los alimentos', *Editorial ACRIBIA*, S.A., 1ª. edición.
- Calderón-Jiménez, B.; Johnson, M.E.; Bustos, A.R.M.; Murphy, K.E.; Winchester, M.R.; Baudrit, J.R.V. (2017) 'Silver nanoparticles: technological advances, societal impacts, and metrological challenges', *frontiers in Chemistry*, 5, 6.
- Dayem, A.A.; Hossain, M.K.; Lee, S.B.; Kim, K.; Saha, S.K.; Yang, G-M.; Choi, H.Y.; Cho, S-G. (2017) 'The role of reactive oxygen species (ROS) in the biological activities of metallic nanoparticles', *Int. J. Mol. Sci*, 18, 120.
- Gamazo, C.; López-Goñi, I.; Díaz, R. (2005) 'Manual práctico de microbiología', *Elsevier Masson*, 3ª. edición.
- Hofer, U. (2019) 'The cost of antimicrobial resistance', *Nature Reviews Microbiology*, 17, 3.
- Huma, Z.; Gupta, A.; Javed, I.; Das, R.; Hussian, S.Z.; Mumtaz, S.; Hussain, I.; Rotello, V.M. (2018) 'Cationic silver nanoclusters as potent antimicrobials against multidrug-resistant bacteria', *ACS Omega*, 3, 16721-16727.
- Madigan, T.M.; Martinko, J.M.; Bender, K.S.; Buckley, D.H.; Stahl, D.A. Brock. (2015) 'Biología de los microorganismos', *Pearson*, 14ª. edición.
- Nowack, B.; Krug, H.F.; Height, M. (2011) '120 years of nanosilver history: implications for policy makers', *Environ. Sci. Technol*, 45, 1177-1183.
- Robledo, M. (2010) 'Análisis molecular y funcional de la celulasa CelC2 en la simbiosis Rhizobia-leguminosas', tesis doctoral, *Universidad de Salamanca*.
- Willey, J.M.; Sherwood, L.M.; Woolverton, C.J. (2008) 'Microbiología de Prescottt, Harley y Klein', *Mc Graw Hill*, 7ª. edición.
- Página oficial de la Clínica Universidad de Navarra:  
[www.cun.es/diccionario-medico/terminos/radical-libre-oxigeno](http://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/radical-libre-oxigeno)
- Página oficial del *Institute for Health Metrics and Evaluation: Global Burden of Disease*: [www.ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool](http://www.ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool)
- Página oficial de la *International Organization for Standardization*:  
[www.iso.org/standard/54440.html](http://www.iso.org/standard/54440.html)
- Página oficial del *National Center for Complementary and Integrative Health*:  
[www.nccih.nih.gov/health/colloidsilver](http://www.nccih.nih.gov/health/colloidsilver)
- Página oficial de la Organización Mundial de la Salud (a):  
[www.who.int/bulletin/volumes/94/9/16-020916/en/](http://www.who.int/bulletin/volumes/94/9/16-020916/en/)



Página oficial de la Organización Mundial de la Salud (b):

[www.who.int/medicines/publications/WHO-PPL-Short\\_Summary\\_25Feb-ET\\_NM\\_WHO.pdf?ua=1](http://www.who.int/medicines/publications/WHO-PPL-Short_Summary_25Feb-ET_NM_WHO.pdf?ua=1)

Página oficial de *Review of Antimicrobial Resistance*:

[www.amr-review.org/sites/default/files/AMR\\_Review\\_Paper - Tackling a crisis for the health and wealth of nations\\_1.pdf](http://www.amr-review.org/sites/default/files/AMR_Review_Paper_-_Tackling_a_crisis_for_the_health_and_well-being_of_nations_1.pdf)

Página oficial de *Science Buddies*:

[www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/MicroBio\\_p031/microbiology/can-silver-nanoparticles-neutralize-e-coli-bacteria](http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/MicroBio_p031/microbiology/can-silver-nanoparticles-neutralize-e-coli-bacteria)

Página oficial de *smith&nephew* España:

[www.smith-nephew.com/espana/productos/curacion-de-heridas/control-de-la-infeccion/acticoat1/acticoat/](http://www.smith-nephew.com/espana/productos/curacion-de-heridas/control-de-la-infeccion/acticoat1/acticoat/)

Página oficial de la Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica:

[www.seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimiento-microbiologia11.pdf](http://www.seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimiento-microbiologia11.pdf)





## CRISPR-Cas9 y el Déficit de Merosina: el camino hacia la cura

---

/ ACCESIT

**AUTORAS** | CLARA MUSACH VILLA, NÚRIA ESPINOSA CHECA Y  
EVA MARÍA FERRER BELTRÁN

**COORDINADORA** | LAIA HERNÁNDEZ GARCÍA  
**CENTRO** | ESCOLA SANT GERVASI COOPERATIVA  
**CIUDAD** | MOLLET DEL VALLÈS-BARCELONA

### RESUMEN |

La Distrofia Muscular por Déficit de Merosina es una enfermedad genética congénita autosómica recesiva, causada por una mutación en el gen *LAMA2*, que codifica la cadena de laminina  $\alpha 2$  de la merosina. Los pacientes afectados por este trastorno normalmente presentan una hipotonía severa, debilidad muscular y dificultades motrices.

En este trabajo, hemos estudiado detalladamente el Déficit de Merosina (CMD-1A) desde diversas perspectivas, tanto desde el punto de vista clínico y de investigación, como desde una perspectiva social. Así, hemos podido conocer de cerca el impacto de esta enfermedad en los afectados y su entorno más cercano, hacer divulgación científica y, por último, recaudar fondos para colaborar con la asociación ImpulsaT para la investigación de un posible tratamiento.

Además, en el trabajo se han analizado también diferentes herramientas de terapia genética para acabar centrándonos en CRISPR-Cas9. Hemos estudiado su origen, sus aplicaciones, sus ventajas e inconvenientes... Finalmente, hemos propuesto un procedimiento mediante esta técnica de ingeniería genética con el fin de corregir la mutación del gen *LAMA2* y restablecer la integridad de la fibra muscular de los individuos afectados por esta enfermedad.



## ABSTRACT |

Merosin Deficient Muscular Dystrophy is a congenital autosomal recessive genetic disorder caused by a mutation in the gene *LAMA2*, which codifies laminin  $\alpha 2$  chain of merosin. Patients affected by this disorder usually have severe hypotonia, muscle weakness and motor difficulties.

In this project, we have studied in detail the Merosin Deficient Muscular Dystrophy (CMD-1A) from different perspectives, both from a clinical and research point of view, and from a social perspective. Thus, we have been able to learn up close about the impact of this disorder on those affected and their immediate environment, to disseminate science and, finally, to raise funds to collaborate with ImpulsaT association for the investigation of a possible treatment.

In addition, in the project we have also analysed different genetic therapy tools to end up focusing on CRISPR-Cas9. We have studied its origin, its applications, its advantages and disadvantages... Finally, we have proposed a procedure using this genetic engineering technique in order to correct the mutation of the *LAMA2* gene and to restore the integrity of the muscle fibre of the individuals affected by this disorder.



## 1. INTRODUCCIÓN

La terapia génica ha supuesto una revolución en la manera de abordar el tratamiento de las enfermedades genéticas, abriendo nuevos horizontes para la cura de enfermedades para las cuales solo existían tratamientos enfocados en paliar los síntomas. Las técnicas de edición del genoma atacan la raíz del problema mediante la transferencia de la versión funcional de un gen defectuoso, el causante de la enfermedad. En los últimos años, la prometedora técnica CRISPR-Cas9, más fácil, económica y eficaz que sus antecesoras, ha estado en boca de todos.

Sentíamos mucha curiosidad por la técnica CRISPR-Cas9. Pero deseábamos conocer la técnica de la mano de una enfermedad genética rara, partiendo de la hipótesis que se podría hacer servir para curarla.

Cuando nuestra tutora nos habló de unos conocidos suyos que tenían una hija con Distrofia Muscular por Déficit de Merosina, y de la asociación ImpulsaT, ¡no lo dudamos!

La Distrofia Muscular Congénita por Déficit de Merosina (CMD-1A) es una enfermedad hereditaria muy minoritaria y grave, que se clasifica dentro de las distrofias musculares. Estas se caracterizan por provocar debilidad muscular desde la infancia, generalmente antes de los 2 años.

ImpulsaT es la asociación oficial española que representa a las personas afectadas por la CMD-1A.

Acompañadnos en este viaje por la historia de la terapia génica, conoced cómo surgió CRISPR-Cas9 y sus múltiples aplicaciones, y acercaos a la realidad más humana de la enfermedad CMD-1A. ¿Será posible su cura?

¿Qué obstáculos nos encontraremos en el camino?

## 2. ANTECEDENTES (ANTECEDENTES, ESTADO DE LA CUESTIÓN E INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE EL TEMA)

Desde que CRISPR-Cas9 se convirtió en una herramienta de edición del genoma en el año 2012, los artículos publicados que la mencionan han aumentado de forma relevante. Esto se debe a que es una técnica barata, rápida y relativamente fácil de utilizar. Se ha convertido en imprescindible para el estudio de enfermedades, la generación de nuevas variedades de plantas, la producción de fármacos o los avances en terapia génica, entre otras aplicaciones. Se espera que la herramienta pueda ser utilizada para curar numerosas enfermedades hereditarias, muchas de las cuales tienen pocos o inexistentes tratamientos en la actualidad.





La Distrofia Muscular Congénita por Déficit de Merosina (CMD-1A) es una enfermedad genética, congénita recesiva, muy minoritaria y grave, causada por

mutaciones en el gen *LAMA2*, que codifica para la cadena  $\alpha 2$  de la laminina-211 (merosina). Esta proteína se encuentra en la matriz extracelular y es el componente predominante de la membrana basal del músculo estriado. La enfermedad se caracteriza por provocar hipotonía, debilidad muscular y dificultades motoras desde la infancia, así como problemas respiratorios y nutricionales. El pronóstico de la enfermedad es grave, y los tratamientos existentes están enfocados únicamente en paliar los síntomas.

La terapia génica es un tratamiento médico que se basa en manipular información genética de células que presentan una mutación para corregir un defecto genético. Una de las técnicas de terapia génica son las enzimas que cortan ADN, conocidas como nucleasas ingenierizadas. Estas permiten insertar, eliminar o sustituir partes del genoma de los organismos con el objetivo de restaurar la función de un gen mutado. Realizan cortes de doble cadena (DSBs) en localizaciones deseadas del genoma. Los DSBs inducidos son reparados por mecanismos propios de la célula; por recombinación no homóloga (NHEJ) o por recombinación dirigida por homología (HDR), obteniendo como resultado la mutación objetivo. Se conocen tres familias de este tipo de nucleasas que están siendo empleadas: Nucleasas de dedos de zinc (ZFNs), Nucleasas tipo activadoras de transcripción (TALENs) y Nucleasas de secuencias palindrómicas repetidas inversas (CRISPR-Cas9).

La técnica CRISPR-Cas9 se originó a partir de un sistema de defensa adaptativo procariótico, conservado en los genomas bacterianos. Las nucleasas Cas9 RNA-programables cortan el ADN, dirigidas por secuencias de orientación de pocos nucleótidos dentro de un RNA guía (sgRNA). De este modo, el sistema permite editar el genoma de forma específica. La Cas9 en presencia de sgRNA se dirige al ADN objetivo y realiza un corte (DSB) gracias a sus dominios catalíticos HNH y RuvC. El corte es entonces reparado por NHEJ o por HDR (si la célula dispone de un molde de reparación). El tipo de alteración genómica, por lo tanto, será diferente dependiendo de si se da una o otra vía, en función del cambio que el investigador/a quiera fomentar. CRISPR-Cas9 permite realizar muchos tipos de mutaciones, desde inhabilitaciones de genes, a inserciones o correcciones específicas, inversiones y translocaciones, activación o represión de la transcripción, ...

En cuanto a la aplicación de la técnica a la CMD-1A, se han utilizado diferentes métodos tanto para intentar erradicar la enfermedad, como para desarrollar fármacos que mejoren la condición de los afectados.

Para evitar la degeneración del músculo propia de la CMD-1A, muchos grupos han trabajado para manipular la apoptosis, la acción de los proteasomas y las vías de señalización de la autofagia. Estas estrategias desembocaron en el desa-



rollo de numerosos fármacos en uso, que han conseguido mejorar el fenotipo de la enfermedad.

Además, se han planteado estrategias centradas en reintroducir la expresión normal del gen *LAMA2*. Kuang et al. lo expresaron de forma transgénica en ratones  $dy^w/dy^w$  i  $dy^{2j}/dy^{2j}$  mediante un promotor específico para el músculo. Los resultados mostraron una mejora en la morfología del músculo y su integridad, así como un aumento en la esperanza de vida y la salud de los ratones tratados. Otros dos experimentos exitosos implicaron la expresión de un transgen mini agrina, o del transgen *LAMA1*. La proteína mini agrina hizo de conectora entre la molécula de  $\alpha$ -dístroglicano y las moléculas de laminina-411. A su vez, el gen *LAMA1* codifica para la cadena de laminina  $\alpha 1$ , estructuralmente similar a la cadena de laminina  $\alpha 2$ . Por lo tanto, la laminina-111 sintetizada puede sustituir la laminina-211 y realizar su función. Gawlik et al. demostraron que la expresión transgénica de la cadena de laminina  $\alpha 1$  en ratones  $dy^{3k}/dy^{3k}$  tenía un efecto altamente beneficioso en la severidad de la enfermedad. Lo mismo corroboraron Rooney et al., que liberaron sistemáticamente la proteína laminina-111 en ratones  $dy^w/dy^w$ .

### 3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

**Objetivos conceptuales:** Tenemos como objetivos investigar y aprender sobre las técnicas de terapia genética, enfocando nuestro trabajo en CRISPR-Cas9. En los últimos años ha destacado por ser la técnica más prometedora, por este motivo queremos profundizar en su funcionamiento y sus aplicaciones actuales. Finalmente, queremos investigar sobre la aplicabilidad de CRISPR-Cas9 en la posible cura de la CMD-1A. En el camino para averiguarlo, intentaremos conocer en profundidad la enfermedad: causas, diagnóstico, tratamiento, afectaciones...

**Objetivos procedimentales:** Nos proponemos entender cómo se diseñaría un plan de actuación sobre la enfermedad mediante el método CRISPR-Cas9. Además, queremos presenciar los primeros pasos del proceso en el laboratorio. Asimismo, nos proponemos realizar entrevistas a médicos, investigadores, a diversos pacientes y a sus respectivos familiares.

**Objetivos actitudinales:** Tenemos la intención de mejorar nuestro trabajo en equipo, así como seguir el método científico. También queremos contemplar la terapia genética desde un punto de vista ético, y poder empatizar con los pacientes que conozcamos. Nos proponemos también hacer una campaña de divulgación científica y, por último, realizar una recogida de fondos para ayudar a la asociación ImpulsaT.

### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

**Investigación documental:** Nos hemos documentado a través de búsqueda de



información en diferentes plataformas científicas, artículos, investigaciones previas... También hemos usado libros de texto y hemos hablado con científicos que investigan usando CRISPR-Cas9, con médicos que estudian la enfermedad de la Distrofia Muscular por Déficit de Merosina, con familiares de infantes afectados, con dos adultas afectadas...

**Experimentación y observación:** Gracias a la búsqueda por internet sobre CRISPR-Cas9 pudimos ponernos en contacto con Marc Güell (investigador del Parc de Recerca Biomèdica de Barcelona, PRBB, que actualmente conduce proyectos relacionados con la herramienta genética CRISPR-Cas9). Gracias a él y a su equipo, hemos podido llevar a cabo una serie de experimentos en el PRBB en los que hemos efectuado algunos de los pasos que se necesitaban seguir para aplicar la técnica CRISPR-Cas9 al Déficit de Merosina. Pudimos realizar solo el procedimiento previo a la aplicación de CRISPR-Cas9 a escala celular, ya que nosotras no teníamos acceso al laboratorio donde se realizaban los experimentos con células a causa de los requisitos de seguridad necesarios.

**Trabajo de campo:** Hemos podido entender el proceso completo desde la aplicación de CRISPR-Cas9 en bacterias hasta la aplicación en humanos, de forma teórica. Hemos realizado diversas entrevistas a investigadores sobre CRISPR-Cas9, y a miembros de la asociación ImpulsaT (que promueve la investigación de un tratamiento para la enfermedad). Además, también hemos entrevistado a una neuropediatra que trata con pacientes afectados y finalmente, a los familiares de los afectados y a dos adultas que la padecen. Las entrevistas nos han aportado mucha información sobre el diagnóstico de la CMD-1A, su tratamiento, la repercusión que tiene sobre los afectados y su entorno y las investigaciones en marcha para encontrar una cura. Por otro lado, nos han permitido realizar un vídeo divulgativo sobre la CMD-1A y las esperanzas que la terapia genética con CRISPR-Cas9 ha generado. Además, hemos realizado más difusión sobre el tema mediante las redes sociales y hemos recaudado fondos para colaborar con la asociación ImpulsaT. También hemos creado un póster con el objetivo de explicar de forma más visual cómo CRISPR-Cas9 podría corregir la enfermedad.

## 5. RESULTADOS

Finalmente nos dedicamos a conocer de cerca el desarrollo de una estrategia para erradicar el fenotipo de la CMD-1A: la reintroducción del gen *LAMA2*. Esta es una buena opción al tratarse de una terapia universal para tratar a todos los pacientes con la enfermedad, a diferencia de otras planteadas. Es necesario programar la CRISPR-Cas9 para que escinda el gen con la mutación, realizando dos DSBs. Debe introducirse también un molde de reparación con el gen *LAMA2* para proporcionar que los DSBs sean reparados por HDR, insertando el nuevo gen sin la mutación.

Otros miembros del equipo del PRBB habían diseñado con un programa



bioinformático lo elementos del sistema. Junto con Jéscica Jaraba producimos las construcciones de DNA en el laboratorio. Clonamos los siguientes componentes dentro de un vector, un plásmido: un promotor U6 (humano/ratón), el gen que codifica para la Cas9, un gen de florescencia como EGFP (que sirve como marcador de una buena transfección del plásmido) y un gen de resistencia a un antibiótico (en nuestro caso Ampicilina), que sirve para seleccionar las bacterias que contienen el plásmido. Ligamos el sgrNA al plásmido mediante enzimas de restricción.

Después, transformamos exitosamente las bacterias competentes (les introducimos el plásmido) y seleccionamos las bacterias transformadas en placas con Ampicilina. A continuación, extrajimos el ADN plasmídico de las bacterias purificándolo y cuantificando su concentración. También realizamos otra comprobación, digiriendo el plásmido con enzimas de restricción. Las muestras digeridas se corrieron en un gel de agarosa para comprobar qué colonias se habían transformado correctamente. Aquellas que eran correctas se enviaron a secuenciar para verificar que no contuvieran ninguna mutación. Una vez hechas todas las comprobaciones, se produjo más cantidad del plásmido para que este estuviera disponible para futuros experimentos en células humanas. Además, se hizo un glicerinado de las bacterias competentes transformadas con el plásmido de interés para preservarlos durante mucho tiempo. Los pasos siguientes los conocimos solamente de forma teórica por la necesidad de titulación a la hora de trabajar con células humanas y ensayos con animales.

Tomamos consciencia de las principales dificultades de la técnica y la estrategia escogida. En primer lugar, es necesario que la Cas9 encuentre la secuencia PAM, que en algunos genomas no es muy abundante. Por otro lado, encontramos la posible actividad off-target, es decir, fuera del objetivo de la herramienta. Esta es de frecuencia variable y puede resultar difícil de predecir. Aparecen un elevado número de mutaciones no puntuales y translocaciones cromosómicas no deseadas, asociadas a cortes fuera del ADN diana. El gran tamaño del gen *LAMA2* dificulta la tarea de introducirlo intacto, pero el equipo estaba trabajando en diferentes alternativas basada en nanopartículas y vectores virales para solucionar el problema. Por último, otro reto por superar es el de conseguir cubrir un tejido tan grande como el músculo con garantías.

Pudimos también entrevistar a una neuropediatra que trata con pacientes que padecen esta enfermedad, a miembros de la asociación ImpulsaT, a investigadores que trabajan con la técnica CRISPR-Cas9 y finalmente, a los familiares de los afectados y a dos adultas que padecen esta enfermedad. Las entrevistas nos aportaron mucha información sobre el diagnóstico de la enfermedad, su tratamiento, la repercusión que tiene sobre los afectados y su entorno, los cimientos de ImpulsaT y las investigaciones en marcha para encontrar una cura.

El vídeo divulgativo que llevamos a cabo, una síntesis de las entrevistas realizadas y la parte más social de nuestro trabajo puede visualizarse en el siguiente



enlace: <https://youtu.be/l7Fi1Uhq738>. La cuenta de Instagram que utilizamos para hacer seguimiento del trabajo es @distrofia\_muscular\_tdr.

## 6. CONCLUSIONES

Podemos concluir que hemos cumplido todos nuestros objetivos. Tal y como nos propusimos, hemos estudiado a fondo la enfermedad Distrofia Muscular por Déficit de Merosina. Después de hacer un recorrido por varias técnicas de terapia génica, nos hemos centrado en CRISPR-Cas9, comprendiendo los mecanismos que le confieren la capacidad de editar el genoma de forma dirigida, cosa que no pueden hacer otras nucleasas.

Por otro lado, hemos tenido la suerte de recibir la ayuda de algunos investigadores expertos en este campo. Marc Güell, que participó durante su post doctorado en una investigación de la Harvard Medical School, colaborando con algunos de los más prestigiosos investigadores de CRISPR a escala mundial, nos guio durante la realización del trabajo. Además, nos proporcionó información sobre el proyecto de corrección del gen *LAMA2* en el cual trabajaba su equipo de investigación del PRBB. Otros expertos que entrevistamos fueron la neuropediatra de la Vall d'Hebron Francina Munell, la biotecnóloga Georgina Sancho, y la directora del comité científico de la asociación ImpulsaT Laura Coch.

Además con la ayuda de Jéssica Jaraba, una estudiante de máster que participaba en el proyecto del PRBB en las primeras fases laboratorio, pudimos presenciar algunos pasos de la estrategia seguida por el grupo de investigación. De forma teórica, conocimos todo el proceso, des del diseño de los componentes del sistema CRISPR-Cas9 hasta los ensayos clínicos. Llegamos a la conclusión de que, después de llevar a cabo los avances necesarios en relación con la transfección del gen *LAMA2* y la reducción de la actividad off-target de CRISPR-Cas9, la estrategia propuesta será totalmente viables para corregir el fenotipo de la CMD1A.

En cuanto a la parte más social del trabajo, hemos creado un video divulgativo i una cuenta de Instagram relacionada con el trabajo. Durante la filmación del video hemos conocido a dos niñas con Distrofia Muscular por Déficit de Merosina y a sus respectivas familias, y hemos podido compartir un día con ellas para acercarnos a su día a día. También hemos entrevistado a sus padres, a dos adultas con la enfermedad y al presidente de ImpulsaT, Xavi Bulbena. No solo eso, hemos llevado a cabo un acto de recogida de fondos en nuestro centro educativo (Escola Sant Gervasi) para propiciar la búsqueda de una cura para la enfermedad.

Finalmente, podemos decir que estamos muy satisfechas con el resultado final del trabajo. Hemos aumentado de forma sustancial nuestros conocimientos y hemos visto cómo se aplicaría la técnica CRISPR-Cas9 para corregir la CMD1A. Del mismo modo, adquirir la perspectiva de pacientes, familiares, médicos



y demás personas ha resultado muy enriquecedor. Nos ilusiona la idea de continuar con esta investigación en el futuro y descubrir si la enfermedad puede ser finalmente corregida.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Primero de todo, queremos agradecer a **Xavier Bulbena** y **Olga Barrero**, padres de Júlia, así como a **Pau Martí** y **Esther**, padres de Èlia, su total cooperación con nosotras para poder realizar el vídeo divulgativo, así como su ayuda para entender las implicaciones que supone esta enfermedad en el día a día de un afectado y en la vida de aquellos que lo rodean.

También queremos dar las gracias a **Júlia** y a **Èlia** por su colaboración con el vídeo divulgativo y por contagiarnos su alegría de vivir. Queremos, además, felicitarlas por ser tan valientes, llevando siempre la enfermedad con una sonrisa de oreja a oreja.

Gracias a **Alba Izquierdo** y a **Montse** por hacernos partícipes de toda una vida conviviendo con la enfermedad, compartiendo con nosotras las dificultades que se han encontrado en el camino y cómo éstas les han hecho crecer y evolucionar a nivel personal.

Agradecemos a **Meritxell Torres**, coordinadora de la asociación ImpulsaT, su participación en el vídeo divulgativo, así como el interés mostrado en la recogida de fondos y su esfuerzo por proporcionarnos recursos.

Queremos agradecer también a **Laura Coch**, miembro del comité científico de ImpulsaT, el haber colaborado con nosotras proporcionándonos información sobre la técnica CRISPR-Cas9 y la enfermedad.

También queremos agradecer a **Francina Munell**, neuropediatra de Vall d'Hebron, por transmitirnos todos sus conocimientos sobre la enfermedad y participar en nuestro vídeo divulgativo.

Queremos agradecer, además, a **Marc Güell**, investigador del PRBB, por haber hecho posible que conociéramos la aplicación práctica de la técnica CRISPR-Cas9, por proporcionarnos valiosas ideas y por tomar partido en nuestro vídeo divulgativo y sobre todo, por encontrar tiempo para dedicarnos a pesar de tener una agenda tan apretada.

Queremos también agradecer a **Jessica Jaraba**, investigadora del PRBB, por haberse puesto a nuestra disposición, ayudándonos con la parte práctica del trabajo y compartiendo con nosotras material de trabajo que ella había realizado y que nos ha sido de gran utilidad para comprender la parte experimental.

Queremos agradecer también la colaboración de nuestra amiga y compañera



**Maria Casanova**, tanto a la hora de grabar alguna de las entrevistas, como por la composición de la banda sonora de nuestro vídeo divulgativo.

Además, queremos agradecer a **Marta Muntaner** y a **Rosa Gutiérrez**, docentes de la escuela Sant Gervasi que nos hayan dado la oportunidad de organizar una recogida de fondos para colaborar con la asociación ImpulsaT. Queremos dar las gracias a nuestros amigos y familiares por apoyarnos y animarnos siempre y por tener tanta paciencia con nosotras.

Finalmente, queremos agradecer a nuestra tutora, **Laia Hernández**, por proporcionarnos la idea y los contactos que nos introdujeron en este gran proceso de aprendizaje. Gracias por mostrar la misma implicación e ilusión por este trabajo que nosotras, por darnos los empujones que necesitábamos y verter un poco de luz en los momentos más oscuros.

Gracias, en definitiva, a todos aquellos que nos han acompañado en este viaje, y han aportado algo a nuestro Trabajo de Investigación.

## 8. IMÁGENES Y GRÁFICOS

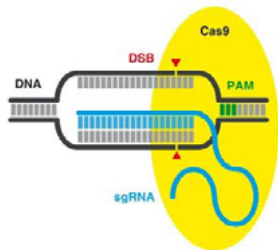


Figura 1. Esquema que ilustra el mecanismo de acción de CRISPR-Cas9. - Adaptación de <http://www.user.cnb.csic.es/~montoliu/CRISPR/crispcas.jpg> -

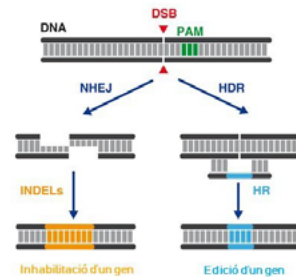


Figura 2. Vías de reparación celular después de la actuación de CRISPR-Cas9. La vía NHEJ permite inhabilitar genes, mientras que por HDR se pueden hacer modificaciones específicas. - Adaptación de <http://www.user.cnb.csic.es/~montoliu/CRISPR/> -

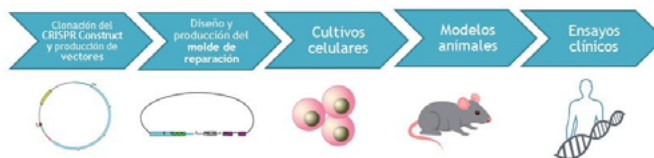


Figura 6. Etapas de aplicación de CRISPR-Cas9 para corregir la Distrofia Muscular por Déficit de Merosina.

- Realización propia -





## 9. WEBGRAFÍA Y BIBLIOGRAFÍA

### PUBLICACIONES ESCRITAS

Parramón Ediciones S.A., “Atlas básico de anatomía” Parramón (Junio 2014, pág. 24).

### PUBLICACIONES ELECTRÓNICAS

F. Ann, Ran; D.Hsu, Patrick; Wright, Jason; Agarwala, Vineeta; A. Scott, David; Zhang, Feng (Octubre 2013). Disponible en Internet:  
<https://www.nature.com/articles/nprot.2013.143.pdf>

Holmberg, Johan; Durbeej, Madeleine (Enero 2013). Disponible en Internet:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3544775/>

Jimenez, Nathalia (Agosto 2013). Disponible en Internet:  
<https://www.orpha.net/data/patho/Pro/en/Merosin-En.pdf>

Joung, J.Keith; d. Sander, Jeffrey (Noviembre 2012). Disponible en Internet:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3547402/>

Lammoglia, María Fernanda (Agosto 2016). Disponible en Internet:  
<http://www.medigraphic.com/pdfs/invis/ir-2016/ir162e.pdf>

Navaridas, Raúl (Julio 2016). Disponible en Internet:  
<https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/58889/rnavaridasf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quijano-roy, Susana (Junio 2012). Disponible en Internet:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK97333/>

Palermo, Giulia; Miao, Yinglong; C. Walker, Ross; Jinek Martin; McCammon, J. Andrew (Junio 2017). Disponible en Internet:  
<http://www.pnas.org/content/114/28/7260>

### PÁGINAS WEB

Carafoli, F. (Agosto 2009). Disponible en Internet:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19553699>

Cortez, Chari (Marzo 2015) Disponible en Internet:  
<https://blog.addgene.org/crispr-101-homology-directed-repair>

Fardeau, Michel (Abril 2009). Disponible en Internet:  
[https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC\\_Exp.php?Lng=ES&Expert=258](https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC_Exp.php?Lng=ES&Expert=258)

Helbling, Leclerc A (Octubre 1955). Disponible en Internet:





<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7550355>

Medline Plus (Marzo 2019). Disponible en Internet:

<https://medlineplus.gov/spanish/musculardystrophy.html>

Mohanraju, Prathana; S. Makarova, Kira (Agosto 2016). Disponible en Internet:

<http://science.sciencemag.org/content/353/6299/aad5147>

Montoliu, Lluís (Febrero 2019). Disponible en Internet:

<http://wwwuser.cnb.csic.es/~montoliu/CRISPR/>

Mullin, Emily (Diciembre 2017). Disponible en Internet:

<https://www.technologyreview.com/s/609722/crispr-in-2018-coming-to-a-human-near-you/>

Muntada, Mireia (Septiembre 2016). Disponible en Internet:

<https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/09/23terapia-genica/>

National Institute of Neurological Disorders and Stroke (Diciembre 2016). Disponible en Internet:

[https://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/distrofia\\_muscular.htm](https://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/distrofia_muscular.htm)

National Center for Biotechnology Information (Octubre 1955). Disponible en Internet: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/clinvar/RCV000015359/>

National Center for Biotechnology Information EEUU (Abril 2019). Disponible en Internet:

<https://ghr.nlm.nih.gov/primer/mutationsanddisorders/possiblemutations>

PureLink™ HiPure Plasmid Miniprep Kit [en línea]. Thermo Fisher Scientific. US. Disponible en Internet:

<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/K210002>

PureLink™ HiPure Plasmid Maxiprep Kit [en línea]. Thermo Fisher Scientific. US. Disponible en Internet:

<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/K210006>

S. Lander, Eric (Gener 2016). Disponible en Internet:

[https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(15\)01705-5](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(15)01705-5)



## Biomecánica aplicada a la natación: salida y viraje

---

/ ACCESIT

**AUTORA** | ANNA FONTANALS JORBA

**COORDINADOR** | ALBERT CARRIÓ CRUCES

**CENTRO** | EUROPEAN INTERNATIONAL SCHOOL OF BARCELONA

**CIUDAD** | SANT CUGAT DEL VALLÉS-BARCELONA

### RESUMEN |

El objetivo principal de este estudio sería mejorar el rendimiento en la salida y viraje en nadadores de un club de natación amateur a través del diseño de un entrenamiento pliométrico del tren inferior. El estudio se realizó en 10 nadadores federados de un club de natación amateur. Se aleatorizaron en dos grupos: grupo control y grupo entreno. Al grupo entreno además de las sesiones de entrenamiento habituales se le aplicó un entrenamiento pliométrico de tren inferior de 4 semanas de duración. En el primer día y en el último se realizó a todos los nadadores una batería de saltos (SJ, CMJ, ABK) y también se grabaron las salidas y virajes en natación. Los resultados del grupo entreno en los saltos fueron equiparables con los que se obtienen en nadadores profesionales sometidos a entrenamientos pliométricos de mayor duración (6 semanas). El tiempo y la velocidad en la salida y en el viraje mejora en los nadadores del grupo entreno con respecto al grupo control con diferencias estadísticamente significativas. Se objetiva una relación significativa del porcentaje de variación de la potencia de los saltos SJ / CMJ con todas las variables de tiempo y velocidad en la salida y el viraje. **Conclusión:** La correcta planificación de un entrenamiento específico pliométrico de tren inferior durante 4 semanas en nadadores amateurs son suficientes para poder mejorar el rendimiento, de manera estadísticamente significativa, en las salidas y los virajes.

**Palabras clave:** Natación, Fisiología, Calidad Anaeróbica, Test de Abalakov, Test de Bosco, salidas, Virajes.



## ABSTRACT |

The main objective of this study was to improve the performance in the exit and turn in swimmers of an amateur swim club through the design of a lower body plyometric training. The study was conducted on 10 federated swimmers from an amateur swim club. These swimmers were randomized into two groups: control group and training group. The trained group, in addition to regular training sessions, applied a lower body plyometric training of 4 weeks. The first day and the last day all swimmers were asked to perform a battery jump (SJ, CMJ, ABK) and at the same time the outings and turns in swimming during the first and the last day were also recorded. The results of the trained group were comparable with those obtained with professional swimmers subjected to longer plyometric training (6 weeks). The time and the speed in the exit and in the turn improve in the swimmers of the trained group with respect to the control group with statistically significant differences. We objectify a significant relation of the percentage of variation of the power of the SJ / CMJ Jumps with all the variables of time and speed in the exit and the turn. Being able to conclude that the correct planning of specific lower train plyometric training for 4 weeks in amateur swimmers is sufficient to be able to improve the performance, in a statistically significant way, in the exits and the turns.

**Keywords:** Swimming, Physiology, Anaerobic Quality, Abalakov Test, Bosco Test, Exits, Turns.



## EXPOSICIÓN DEL TRABAJO:

### A) INTRODUCCIÓN

En todos los deportes, concretamente en la natación, es muy importante obtener la mayor información posible sobre los deportistas con el objeto de poder diseñar un correcto entrenamiento y así poder obtener el mayor rendimiento de cada uno de ellos.

En la mayoría de los movimientos que se realizan en la práctica de la natación se produce una contracción muscular. Esta acción se relaciona con la pliometría que se define como un movimiento rápido y potente que involucra el pre-estiramiento del músculo y activa el ciclo de elongar y acortar la fibra para producir inmediatamente una contracción concéntrica más fuerte.

La motivación principal de esta investigación sería demostrar que un equipo de natación de un club amateur mediante la realización de un entrenamiento pliométrico específico en un período inferior a 6 semanas puede llegar a mejorar el rendimiento en la salida y viraje en natación.

### B) HIPÓTESIS DEL TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis sería confirmar que a través del diseño de entrenamientos específicos (Pliométricos de tren inferior) con la ayuda de la Biomecánica se puede mejorar el rendimiento del salto en nadadores de un Club amateur y su mejor rendimiento en las salidas y virajes en natación.

El objetivo principal sería mejorar el rendimiento en las salidas y virajes en los nadadores de un Club amateur a través del diseño de un entrenamiento físico específico.

### C) MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo se utilizaron 10 nadadores de un club amateur de edad comprendida entre 16-20 años.

Se randomizaron los nadadores en dos grupos: El grupo control (GC) formado por 5 nadadores y el grupo entreno (GE) formado por otros 5 nadadores.

## 1. DISEÑO DEL ESTUDIO.

Se trata de un estudio prospectivo aleatorizado que consta de las siguientes fases.

### 1.1. ALEATORIZACIÓN

Mediante una tabla de nombres aleatorizados los nadadores fueron divididos



en dos grupos de 5 nadadores. Estos grupos se diferenciaban en la realización o no de un programa de entrenamiento complementario al habitual que se basó en unos ejercicios de pliometría de tren inferior seguidos de unos ejercicios de estiramiento.

## 1.2. PREPARACIÓN DEL NADADOR

### 1.2.1. BATERÍA DE SALTOS

Se citaron a los diez nadadores el primer día para la realización de una batería de saltos (Tiempo basal) mediante una plataforma de contacto Chronojump.

Los diez nadadores realizaron tres pruebas de salto vertical:

- Salto de Media Sentadilla o Squat Jump (SJ)
- Salto en contramovimiento (CMJ)
- Test de "Abalakov" (ABK)

Se registraron los siguientes datos de cada nadador: altura de vuelo (cm), potencia de salto (w/kg), tiempo de salto (s), velocidad inicial (m/s).

### 1.2.2. SALIDA DE NATACIÓN

Para poder realizarlo se efectuó el siguiente procedimiento en la piscina:

- Se colocó la cámara de video (Nex-5. Sony®) a la altura del poyete para poder tener el enfoque preciso cuando un nadador efectuase la salida.
- Se colocó una de las dos cámaras deportivas GoPro Hero a una distancia de 10 metros del poyete.
- Se ubicó la otra cámara deportiva GoPro Hero, encima de una escalera para así tener la perspectiva cuando un nadador llegase a la distancia de los 15 metros.
- Se registraron los siguientes datos:
  - Tiempo de Salida (s)
  - Velocidad de Salida (m/s)

Estos datos fueron recogidos de forma manual con un cronómetro y las grabaciones fueron tratadas mediante un programa nombrado Kinovea.

### 1.2.3. VIRAJE DE NATACIÓN

Para poder realizarlo se efectuó el siguiente procedimiento en la piscina:

- Se ubicó la cámara de video (Nex-5. Sony®) a la altura de los banderines. Desde allí se tuvo un buen enfoque en el punto donde se inicia el viraje (5 metros



de distancia de la pared).

- Se colocó en el interior de la piscina el soporte metálico para fijar la cámara deportiva dentro del agua. Con este dispositivo pude grabar el viraje dentro del agua.

- Por último se emplazó la segunda cámara deportiva a una distancia de 10 metros de la pared en el recorrido de vuelta del nadador. Este punto es donde acaba el viraje

- Se registraron los siguientes datos:
- Tiempo de Viraje (s).
- Velocidad de Viraje (m/s).

Estos datos fueron recogidos de forma manual con un cronómetro y las grabaciones fueron tratadas mediante un programa nombrado Kinovea.

### 1.3. PROGRAMA DE EJERCICIOS DE ENTRENAMIENTO

Se diseñó un programa de ejercicios de entrenamiento. Los ejercicios que realizaron fueron de Pliometría (ejercicios de fuerza reactiva). Durante la realización de estos ejercicios se utiliza la fuerza, la elasticidad, la inervación del músculo y de sus tejidos circundantes. La mayoría de los ejercicios pliométricos están diseñados para aumentar la velocidad y fuerza reactiva en las extremidades inferiores.

El programa de entrenamientos se ejecutó, o no, por cada nadador dependiendo al grupo al cual perteneciera:

**Grupo Entrenamiento (GE):** Consta de 5 nadadores que tuvieron que realizar la tabla de entrenamiento 4 días a la semana (lunes-martes-miércoles-jueves) durante 40 minutos en un período de 4 semanas consecutivas, además del entrenamiento habitual del equipo.

**Grupo Control (GC):** Consta de 5 nadadores que tuvieron que realizar solamente el entrenamiento habitual del equipo durante 4 semanas consecutivas.

### 1.4. TIEMPOS DEL ESTUDIO

Durante todo el estudio se procedió al registro de todas las variables descritas anteriormente, en los siguientes tiempos.

**Tiempo inicial (TI):** Primera semana del estudio.

**Tiempo final (TF):** A las 4 semanas del inicio del estudio.



### 1.5. PARÁMETROS A ANALIZAR

Los parámetros analizados tienen como finalidad la evaluación de la eficacia del programa de entrenamiento que se ha establecido.

#### 1.5.1. Rendimientos en el salto vertical

Los parámetros que se analizan para poder evaluar el rendimiento en el salto vertical son:

- La altura del salto
- La potencia del salto
- El índice de elasticidad
- La velocidad inicial del salto
- El tiempo final del salto
- El índice de aprovechamiento de los brazos en el salto vertical con contramovimiento CMJ

#### 1.5.2. Rendimientos en la salida / viraje en natación

Los parámetros que se analizan para poder evaluar la salida y el viraje son:

- El tiempo de salida de natación (15m)
- La velocidad de salida de natación (15 m)
- El tiempo de viraje de natación (5+10 m)
- La velocidad de viraje de natación (5+10 m)

## 2. INFRAESTRUCTURA Y APARATAJE DEL MECANISMO DEL SALTO

La investigación se ha llevado a cabo en las instalaciones deportivas del Club Natación Cerdanyola (Cerdanyola del Valles. Barcelona)

## 3. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Los resultados se mostrarán como media y +/- desviación estándar, considerándose significativas si  $p < 0,05$ . El análisis de los resultados se realizó mediante el programa Chronojump y un programa de análisis estadístico SPSS 15.0 para Windows

Mediante un análisis estadístico se comprobó la homogeneidad de los dos grupos a estudio.

En el análisis entre-grupos las variables fueron expresadas en incrementos porcentuales del valor basal de cada grupo para poder evaluar el cambio experi-



mentado en la fase final independientemente del valor inicial. Se realizó la prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes, por tener la muestra un número reducido de nadadores en cada grupo

En el análisis intra-grupos no fue necesario expresar las variables en incrementos porcentuales del valor basal ya que la comparación estadística en esta medición se realiza dentro de cada grupo con el resultado final y el inicial. Se realizó la prueba Wilcoxon para muestras relacionadas, por tener la muestra un número reducido de nadadores.

El presente proyecto de investigación cumple en todos sus extremos las exigencias del Real Decreto 223/ de 6 de febrero de 2004 acerca de las personas utilizadas para la investigación. El presente proyecto de investigación ha sido sometido al Comité Ético del Centro Escolar “Europa International School” para su valoración y aprobación.

#### d) Resultados

En relación a las variables demográficas de los 10 nadadores de los 2 grupos de estudio fueron homogéneos respecto a las variables de edad, peso y talla. (Tabla 1)

Tabla 01

Variables demográficas.

	EDAD	PESO	TALLA
Grupo Entreno	17,60 ± 3,2863 años	70,20 ± 4,76 kg	180,6 ± 0,0991 cm
Grupo Control	17,50 ± 4,2761 años	64,7142 ± 9,9952 kg	173,38 ± 0,1151 cm

##### d.1.Resultados batería de saltos

Se obtuvieron unos resultados en la medición de los tres saltos (SJ, CMJ, ABK), mediante la realización de la batería de máximos de BOSCO y el test de Abalakov. Así pues se realizaron una serie de determinaciones de parámetros (Tiempo total del salto, Altura total del salto, Potencia Total del salto y Velocidad total del salto). Estos datos serán expresados en incrementos porcentuales del valor basal ± SD para poder evaluar el cambio experimentado en la fase final independientemente del valor inicial.

Como se puede ver, en estas tablas, el grupo entreno ha mejorado su porcentaje. Siendo esta mejoría estadísticamente significativa en todos los datos medidos del salto SJ y CMJ. En el salto ABKV no se objetivan diferencias significativas entre grupos. Por el contrario el grupo control ha mejorado levemente su rendimiento sin ser significativo.





Para poder evidenciar que no existe diferencias significativas con respecto al valor basal del grupo control se realizó la prueba Wilcoxon para muestras relacionadas, por tener la muestra un número reducido de nadadores. Este cálculo estadístico se realizó, con los parámetros en números absolutos obtenidos de la batería de saltos, para poder afirmar que los cambios se relacionaban exclusivamente con la introducción y realización de un entrenamiento pliométrico del tren inferior.

### d.2.Resultados tiempos y velocidades en las salidas y virajes

Comparación entre los dos grupos

Para poder comparar mejor a cada uno de los grupos se han convertido los valores absolutos en variaciones porcentuales (%) con respecto a su valor basal. De esta forma se pueden evidenciar incrementos o descensos de dichos valores con mayor objetividad.

Tabla 02

% Tiempo Total de la Salida medido en segundos (STT).

	NºN	% TIEMPO SF VS SB	SD
Grupo Entreno	4	-6,3063*	10,10070
Grupo Control	5	1,8312	2,55281

NºN= Número total de nadadores

% Tiempo SF vs SB= Incremento porcentual del tiempo de la salida final respecto al tiempo de la salida basal

SD= Desviación Estándar \*p< 0.05;\*\* p<0.01. Diferencias estadísticamente significativas intergrupos

Tabla 03

% Tiempo Total del Viraje medido en segundos (VTT).

	NºN	% TIEMPO SF VS SB	SD
Grupo Entreno	4	-13,2257 *	7,97546
Grupo Control	5	2,0987	2,30551

NºN= Número total de nadadores

% Tiempo SF vs SB= Incremento porcentual del tiempo de la salida final respecto al tiempo de la salida basal

SD= Desviación Estándar \*p< 0.05;\*\* p<0.01. Diferencias estadísticamente significativas intergrupos

Tabla 04

% Velocidad Total de la Salida medido en metros/segundos (SVT).

	NºN	% TIEMPO SF VS SB	SD
Grupo Entreno	4	7,78255*	13,009062
Grupo Control	5	-1,74883	2,466329

NºN= Número total de nadadores

% Velocidad SF vs SB= Incremento porcentual de la velocidad de la salida final respecto a la velocidad de la salida basal

SD= Desviación Estándar \*p< 0.05;\*\* p<0.01. Diferencias estadísticamente significativas intergrupos



Tabla 05

% Velocidad Total del Viraje medido en metros/segundos (VVT).

	NºN	% TIEMPO SF VS SB	SD
Grupo Entreno	4	15,91758*	9,811156
Grupo Control	5	-2,01546	2,219701

NºN= Número total de nadadores

% Velocidad SF vs SB= Incremento porcentual de la velocidad de la salida final respecto a la velocidad de la salida basal

SD= Desviación Estándar \*p< 0.05;\*\* p<0.01. Diferencias estadísticamente significativas intergrupos

### d.3.Resultados relación entre potencia saltos con tiempo y velocidad en salidas y virajes.

#### PRUEBA DE RANGOS CON SIGNO DE WILCOXON

Tabla 06

Relación de la Potencia del Salto SJ con las variables de la salida en natación.

	POTENCIA SJ (%)
TIEMPO SALIDA (%)	0,017*
VELOCIDAD SALIDA (%)	0,036*

\*p< 0.05;\*\* p<0.01. Diferencias estadísticamente significativas

Tabla 07

Relación de la Potencia del Salto SJ con las variables del viraje en natación.

	POTENCIA SJ (%)
TIEMPO VIRAJE (%)	0,014*
VELOCIDAD VIRAJE (%)	0,031*

\*p< 0.05;\*\* p<0.01. Diferencias estadísticamente significativas

Tabla 08

Relación de la Potencia del Salto CMJ con las variables de la salida en natación.

	POTENCIA CMJ (%)
TIEMPO SALIDA (%)	0,036*
VELOCIDAD SALIDA (%)	0,050*

\*p< 0.05;\*\* p<0.01. Diferencias estadísticamente significativas

Tabla 09

Relación de la Potencia del Salto CMJ con las variables del viraje en natación

	POTENCIA SJ (%)
TIEMPO VIRAJE (%)	0,032*
VELOCIDAD VIRAJE (%)	0,012*

\*p< 0.05;\*\* p<0.01. Diferencias estadísticamente significativas



#### d.4. Discusión y valoración de los datos obtenidos

Los resultados obtenidos en este estudio con nadadores amateurs tras 4 semanas de entrenamiento, son equiparables a los obtenidos en nadadores de elite tras someterse a un entreno pliométrico de 6 semanas de evolución (Tabla 10).

Tabla 10

Capacidad de salto en nadadores.  
Valores medios  
± Desviación Estándar.

	NIVEL	SJ	CMJ	ABK
Garrido y cols (2012)	Nadadores Alto Nivel	24,75 ± 3,47	25,72 ± 3,36	29,78 ± 5,44
Fontanals y cols (2017)	Club Natación Amateur	22,33 ± 5,63	25,11 ± 7,42	30,43 ± 6,66

Se aleatorizó un “grupo control” para poder afirmar que el incremento en la capacidad de salto en los tres saltos medidos, es debido exclusivamente a la aplicación del entrenamiento pliométrico.

En mi estudio se implementó un entrenamiento pliométrico de tren inferior de menor duración (4 semanas) obteniendo un incremento estadísticamente significativo de la altura de salto, tiempo de salto, velocidad y potencia de salto, en los saltos SJ y CMJ. Pero este dato se tenía que corroborar logrando un menor tiempo con una mayor velocidad en la salida y virajes en la natación.

En la mayoría de los estudios las mejoras en la habilidad de salto en el laboratorio no se traducen en la mejoría del rendimiento en la salida. *Por el contrario en mi trabajo si se objetivan mejorías significativas en las cualidades de los saltos SJ y CMJ. Estas mejorías se traducen en mejorías significativas en el tiempo, velocidad de salida y mejorías significativas en el tiempo, velocidad de viraje.*

El cálculo de la potencia de los saltos no se debe de comparar ni realizar con las mismas ecuaciones que cuando se calcula la potencia de los saltos en el laboratorio.

***A pesar de ello en mi trabajo objetivamos una relación significativa del porcentaje de variación de la potencia de los Saltos SJ y CMJ con todas las variables de tiempo y velocidad en la salida y el viraje.***

#### e) Conclusiones

- La altura media alcanzada por los nadadores de mi equipo, en los tres saltos medidos (SJ, CMJ, ABK) tras 4 semanas de entrenamiento, es equiparable a la altura media de nadadores de elite tras 6 semanas de entrenamiento.
- Tras 4 semanas de entrenamiento pliométrico se evidencia una mejoría significativa del rendimiento en la natación (mejoría de tiempo y velocidad en salida y viraje).



- El incremento de potencia en los saltos SJ/CMJ tras 4 semanas de entrenamiento pliométrico se correlaciona directamente con la mejoría del tiempo y la velocidad en salida/viraje.
- Así pues la planificación de Entrenamiento Pliométrico de Tren Inferior de 4 semanas en nadadores amateurs puede ser suficiente para mejorar el rendimiento en las salidas/virajes.

## BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Acero, JA. (2014). “Principio de la confiabilidad en la medición de la fuerza: Tecnología Biomecánica”. Disponible en:  
<http://g-se.com/es/biomecánica/blog/princiio-de-la-confiabilidad-en-la-medición-de-la-fuerza-tecnologia-biomecanica> (Consultado:15 enero 2017).
- Arellano R, Balius X, Escoda P. (2007). “Campeonato del mundo de natación: características técnicas de las pruebas de 50 m”. ISSN 1136-0003 pp. 39-44. Disponible en:  
[www.ugr.es/~swimsci/SwimmingScience/page4/page16/page57/.../Documento06.pdf](http://www.ugr.es/~swimsci/SwimmingScience/page4/page16/page57/.../Documento06.pdf) (Consultado: 16 enero 2017).
- Arellano R, LLana S, Tella V, Morales E, Mercade J. (2005). “Estudio de la fuerza de impulso en la salida de natación” Trabajo presentando en “5 Congreso internacional de Técnicos de natación”. Madrid 21-23 Octubre 2005. Disponible en:  
[www.ugr.es/~swimsci/SwimmingScience/page4/page16/.../AETN\\_05\\_Salidas.pdf](http://www.ugr.es/~swimsci/SwimmingScience/page4/page16/.../AETN_05_Salidas.pdf) (Consultado: 3 abril 2017).
- Arellano R. (2010). “Análisis Cinemático de la competición en Natación”. Publicado en XI campeonato de España “Open” Absoluto . 22-25 Abril 2010. Disponible en:  
[www.rfen.es/publicacion/campeonatos/files/rfen100/.../AnalisisCompeticion2010.pdf](http://www.rfen.es/publicacion/campeonatos/files/rfen100/.../AnalisisCompeticion2010.pdf) (Consultado: 10 septiembre 2017).
- Ayala, C. (2012). “Análisis biomecánico de la natación”. Disponible en:  
<https://prezi.com/jxytmjeoyhno/analisis-biomecanico-de-la-natacion/> (Consultado: 15 enero 2017).
- “Biomecánica de la Natación” Especial Mundial de natación 2013. Disponible en:  
<http://principiodeintercambio.blogspot.com.es/2013/07/biomecanica-de-la-natacion-especial.html> (Consultado: 16 enero 2017).



- Bosco, C. (1994). "La valoración de la fuerza con el test de Bosco". Disponible en: <https://www.casadellibro.com/...valoracion-de-la-fuerza-con-el-test-de-bosco/.../4719> (Consultado: 14 enero 2017).
- Canó G. (2013). "Cuaderno de Biomecánica de natación". Disponible en: <http://previa.uclm.es/profesorado/...Cuaderno/Ejemplosdecuadernos/GabrielCano.pdf> (Consultado: 15 enero 2017).
- Carrera D, Luque J. (2013). "Revisión documental acerca de los efectos en el rendimiento de un nadador tres entrenamientos de fuerza y potencia en seco y/o dentro del agua", Revista digital de Educación Física. Año 5. Num 25. Disponible en <http://emasf.webcindario.com> (Consultado 16 enero 2017).
- E.Makover, Michael. (2011). "Medline Plus" Biblioteca Nacional de Medicina de EEUU – NIH- Institutos Nacionales de la Salud. Disponible en: [http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp\\_imagepages/19841.htm](http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp_imagepages/19841.htm) (Consultado: 29 agosto 2017).
- Gutierrez, M. (1997). "Bases biomecánicas de la natación" Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6636/Article10.pdf?sequence=1> (Consultado: 16 enero 2017).
- Izquierdo, Mikel. (2008). "Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte".
- Fuentes BDL, García López F, Arellano R. "Análisis Cinemático y cinético de las salidas en natación en nadadores de alto nivel" Comunicaciones técnicas, ISSN 1135-111X, Nº 3, 2003, p.p. 3-23. Disponible en: <https://Análisis Cinemático y cinético de las salidas en natación en nadadores de alto nivel>. (Consultado: 15 enero 2017).
- Llana S. (2008). "El análisis biomecánico en natación". Disponible en: <http://www.notinat.com.es/docs/analisisbomecanicoennatación.pdf> (Consultado: 23 enero 2017).
- Llana S, PriegoJI, Pérez P, Soriano, Lucas A. (2013) "La investigación en biomecánica aplicada a la natación: Evolución histórica y situación actual". Disponible en: [http://cdeporte.rediris.es/revcaf/Numeros%20de%20revista/.../Vol6\\_n2\\_Llana\\_Priego.Pdf](http://cdeporte.rediris.es/revcaf/Numeros%20de%20revista/.../Vol6_n2_Llana_Priego.Pdf) (Consultado: 15 enero 2017).
- Llana S, Priego JI: (2013) "La investigación en biomecánica aplicada a la natación olímpica: evolución histórica y situación actual" Disponible en: <http://revistas.uam.es> (Consultado: 22 enero 2017).
- Manzaneda Martínez, Antonio Manuel (2008). "La rotura del tendón de Aquiles en el deporte y su protocolo de recuperación". Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd127/la-rotura-del-tendon-de-aquiles-en-el-deporte.htm> (Consultado: 3 septiembre 2017).



- Pardo M. (2016). “Biomecánica de la Natación”. Disponible en:  
[https://www.iesjuangris.com/index.php?option=com\\_attachments&task=download](https://www.iesjuangris.com/index.php?option=com_attachments&task=download)  
(Consultado: 16 enero 2017).
- Rosa A. (2014). “Biomecánica de la actividad física y el deporte: objetivos, principios y aparatos de medición” EFDeportes. Com, Revista Digital. Buenos Aires, Año 18, N° 188, Enero 2014. Disponible en:  
<http://www.efdeportes.com/> (Consultado: 22 enero 2017).
- Sánchez Molina JA, Arellano R. “El análisis de la competición en natación: estudio de la situación actual; variables y metodología”. Comunicaciones técnicas, ISSN 1135-111X, N° 1, 2003, p.p. 55-80. Disponible en:  
<https://revistasdigitales.csd.gob.es/index.php/ICD/article/view/284>  
(Consultado: 15 enero 2017).
- “Análisis biomecánico de la técnica en natación: Programa de control del deportista de alta competición”. Icd- N°32 Estudios sobre Ciencias del Deporte. Serie de Investigación Ministerio de Educación, Cultura y Deporte Consejo Superior de Deportes 2001 Disponible en:  
<http://sede.educacion.gob.es/.../analisis-biomecanico-de-la-tecnica-en-natacion-programa-d...>  
(Consultado: 17 enero 2017).





# TECNOLOGÍAS E INGENIERÍAS

---

## PRIMER PREMIO Y PREMIO ALAN TURING |

- 310 - **Prueba de concepto sobre la construcción de prótesis accesibles**  
JAVIER SIMANCAS RUESGAS

## PRIMER PREMIO |

- 322 - **Sea energy project: la revolución de las olas**  
ARIADNA GONZÁLEZ NAVARRO
- 335 - **Factorización cuántica del número 15**  
JAVIER PAGÁN LACAMBRA

## SEGUNDO PREMIO |

- 344 - **Comunicación inalámbrica mediante luz visible: Implementación con Arduino UNO**  
DAVID LOZANO CAMPILLO
- 356 - **Valorización de los residuos de marisco. Síntesis de nanopartículas de quitosano con efecto antimicrobiano**  
XAVIER MANUEL DE RADA PIÑEIRO

## TERCER PREMIO |

- 370 - **Baby Safety: Desarrollo de sistemas para la prevención de la muerte súbita del lactante**  
IRIA OLLERO CADILLA
- 382 - **12 Terrones y 4 cafés**  
LIDIA SOFÍA VICENTE GÓMEZ
- 395 - **Diseño y construcción de un túnel aerodinámico para la visualización del flujo alrededor de objetos y la comparación de estos con dinámica de fluidos computacional**  
CARLOS ESTEBAN NAVARRO Y CARLOS BELLANCO ORTIZ





# TECNOLOGÍAS E INGENIERÍAS

---

## PREMIO ESPECIAL DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID |

- 405 - **Generating success – ecomochila**  
SERGIO BRAVO RODRÍGUEZ Y MARCOS JÁTIVA MUÑOZ

## ACCESIT |

- 414 - **Esferificaciones de lactasa como tratamiento para la intolerancia a la lactosa: Efectividad de la lactasa inmovilizada sobre dos variables: concentración de alginato de sodio y tiempo transcurrido**  
JAVIER RODRÍGUEZ CASTELLÓ



# Prueba de concepto sobre la construcción de prótesis accesibles

---

/ PRIMER PREMIO

**AUTOR** | JAVIER SIMANCAS RUESGAS

**COORDINADOR** | RAÚL MARTÍN GÓMEZ

**CENTRO** | IES PINTOR ANTONIO LÓPEZ

**CIUDAD** | TRES CANTOS-MADRID

## RESUMEN |

Gracias a la impresión 3D y a la electromiografía las prótesis se han desarrollado en gran medida y cuentan con numerosas funcionalidades hasta ahora impensables. El problema que presentan es su precio extremadamente elevado.

El objetivo de este proyecto es comprobar si es posible producir una prótesis funcional a partir de la impresión 3D y programación en Arduino y Android. Para ello se ha realizado un estudio del mercado actual y se ha contrastado según su relación calidad-precio. El siguiente paso ha sido seleccionar un modelo 3D gratuito, el cual se ha impreso y se han ensamblado sus piezas y sus componentes mecánicos. A continuación, se ha elaborado una aplicación Android y un programa en Arduino que permite controlar los movimientos de la prótesis.

El desarrollo del proyecto ha resultado ser exitoso: se ha conseguido construir una prótesis con características similares a las de las comercializados, con lo que se ha comprobado que es posible hacerlas accesibles mediante la impresión 3D.

**Palabras clave:** Android, Arduino, Brazo, Electromiografía, Impresión 3D, Prótesis.



## ABSTRACT |

Thanks to the 3D printouts and the electromyography, prosthetics have developed intensely and had made a huge variety of movements possible. The problem is that their price is extremely high.

The aim of this project is to prove whether is possible to produce a low-cost prosthetic hand by using 3D printouts and Arduino code and Android app. In order to do that a market study has been carried and it has been contrasted with the price and quality relation. The next step was selecting a free 3D model to print and connect all his mechanical parts. Once all the pieces were joined, an Android app and an Arduino code were assembled to control the prosthetic hand.

The project proved to be successful: a prosthetic hand was made with similar characteristics to those prosthetics' products commercialized. This proves that it is possible to make them affordable to the society.

**Keywords:** 3D printouts, Android, Arduino, Arm, Electromyography, Prosthetic.



## AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a Raúl por el apoyo que me ha prestado en todo momento y por la gran dedicación en este proyecto; sin su ayuda no habría sido posible llevarlo a cabo.

A mis padres y hermanos, por haberme soportado a lo largo de este trabajo y haber contribuido con sus diversos puntos de vista.

Al IES Pintor Antonio López por haberme facilitado los medios necesarios para la construcción del prototipo.

Por último, a la empresa Autofabricantes que me ha ayudado a comprender la realidad del sector desde la perspectiva empresarial.

## INTRODUCCIÓN

Las prótesis, al igual que todos los demás productos tecnológicos, se encuentran en un estado de auge continuo. Los avances de los últimos años han provocado un desarrollo sin precedentes que ha ocasionado un aumento de su sofisticación. Esta modernización se debe principalmente a los avances de dos campos en particular: la electromiografía y la impresión 3D.

- La aparición de prótesis mioeléctricas ha supuesto una revolución en la biónica, desembocando en una gran variedad de funciones y posibilidades.
- La impresión 3D se ha adaptado de una forma prácticamente perfecta a la producción de estos artículos.

En este sentido lo que se ha conseguido ha sido perfeccionar estos artículos y se han comenzado a fabricar de forma especializada con materiales de alta calidad. La comercialización de estos productos ha supuesto un encarecimiento de las prótesis asumible por una ínfima parte de la población.

En ocasiones aparecen noticias de cómo, gracias a subvenciones o al *crowdfunding*, se ha conseguido adquirir un producto protésico de última generación. En la mayoría de los casos se trata de niños, que tienen una gran repercusión mediática, pero ¿qué ocurre con las demás personas que no cuentan con tanta difusión en los medios?

Para intentar responder a esta pregunta este proyecto busca comprobar si es posible hacer accesibles las prótesis, en este caso una mano, a partir de impresiones 3D con un coste bajo. Para ello la construcción se ha dividido en tres fases.

La primera ha consistido en analizar el mercado protésico actual y el margen de beneficios de cada producto. Se han estudiado las principales compañías



que los comercializan y se ha comparado sus relaciones de calidad-precio y coste-beneficio.

A continuación, se ha seleccionado un modelo 3D gratuito como prototipo a realizar y se ha procedido al montaje de la parte mecánica. La impresión, el ensamblaje y la electrónica engloban la mayor parte de este proceso.

Finalmente se ha realizado un programa en lenguaje Arduino y una aplicación Android para controlar la prótesis. Esta ha sido la parte más laboriosa, puesto que tanto el programa como la aplicación han sido escritos desde cero.

Por último, el proyecto concluye con un pequeño resumen de todas las fases de este y una valoración del resultado final.

## 1. ESTADO DEL ARTE

### 1.1. TECNOLOGÍA ACTUAL

Como se ha comentado previamente, las dos tecnologías predominantes que impactan sobre este tipo de proyectos son la electromiografía y la impresión 3D.

#### 1.2. ELECTROMIOGRAFÍA

La electromiografía se define como la técnica de diagnóstico de la actividad eléctrica producida por los músculos. En el caso de las personas que han sufrido algún tipo de amputación o malformación estos impulsos se siguen produciendo, pero no hay ningún músculo que reciba esta señal. Las prótesis que emplean esta técnica detectan estas señales EMG y las convierten en movimiento, habilitando al portador a mover la prótesis como si fuera su propio cuerpo.

Esta tecnología todavía cuenta con algunas limitaciones, como el ruido (interferencias) en el procesado de las señales. Este problema, sumado a la dificultad técnica de este procedimiento y a la falta de medios, ha hecho que se haya descartado a la hora de elaborar el prototipo.

##### 1.1.2. IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D es una tecnología que ha revolucionado la ciencia. Consiste en la impresión de modelos tridimensionales en distintos materiales, siendo el más habitual el ácido poliláctico (PLA). La impresora, en el caso del PLA, calienta el filamento del material hasta llegar a su punto de fusión, y entonces empieza a construir el modelo 3D superponiendo capas de plástico.

Gracias a la impresión 3D la personalización e individualización de un modelo estándar de prótesis se ha facilitado en gran medida. En Internet podemos en-



contrar cientos de modelos gratuitos, de entre los cuales se ha seleccionado una prótesis para el prototipo.

## 1.2. PRINCIPALES FABRICANTES

Para concretar y puesto que el prototipo se trata de un brazo, el análisis de mercado se ha realizado solamente de los llamados “brazos robots”.

En el mercado protésico actual existe un oligopolio entre las principales compañías protésicas, que comercializan sus productos a un precio elevado. El portal *Vocativ* realizó el estudio “What a \$100,000 Bionic Arm Can Do” [3] en el que analiza las funciones de las prótesis y su precio.

El modelo más simple, *Robohand*, tiene un precio de 2,000 \$ y únicamente permite abrir y cerrar los dedos. Un modelo de gama media como el *bebionic3* permite una movilidad más completa habilitando el movimiento independiente de los dedos y de la muñeca. Esta prótesis asciende a 30,000 \$. Finalmente, el modelo con más funcionalidades es el *DEKA Arm*, que es controlado mediante electrodos situados en el pie y tiene un precio de más de 100,000 \$.

## 1.3. ELECCIÓN DEL PROTOTIPO

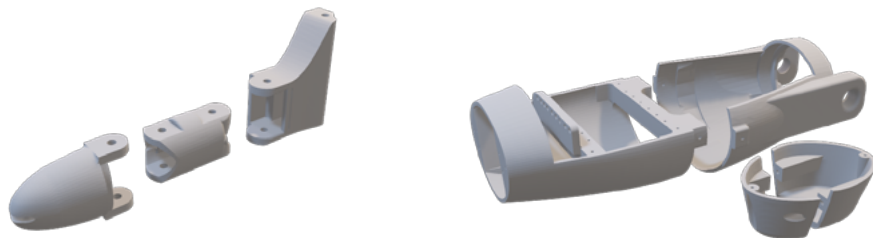
Para el prototipo se han estudiado varios modelos 3D gratuitos. A la hora de elegir el definitivo se ha tenido en cuenta la cantidad de material que necesita y los movimientos que permite realizar. El modelo que se ha seleccionado ha sido publicado por Mahdi Elsayed Hussein en su tesis “3D Printed Myoelectric Prosthetic Arm” [1]. Este brazo es una modificación del proyecto *Inmoov* [2] Langevin, que consiste en la fabricación de un robot a tamaño real mediante la impresión 3D.

Figura 1a

Modelo 3D del pulgar.

Figura 1b

Modelo 3D del antebrazo.

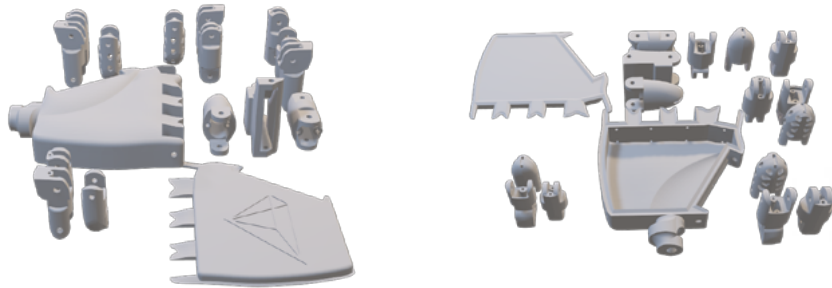


El código para la programación del prototipo no está publicado en Internet por lo que ha sido necesario implementarlo. Para ello se ha optado por el lenguaje *Arduino*, que es una plataforma de creación de electrónica de código abierto.



Figura 1c

Modelo 3D de la mano completa.



Los modelos 3D se descargaron en un formato *stl*<sup>1</sup> de CAD<sup>2</sup>, que define la geometría de objetos tridimensionales.

Para procesarlos se ha hecho uso del programa *Ultimaker Cura*<sup>3</sup>. Una vez procesados se guardaron como formato *gcode*<sup>4</sup>, ya listo para ser impreso usando la impresora *Witbox 2*. El proceso de modificación de los archivos *stl* se explicará más adelante. Una vez seleccionado este prototipo la siguiente fase es su construcción.

## 2. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Tras haber seleccionado el modelo a construir se ha procedido a elaborar un plan de trabajo para su construcción. El montaje ha comenzado con diversas modificaciones en los modelos 3D y su posterior impresión. A continuación,



se han ensamblado todas sus piezas y elementos necesarios para su correcto funcionamiento. La última fase se corresponde con la implementación del código Arduino y la elaboración de una aplicación Android para el control del prototipo.

### 2.1. DISEÑO E IMPRESIÓN 3D

En primer lugar, se estudiaron los modelos 3D escogidos para maximizar la eficacia de la impresión. Para ello se han tenido en cuenta dos factores relacionados

1 Standard Triangle Language

2 Diseño asistido por computadora

3 <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>

4 Conocido como RS-274, lenguaje de programación más usado en control numérico



entre ellos: la cantidad de material de soporte y el tiempo de impresión.

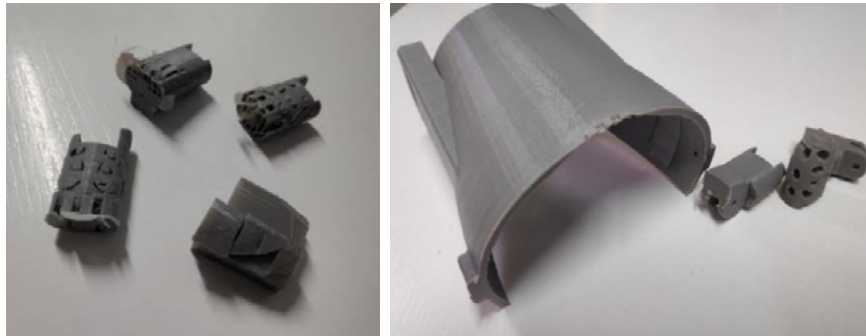
El material de soporte consiste en capas finas de la impresión cuya función es sostener las partes de la impresión que no tienen ninguna base, por ejemplo, los orificios que sirven de unión entre las partes articuladas de las manos.

Figura 3a

Ejemplo piezas impresas.

Figura 3b

Ejemplo de piezas acondicionadas.



El tiempo de impresión depende en parte de esta variable: a mayor cantidad de material de soporte mayor tiempo de impresión.

Se han modificado los planos para convertir la mano, que era la derecha, en la izquierda y se ha procedido a la impresión.

Por último, debido a los desperfectos de la impresión se han lijado y pulido las piezas y orificios necesarios para el correcto ensamblaje del prototipo.

En la siguiente tabla se muestra los componentes de la prótesis en relación con el número de piezas, el tiempo de impresión y el peso correspondiente a cada una.

Tabla 01

Proceso de impresión.

PROCESO DE IMPRESIÓN			
COMPONENTE	PIEZAS	TIEMPO DE IMPRESIÓN	PESO (GR)
Antebrazo	2	10:28:00	120
Muñeca	2	1:47:00	20
Palma	2	5:04:00	56
Pulgar	2	1:39:00	17
Índice	3	1:02:00	13
Corazón	3	1:26:00	12
Anular	3	1:30:00	12
Meñique	3	0:52:00	7
Conectores servomotor	3	0:21:00	4
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>24:09:00</b>	<b>261</b>





## 2.2. MECÁNICA

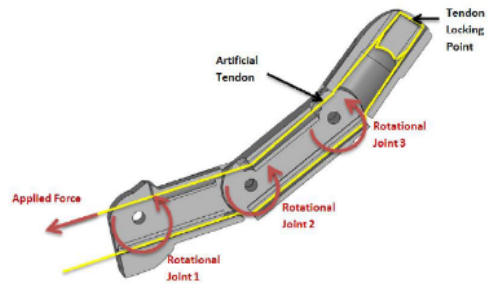
Una vez impresas todas las partes del prototipo se elaboró el mecanismo de movimiento de los dedos. Mediante hilo de nylon se simula el tendón del dedo. Al contar el modelo con tres falanges permite que haya tres puntos articulables, imitando a un dedo real. Mediante la tensión de un extremo o del otro se realiza la flexión o elongación del dedo. Una vez completado todo el mecanismo se unieron todas las piezas mediante alambre para minimizar el coste.

Figura 4

Servomotores unidos a los hilos de los dedos.

Figura 5

Mecanismo del dedo, por Mahdi Elsayed Hussein. [1]



Ya concluido el ensamblado se conectaron los tres primeros servomotores<sup>5</sup> al hilo de nylon y el cuarto servomotor a la muñeca. Mediante el giro del servomotor se tensan o se destensan los “tendones” y comunican el movimiento al dedo. El cuarto motor tiene como única función el giro de la muñeca.

Para alimentar los motores inicialmente se probó con 8 pilas alcalinas AAA. Al no aportar el amperaje necesario se optó por emplear una batería de polímero de Litio de 10000mAh. Este tipo de alimentación tiene la ventaja de ser recargable.

Posteriormente se conectaron los motores y la batería a la placa Arduino, especificada más adelante.

## 2.3. ELECTRÓNICA

Con el ensamblaje y la mecánica ya terminados se organizó la fase de programación. Los elementos esenciales han sido la placa Arduino y la aplicación Android, componentes sin los que el brazo no podría moverse. Las especificaciones se encuentran desarrolladas en los Anexos del trabajo original.

De cara a obtener una óptima integración entre la placa y la aplicación, se determinó escribir el código en lenguaje Arduino mediante la web *Bitbloq* y la aplicación Android en la web *MIT App Inventor*. Ambos sitios web permiten la programación por bloques, que facilita mucho su compilación y la detección de errores.

<sup>5</sup> Motor que permite controlar el giro del mecanismo. Está diseñado para moverse una determinada cantidad de grados y luego mantenerse fijo en esa posición.



El funcionamiento del brazo es sencillo. La app<sup>6</sup> envía información mediante Bluetooth a la placa Arduino, que la transforma en movimiento. Dependiendo de la información que se envíe los movimientos serán distintos.

Los datos que se transmiten a la placa pueden ser muy variados.

Figura 6

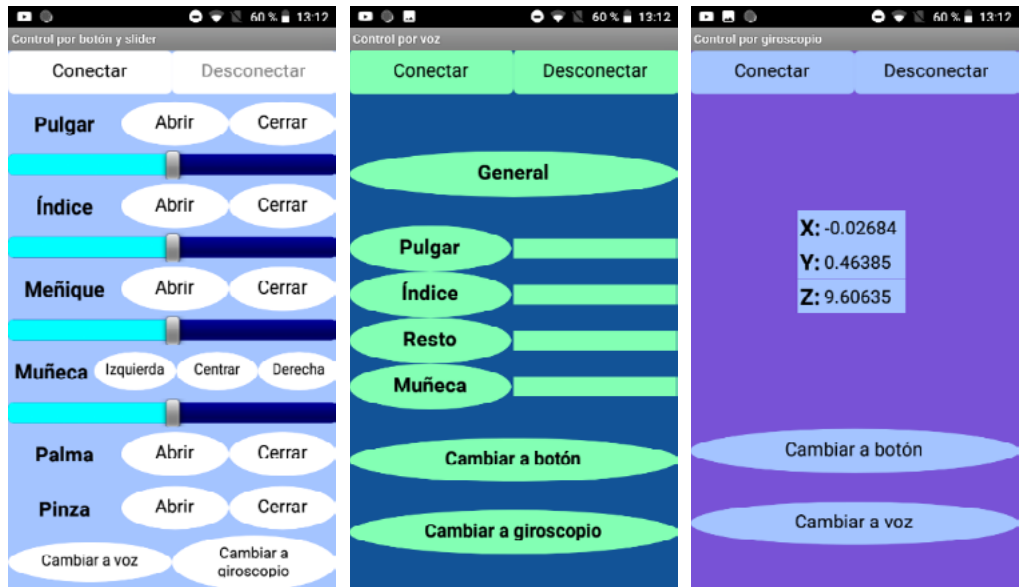
Comandos por botones.

Figura 7

Comandos por voz.

Figura 8

Comandos por giroscopio.



En la aplicación existen tres modos de control: El primero funciona por botones y *sliders*<sup>7</sup>, cada uno asociado a un dedo y a una acción de abrir y cerrar. El siguiente modo consiste en un control por voz en el que al acercarse al móvil al oído se activa el reconocimiento por voz. Por último, la aplicación también dispone de un control consistente en el uso del giroscopio del móvil: según la posición del teléfono en las coordenadas X, Y y Z del espacio el prototipo realiza un movimiento acorde a esa posición.

Los tres modos de control se basan en enviar datos a la placa; para simplificar el código, los tipos de datos son semejantes.

El control por voz y el control por botones envían el mismo tipo de información: el dedo que se va a mover y la posición a la que hay que moverlo (abierto o cerrado).

<sup>6</sup> Aplicación móvil.

<sup>7</sup> Control deslizante con el que un usuario puede establecer un valor moviendo un indicador, generalmente en forma horizontal.



Por otro lado, el *slider* y el control del giroscopio se basan en el mismo principio: la información que se envía consiste en el dedo y la posición parcial a la que hay que moverlo. El ángulo de giro que permite el servomotor es de 180°, por lo que para convertir la posición del *slider* en la posición parcial del dedo se divide el slider en 180 partes.

En el caso del giroscopio la conversión es más complicada. El eje X se corresponde con el movimiento de la muñeca y el Y con el movimiento de los dedos. El rango de datos que aporta el giroscopio varía entre -10 y 10, lo que implica que hay que convertirlo a un intervalo positivo. Para ello se suma 10 unidades a cualquier dato que se obtenga y el intervalo pasa a ser de 0 a 20. Finalmente, para transformar el dato en un ángulo para el motor hay que multiplicarlo por el cociente de 180 entre 20, es decir, 9.

Figura 9

Ecuación de la extrapolación de los datos del giroscopio.

$$\text{Ángulo} = (\text{Dato del giroscopio} + 10) \cdot \frac{180}{20} = (\text{Dato del giroscopio} + 10) \cdot 9$$

Si, por ejemplo, el giroscopio recibe el dato -7 antes de enviarlo por Bluetooth le suma 10 unidades y lo multiplica por 9. Por tanto, el resultado, 27, sería el equivalente al grado de la posición a la que tendría que girar el servomotor.

Figura 10

Bloque de programación de la ecuación.



Mientras que en el primer caso los datos enviados son caracteres alfabéticos (dos letras, una asociada al dedo y otra a la posición de estirado o abierto) en el segundo se trata de caracteres alfanuméricos (la letra asociada al dedo y el ángulo al que se debe mover el motor).

La placa recibe los datos transmitidos por Bluetooth y los procesa. Si se reciben datos cuya longitud es uno se asocia ese dato con una variable. Estas variables son letras, cada una asociada a un dedo y al movimiento que este realiza. Si la longitud es igual a cuatro los datos están formados por una letra y un número de tres cifras. En este caso la letra está asociada al dedo que se va a mover, y el número a la posición que debe tomar el servomotor.

## CONCLUSIONES

La situación actual es bastante prometedora. Las técnicas actuales como la electromiografía y la impresión 3D están siendo cada vez más utilizadas, aportando funcionalidad y reduciendo costes y tiempo de fabricación. Si a esto se le



añade el crecimiento de modelos gratuitos que se encuentran disponibles en internet y los códigos de programación de libre uso que se puedan publicar, es previsible que mejore la accesibilidad a procesos de fabricación de prótesis “low cost” perfectamente funcionales.

Esto es lo que se ha querido demostrar y se ha corroborado en este proyecto:

- Se ha obtenido gratuitamente modelos 3D y se han modificado según nuestras necesidades.
- Se ha imprimido y se ha realizado el ensamblaje de las piezas.
- Se han integrado en el modelo las partes mecánicas y la fuente de alimentación.
- Se ha realizado la programación de la aplicación y el código de control. Esta fue la parte más compleja del proyecto.

Como resultado, se ha conseguido construir una prótesis que presenta las mismas funcionalidades que las que se comercializan en el rango de gama media, con un coste sensiblemente inferior, y con la posibilidad de hacerlas accesibles a personas que no puedan adquirirlas en el mercado.

El coste detallado del prototipo ha sido el siguiente:

ESTUDIO ECONÓMICO			
COMPONENTE	UNIDADES	PRECIO UNIDAD/KG	IMPORTE
Servomotor	4,00	4,96 €	19,84 €
Placa Arduino	1,00	34,90 €	34,90 €
PLA	0,30	11,94 €	3,58 €
Fuente alimentación	1,00	14,99 €	14,99 €
<b>COSTE TOTAL</b>			<b>73,31 €</b>

El gasto energético de la impresora durante el proceso de impresión se ha desestimado puesto que es mínimo (65 céntimos). Tampoco está contemplado el coste de mano de obra.

Tabla 02

Coste del prototipo.



## BIBLIOGRAFÍA

- ALVA CORAS, Carlos Arturo, 2012. *Procesamiento de señales de electromiografía superficial para la detección de movimiento de dos dedos de la mano [en línea]*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero electrónico. Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería Electrónica [consulta: 13 de octubre de 2018]. Disponible en: [http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/416/Alva\\_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/416/Alva_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [1] ELSAYED HUSSEIN, Mahdi, 2004. 3D Printed Myoelectric Prosthetic Arm [en línea]. Graham Brooker, dir. Tesis doctoral. Australian Centre for Field Robotics, Sydney. [consulta: 11 de abril de 2018]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B70A6QACCyueR3hOSnJBUVk1ZHM/view>
- [2] LANGEVIN, Gael (2018). *Inmoov* [en línea]. [consulta: 8 de abril de 2018]. Disponible en: <http://inmoov.fr/>
- [3] MARKOWITZ, Eric (2014). “What a \$100,000 Bionic Arm Can Do” [en línea]. En Vocativ, [consulta: 26 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.vocativ.com/money/industry/prosthetic-boom-3d-printed-mind-controlled-limbs/index.html>
- RAEZ, M; HUSSAIN, M; MOHD-YASIN, F. “Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications”. En *US National Library of Medicine* [en línea]. [consulta: 7 de julio de 2018]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1455479/>

Nota: las imágenes, modelos 3D, diagramas y tablas cuyo origen no está especificado son de fuente propia.

A continuación, se adjunta un código QR el cual enlaza a una carpeta de Google Drive en la que se pueden descargar la aplicación Android y el código Arduino. En dicha carpeta se pueden visualizar dos videos del prototipo además del trabajo original entregado en el IES Pintor Antonio López en toda su extensión.





# Sea energy project: la revolución de las olas

---

/ PRIMER PREMIO

**AUTORA** | ARIADNA GONZÁLEZ NAVARRO

**COORDINADOR** | IVÁN NADAL LATORRE

**CENTRO** | IES D'ARGENTONA

**CIUDAD** | ARGENTONA- BARCELONA

## RESUMEN |

El constante aumento de la demanda de energía eléctrica a escala mundial, junto con la problemática de los sistemas actuales para generarla (combustibles fósiles, energía nuclear) ha empujado a la sociedad a buscar nuevas formas de obtenerlas, buscando la manera de respetar el medio ambiente. Las energías hidráulica, eólica o fotovoltaica, entre otras renovables, están en continua expansión y desarrollo, pero empieza a surgir una nueva forma de obtenerla, relacionada con la fuerza de las olas. Actualmente existen algunos dispositivos tipo boya que permiten obtener una cierta cantidad de energía, pero que presentan un solo apoyo que monitoriza el movimiento vertical de las olas. Este único apoyo considero que reduce su eficiencia. Es por ello que se ha diseñado un sistema con tres puntos de anclaje equidistantes en un ángulo de  $120^\circ$  que, de manera independiente, pueden generar electricidad, gracias al movimiento vertical de cada uno de ellos. En condiciones controladas, se ha podido obtener un total de 18 V de potencial que ha permitido encender una pequeña pantalla LED, gracias a la conversión de la energía eléctrica de tipo alterna originada en los tres motores, en una de tipo continuo gracias a un sistema de puentes de diodos. El siguiente paso es probarlo en un simulador de olas y observar su viabilidad. Para ello, ya se ha contactado con la UPC-Tech de Barcelona. Aunque es un primer prototipo; por tanto, mejorable, es una primera modificación de los sistemas ya existentes.

**Palabras clave:** energía undimotriz, olas, medio ambiente, tecnología, innovación.



## ABSTRACT |

The constant increase in the demand for electricity on a global scale, together with the problems of current systems to generate it (fossil fuels, nuclear energy) has pushed society to look for new ways to obtain them, seeking ways to respect the environment. The hydraulic, wind or photovoltaic energies, among other renewable energies, are in continuous expansion and development, but a new way to obtain it begins to emerge, related to the strength of the waves. Currently there are some buoy-type devices that allow a certain amount of energy to be obtained, but with only one support that monitors the vertical movement of the waves. This only support I think reduces its efficiency. That is why a system has been designed with three anchoring points equidistant at an angle of  $120^\circ$  that, independently, can generate electricity, thanks to the vertical movement of each of them. Under controlled conditions, it has been possible to obtain a total of 18 V of potential that has allowed to light a small LED screen, thanks to the conversion of the alternating electric power originated in the three engines, in a continuous type thanks to a system of diode bridges. The next step is to test it in a wave simulator and observe its viability. For this, it has already contacted the UPC-Tech of Barcelona. Although it is a first prototype; therefore, improvable, it is a first modification of existing systems.

**Keywords:** wave energy, waves, environment, technology, innovation.



## INTRODUCCIÓN

¿Hasta qué punto las energías tradicionales tienen un límite de existencia? ¿Se aprovechan al máximo las energías renovables? ¿Realmente se conoce la energía producida por las olas? Y los sistemas existentes actualmente, ¿son eficientes? Estas son alguna de las preguntas que me han permitido realizar el presente trabajo.

Si comenzamos por la tercera pregunta y la quisiéramos responder, nos encontraríamos con la sorpresa de que no existe aún en el diccionario de la Real Academia de la Lengua española ningún término que defina la “energía producida por las olas”, siendo el término más próximo, aunque no igual, el de energía maremotriz, definida como “energía obtenida a partir del movimiento de las mareas”. El término que queremos indagar se conoce como “undimotriz”, palabra compuesta que significa motor por olas (de “undo”, ola, y “motriz, motor). En consecuencia, nos encontramos con un término utilizado aún en áreas muy concretas y poco familiar para el público en general (fig. 1).

Como toda energía indicada como renovable, y definida por la RAE como “energía cuyas fuentes se presentan en la naturaleza de modo continuo y prácticamente inagotable”, cada vez está teniendo más auge para sustituir las llamadas energías no renovables (combustibles fósiles, energía nuclear, entre otras). Ello es debido a un aumento progresivo de la demanda de la energía eléctrica a escala mundial, el aumento en la dificultad de los sistemas actuales en generarlas y las problemática ambientales asociadas. Es por ello que, cada vez, se están buscando alternativas para respetar el medio ambiente (Diaz, 2011).

Las energías hidráulica, eólica, térmica, fotovoltaica, están en continua expansión y desarrollo, pero empieza a surgir una nueva forma de obtenerlas y es aprovechando la fuerza de las olas y las mareas. Denominadas energía undimotriz u olamotriz, tienen un gran potencial energético y se estima que sólo Europa sería capaz de generar entre 120 a 190 TWh/año (2011); comparándola

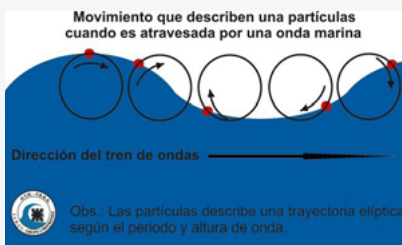


Figura 01

Física del movimiento de las olas.  
Fuente: <http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/>

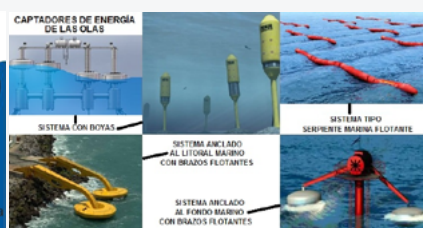


Figura 02

Alguno de los sistemas existentes.  
Fuente: <https://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2012/08/definicion-de-energia-undimotriz-y-sistemas-de-captacion.html>

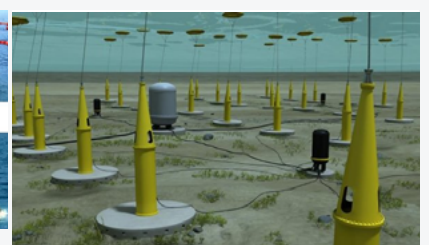


Figura 03

Sistema de boyas en el mar del Norte (Suecia). Fuente: <https://twenergy.com/a/energia-undimotriz-comercial-suecia-aprovecha-la-energia-de-olas-2697>





con una central nuclear media, ésta es capaz de generar de 8 a 10 GWh / año suficiente para 2 millones de hogares (2017).

Finalmente, actualmente existen algunos dispositivos tipo boya que permiten obtener una cierta cantidad de energía, pero que presentan un solo soporte (Ría de Bilbao, España; Sotenäs, Suecia, fig. 2; o Fortaleza, Brasil) que monitoriza el movimiento vertical de las olas. Todos ellos se caracterizan por presentar un solo apoyo en la boya, aunque existen otros sistemas, no analizados en este trabajo, con diseño diferente (fig. 3).

Con todos estos datos, la motivación para realizar el presente trabajo es clara y doble. Por una parte, dar a conocer este término en mi entorno, tanto educativo como social (y, por qué no, investigador), e intentar mejorar los sistemas existentes, centrándome en el caso de las boyas de un solo punto de apoyo. El diseño y creación de una propuesta es la base que se presenta en este estudio. Además, existe un componente personal y académico detrás de esta doble motivación. El tutor del trabajo siempre nos dice que en una investigación ha de haber una aportación propia y, junto con el hecho de que en mi familia el interés por la tecnología y las ingenierías siempre ha sido alto, me ha llevado a buscar temas que cumplieran con este conjunto de propósitos y que, además, fuera interdisciplinario, como es este caso: tecnología y medio ambiente.

Los dispositivos para el aprovechamiento de la energía de las olas deben hacer frente a diversas dificultades para su desarrollo: entorno corrosivo, trabajo en condiciones meteorológicas extremas y variabilidad en la potencia y baja frecuencia de las olas. Para tratar de dar respuesta a estas dificultades, se han propuesto un gran número de dispositivos para el aprovechamiento de este tipo de energía, en claro contraste con cualquier otro tipo de aprovechamiento de energía renovable. Según datos del 2011, sólo unos pocos han alcanzado la etapa de ensayo a escala real en el mar y sólo uno de los desarrollos (Pelamis de Pelamis Wave Power) puede considerarse cercano a la fase de explotación comercial.

## OBJETIVOS

El objetivo es el diseño y construcción de un sistema de boya que mejore el rendimiento para la obtención de energía a partir del movimiento de las olas (energía undimotriz) a partir de un aumento de puntos de fijación que tengan un recorrido vertical, siguiendo este movimiento.

En este sentido, el sistema de boya que existe actualmente, fijada en un punto tiene una menor eficiencia que el propuesto dado que sólo monitoriza un punto de cara a la obtención de energía por movimiento vertical de las partículas de agua que pasan por este punto. Es posible obtener más energía si monitorizamos una mayor cantidad de puntos que presenten este movimiento vertical.



## MATERIALES Y METODOLOGÍA SEGUIDA

Con el fin de obtener una mínima precisión en el montaje del prototipo, para su construcción se han recurrido a diferentes programas (fig. 4) de C.A.D., solidworks y sketchup para el diseño de piezas, así como a máquinas controladas por ordenador (figs. 5 y 6), fresador C.N.C., corte de hilo caliente C.N.C, cortadora láser, impresora 3D, y otras manuales como el torno, columna de taladrar y varias herramientas, llaves allen, hexagonales, tornavises, entre otras.

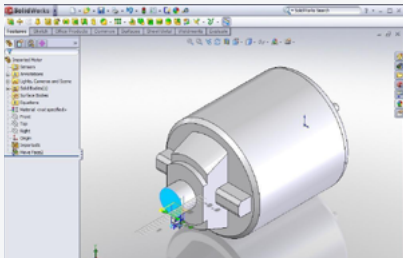


Figura 04

Pantalla principal de SolidWorks.



Figura 05

Torno.

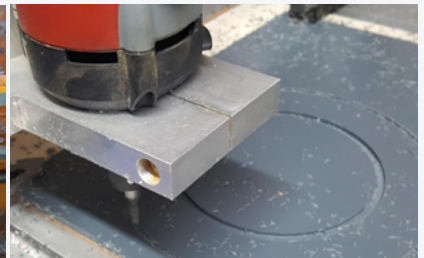


Figura 06

Fresadora CNC.

Una vez realizada la búsqueda bibliográfica correspondiente, se hizo un diseño del prototipo y se comenzó su fabricación. Se han diseñado diversos tipos de boya hasta encontrar un sistema que considero potencialmente viable, basándose en el existente de la central undimotriz de Porto do Pacem (Brasil). De todo el sistema planteado, el elemento principal es ésta, ya que se debe tener en cuenta que ésta ha de generar la suficiente fuerza para mover y soportar el peso de todo el conjunto que genera energía. Una vez definida (fig. 7), se pasó a la construcción del sistema mecánico basado en tres ejes equidistantes en sectores de 120°, fijados entre dos piezas circulares que formarían el esqueleto del prototipo, con una estructura tipo Delta, igual a la que se utiliza en los sistemas de impresora 3D (fig. 8).

Con el fin de cumplir el propósito, se ha optado por un sistema piñón-cremallera por su facilidad de ejecución (fig. 9). Las bielas que forman parte de la estructura soportan toda la fuerza del movimiento de la boya. Para aumentar su eficiencia, se ha añadido un sistema de rótula para que tenga un poco de movilidad en lugar de varillas fijas como se había pensado para los dos primeros sistemas. El conjunto se acompaña con tres motores de paso situados en cada uno de los ejes y que permiten el movimiento vertical del sistema de piñón-cremallera.

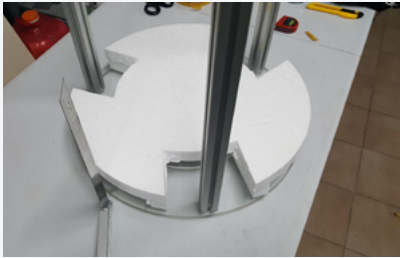


Figura 07

Tercer modelo de boya.

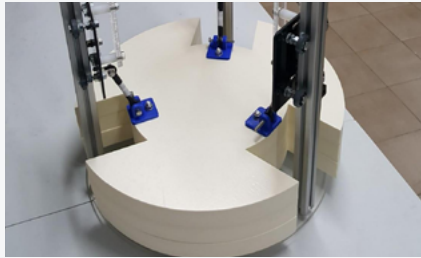


Figura 08

Modelo compacto de boya incorporada en el cuerpo del prototipo



Figura 09

Sistema piñón-cremallera utilizado para el movimiento vertical del simulador.

Una vez diseñada ésta, se comenzó con la parte electrónica (fig. 10), conectada al sistema mecánico. Consta de tres elementos: una base superior del sistema de alucobond (mezcla de aluminio y metacrilato) que aprovecha la sujeción superior de los ejes verticales. En ella se sitúan, entre otros, los motores generadores de energía y el sistema de transmisión formado por los piñones que mueven las cremalleras. En segundo lugar, un sistema de simulación de olas (fig. 11) que contiene, entre otros, la placa Arduino Mega, los drivers de alimentación de los motores de paso. Finalmente, un sistema de aprovechamiento de la energía (fig. 12) donde se sitúan todos los componentes electrónicos que permiten el aprovechamiento de la energía, entre los cuales podemos destacar la placa prototipo donde están soldados los componentes y el convertor dc-dc.



Figura 10

Trabajando en las piezas de la parte electrónica.

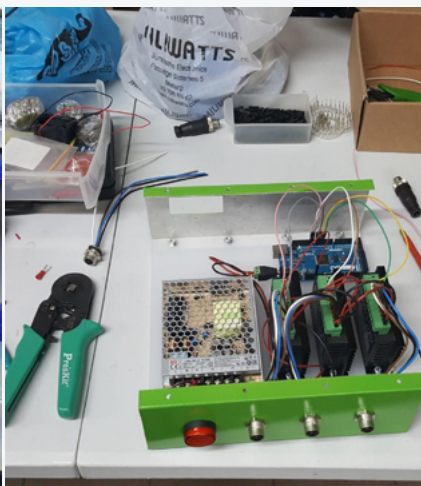


Figura 11

Circuito electrónico para simular el funcionamiento mecánico de las olas.

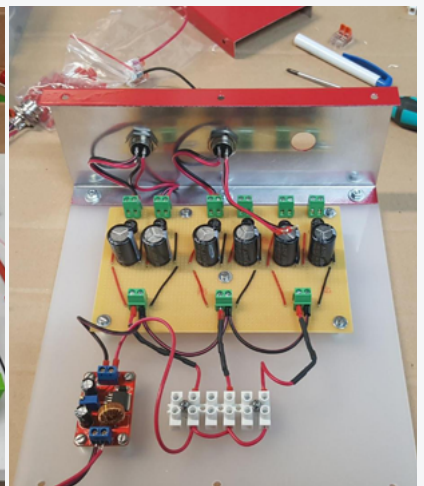


Figura 12

Placa electrónica para el aprovechamiento de la energía.



## RESULTADOS

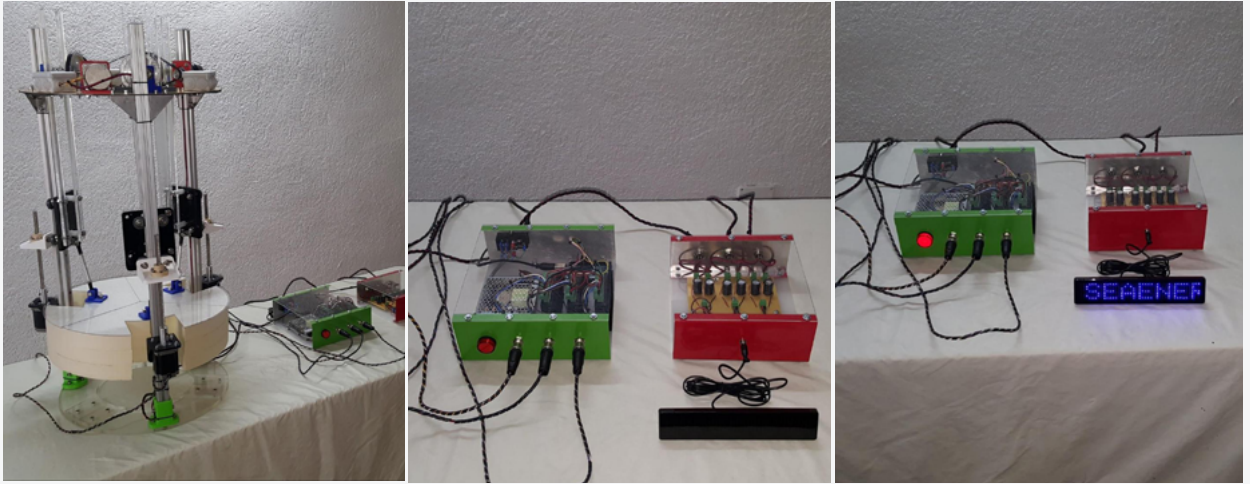
Los resultados que se explicaran a continuación se centrarán en dos grandes puntos: la explicación del prototipo final y su funcionamiento, tanto desde el punto de vista mecánico como electrónico. Consta de tres partes:

La boya y estructura delta, con una parte mecánica y una electrónica (fig. 13): el prototipo presenta una serie de tres puntos de fijación sobre una boya de 50 cm, y que a la realidad, debería tener entre 5 y 10 m de diámetro, para conseguir la fuerza necesaria para poder mover todo el sistema de generación de energía. Esta centrada en el conjunto y sujeta por tres puntos (estructura tipo delta) mediante unas varillas en cuyos extremos hay unas cabezas articuladas. Éstas están unidas a los patines que se deslizan por la estructura de aluminio. En éstos, a su vez, se sujetan las cremalleras que atacan los piñones en cuyo eje se halla la polea que mueve cada motor de paso utilizado para genera energía, cuya relación es de 1:10.

Simulador de olas (“caja verde”; fig. 14): con toda la parte electrónica que simulará el efecto sinusoidal de una ola. En este sentido, crea un movimiento de la boya en los distintos ejes, hacia arriba y abajo. Esto también hará que todo el sistema de generación de energía entre en funcionamiento. Éste es sencillo: sólo controlamos sentido de giro (derecha o izquierda) y cuánto queremos desplazar cada eje. Mediante un temporizador hacemos que cada uno arranque con un desfase de un segundo, consiguiendo un efecto de vaivén. El programa usa la librería *AccelStepper*, muy fácil de usar, solo hemos de introducir velocidad, aceleración y desplazamiento, la librería genera todos los cálculos necesarios, la parte repetitiva del programa se encarga de invertir el sentido giro de los motores una vez alcanzan el desplazamiento introducido así como de la secuencia de puesta en marcha de los motores con un desfase de un segundo mediante temporizador para simular el efecto de la ola..

Sistema generación de energía (“caja roja”; fig. 15): el sistema se reparte en tres zonas del prototipo: en los ejes (motores de paso), en la base superior (motores generadores de energía) y en el sistema convertidor de energía (“caja roja”). Los motores generadores de energía producen una tensión de tipo alterna. Cada uno cuenta con cuatro bobinas, se conectan en serie dos a dos según especificaciones fabricante para conseguir el mayor voltaje posible. El par de bobinas se conecta a un circuito rectificador formado por dos puentes de diodos modelo DC W02M. Su salida se filtra mediante condensadores electrolíticos 35 V y 2200 microfaradios, convirtiendo esta tensión a continua, este circuito se repite por cada generador, todos los componentes electrónicos se soldan a una placa de prototipos.

Éstos, a su salida, están conectados en serie, consiguiendose unos 15 V - 18 V continuos que convertimos a 5 V mediante conversor dc-dc, permitiendo alimentar un display de leds.



Figuras 13, 14 y 15

Visión general del prototipo finalizado, con la boya y la estructura delta (izquierda), el simulador de olas y el generador de energía (centro), y el display funcionando (derecha).

## CONCLUSIONES

En primer lugar, se ha podido realizar un primer prototipo viable siguiendo el modelo de sistema de boya y estructura tipo delta. Si se compara con alguno parecido, el presentado es más compacto y, posiblemente, soportaría las duras condiciones del mar, ya que el propio sistema delta (en tres ejes) facilitaría esta resistencia, más que el sistema de un solo punto de apoyo. Actualmente, el sistema presentado ha intentado analizar algunos modelos ya existentes y minimizar algunos impactos que éstos podrían ocasionar, pero se ha centrado en la idea que podría ser más efectivo energéticamente por el sistema de tres puntos de monitoreo que presenta la boya.

Dado que este es un primer paso, el objetivo que vendría a continuación sería contactar con algún centro de investigación que trabaje esta energía para evaluar el producto conseguido hasta ahora, y cómo se podría continuar. Dos posibles lugares de contacto son, el Instituto de Ciencias del Mar (ICM), centro del CSIC, y la Escuela Técnica de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña, dos de los espacios donde hay piscinas que producen olas y que podría ser un punto de ensayo para el sistema.





## BIBLIOGRAFÍA

NOTA: La bibliografía que se indica en el presente apartado es una parte de la totalidad utilizada en el trabajo completo.

- AccelStepper library for Arduino (n.d.). Consultada el 5 de enero de 2019, <http://www.airspayce.com/mikem/arduino/AccelStepper/index.html>
- Ametek (2012). *Size 23 Stepper Motor Data*. Catálogo. Consultada el 16 diciembre de 2018, <https://www.elmeq.es/ftp/productsFiles/1402/MOTOR-PAP-HY2226-ES.pdf>
- Arrieta, J.(2016). *Euskadi se enchufa al Cantábrico*. El Correo. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://www.elcorreo.com/alava/economia/201608/04/primer-captador-flotante-energia-20160804122631.html>
- Castaño, M. (2015). *Sistema de monitorización y supervisión de una boya para generación de energía undimotriz*. UPCommons. Consultada el 21 de octubre de 2018, <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/12799>
- Darvil, A. (2018). *Energy Resources: Wave Power*. Consultada el 24 de noviembre de 2018, <http://www.darvill.clara.net/altenerg/wave.htm>
- Díaz, C. (2011). *Hacia una ética de la biosfera para crisis ambiental (tesis)*. UCM. Consultada el 2 de setiembre de 2018, [https://eprints.ucm.es/12646/1/T3\\_2767.pdf](https://eprints.ucm.es/12646/1/T3_2767.pdf)
- EcoPortal.net (2014). *Central undimotriz en Brasil*. Consultada el 23 de setiembre de 2018, <https://www.ecoport.net/paises/brasil/central-undimotriz-en-brasil/>
- EcoWavePower (2018). *Wave Energy*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://www.ecowavepower.com/>
- Energía Limpia XXI (2015). *Brasil y Argentina aprovechan energía de las olas del mar*. Consultada 23 de setiembre de 2018, <https://energialimpiaparatodos.com/2015/01/13/brasil-aprovecha-energia-de-las-olas-del-mar>
- ER (2017). *Energías del mar. La boya undimotriz diseñada por Oceantec sobrevive un año de pruebas en el Cantábrico*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, [https://www.energias-renovables.com/energias\\_del\\_mar/el-prototipo-undimotriz-diseñado-por-oceantec-sobrevive-20171226](https://www.energias-renovables.com/energias_del_mar/el-prototipo-undimotriz-diseñado-por-oceantec-sobrevive-20171226)
- Etymol.com (2017). *Brochure Undimotriz*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, [http://www.etymol.com/downloads/brochure%20\\_undimotriz\\_etymol.pdf](http://www.etymol.com/downloads/brochure%20_undimotriz_etymol.pdf)
- Fernández, S. (2017). *Analizamos los datos de la Central de Motriku. Diario Renoblables*. Consultada el 2 diciembre de 2018, <https://www.diariorenovables.com/2017/12/central-undimotriz-de-mutriku-analisis-datos-produccion-problemas.html>
- Foro nuclear (2017). *Uranio, energía y piscinas de combustible*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://www.fornuclear.org/es/consultas-al-experto/122837-uranio-energia-y-piscinas-de-combustible>
- Fundéu BBVA (2011). *Undimotriz*. Consultada el 26 de agosto de 2018: <https://www.fundeu.es/consulta/undemotriz-4342/>



- Gómez, D. (2010). *Análisis de los generadores de accionamiento directo en tecnología undimotriz*. Universidad de Sevilla. Consultada el 7 de diciembre de 2018, <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4994/fichero/5. An%C3%A1lisis+de+Los+Generadores+de+Accionamiento+Directo.pdf>
- Greentech (2019). *Energía undimotriz comercial*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://www.greentech.es/energia-undimotriz-comercial-suecia/>
- Grupo de trabajo I+D+I (2019). *Tipos de onda*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Consultada el 26 de agosto de 2018, [http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/?page\\_id=270](http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/?page_id=270)
- Ibañez, P. (2008). *Energías de la olas: Situación y Futuro*. Universidad da Coruña, Consultada el 16 diciembre de 2018, [https://www.udc.es/iuem/documentos/doc\\_xornadas/anaeco/APROVEITAMENTODAENERXIADASOLAS.pdf](https://www.udc.es/iuem/documentos/doc_xornadas/anaeco/APROVEITAMENTODAENERXIADASOLAS.pdf)
- McCormick, M.E. (2007). *Ocean Wave Energy Conversion. Chapter 2. Ocean waves*. Pp. 7-25. Dover Publications, USA. ISBN-13: 9780486462455
- Mutriku Turismoa (2018). *Planta undimotriz de Mutriku*. Consultada el 23 de setiembre de 2018, <https://www.mutriku.eus/es/turismo/mutriku/planta-olas>
- Navarro, A. (2019). Youtube. *Sea Energy Project*. Resumen del proyecto: <https://youtu.be/B6j21nwGuys>
- Navarro, R (2011). *Producción de energía a partir de las olas del mar*. Madrid+. Consultada el 2 de setiembre y el 21 de octubre de 2018, y el 17 de febrero de 2019, <http://www.madrimasd.org/informacion/Idi/analisis/analisis/analisis.asp?id=50609>
- Paschoa, C. (2013). Marine Technology. *Wave energy research in Brazil Taking Off*. Consultada el 21 de octubre de 2018, <https://www.marinetechnews.com/blogs/wave-energy-research-in-brazil-taking-off-700004>
- Píriz, H. (2017). *Cálculo y diseño de una central undimotriz (TFG)*. Universidad Carlos III. Consultada el 2 de setiembre de 2018, [https://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27621/TFG\\_Gonzalo\\_Piriz\\_Hurtado.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27621/TFG_Gonzalo_Piriz_Hurtado.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- RAE (n.d.). *Energía*. Consultada el 26 de agosto de 2018, <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>
- RAE (n.d.). *Energía maremotriz*. Consultada el 26 de agosto de 2018, <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>
- RAE (n.d.). *Energía renovable*. Consultada el 26 de agosto de 2018, <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>
- Sitiosolar.com (2013). *La nueva central de captación de energía de las olas en Portugal y otros sistemas de obtención de energía en el mar*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <http://www.sitiosolar.com/la-nueva-central-de-captacion-de-energia-de-las-olas-en-portugal-y-otros-sistemas-de-obtencion-de-energia-en-el-mar/>



- Size 23 Stepper Motor Data (n.d.). Consultada el 4 de enero de 2019, <https://www.elmeq.es/ftp/products/Files/1402/MOTOR-PAP-HY2226-ES.pdf>
- Universidad de Alicante (n.d.). *Mecánica de fluidos*. Consultada el 7 de diciembre de 2018, [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/4/tema2\\_impulsion.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/4/tema2_impulsion.pdf)
- Universidad Politécnica de Valencia (2002). *Control de motores paso a paso mediante microcontroladores (Stepper motor)*. Consultada el 23 de diciembre de 2018, <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lсед/2002-03/motorespasoapaso/motorespasoapaso.pdf>
- Universidad Veritas (n.d.). *Impresora 3D Delta*. Consultada el 7 de diciembre de 2018, <http://dp4.yolasite.com/>
- US EIA (2018). *Energy Explained. Wave Power*. Consultada el 26 de agosto de 2018, [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=hydropower\\_wave](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=hydropower_wave)
- Vera, R. (2014). Youtube. *Energía con las olas del mar*. Consultada el 21 de octubre de 2018, [https://www.youtube.com/watch?v=v2xA\\_sRedKl](https://www.youtube.com/watch?v=v2xA_sRedKl)
- Wedge Global (2014). *Energía de las olas*. Consultada el 26 de agosto de 2018, <https://www.wedgeglobal.com/es/noticias/item/16-energia-de-las-olas>
- Wikipedia (2018). *Energía undimotriz*. Consultada el 26 de agosto de 2018, [https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_undimotriz](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_undimotriz)
- Yayí, Ch. (2017). *Energía Undimotriz Comercial*. Twenergy. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://twenergy.com/a/energia-undimotriz-comercial-suecia-aprovecha-la-energia-de-sus-olas-2697>









# Factorización cuántica del número 15

---

/ PRIMER PREMIO

**AUTOR** | JAVIER PAGÁN LACAMBRA

**COORDINADORA** | EVA LÓPEZ PÉREZ

**CENTRO** | IES SAN MATEO

**CIUDAD** | MADRID

## RESUMEN |

Se ha diseñado un sencillo sistema óptico para factorizar el número 15 utilizando el Algoritmo de Shor. Para ello se ha utilizado un lenguaje binario basado en el estado de polarización de la luz, se ha diseñado un circuito cuántico que combina puertas de Hadamard y CNOT; y se ha estudiado cómo implementar estas operaciones utilizando divisores de haz polarizados y láminas de onda.

## ABSTRACT |

We have designed a simple optical scheme to factorize number 15 using Shor's Algorithm. To do this, we have used a binary language based on the polarization of light, we have designed a quantum circuit that combined Hadamard and CNOT gates; and we have studied how to implement these operations using polarizing beam splitters and wave plates.



## 1. INTRODUCCIÓN

Para hacer computación es necesario un lenguaje lógico, que consta de una unidad de información y una serie de operaciones que nos permiten trabajar con ella. De esta manera podemos crear algoritmos, que son una serie de pasos mecánicos para resolver un problema. Sin embargo, si queremos construir un ordenador, es decir, un sistema físico capaz de ejecutar un algoritmo, necesitamos portadores de información: objetos físicos que representan la información. Por ejemplo, en el caso de un ordenador electrónico la unidad de información es el bit (0 o 1), y se codifica en la carga eléctrica que se almacena en un condensador. De esta manera, si el condensador excede un mínimo de carga representa un 1 y si no, un 0.

Los ordenadores cuánticos se diferencian de los clásicos en que trabajan con qubits: unidades de información que no sólo pueden valer 0 o 1, sino cualquier combinación de ambos. Además, los portadores de información experimentan fenómenos cuánticos, que pueden utilizarse para aumentar exponencialmente la velocidad de los algoritmos. Nosotros nos centraremos en el problema de la factorización de enteros, y utilizaremos fotones como portadores de información.

## 2. ESTADO DE POLARIZACIÓN DE UN FOTÓN

La luz es una onda electromagnética compuesta por un campo eléctrico y un campo magnético que vibran de forma perpendicular entre sí y a la dirección de propagación. Estas ondas se transmiten en múltiplos de una energía mínima, y a la onda que lleva esta cantidad mínima se le llama fotón. Este tipo de objetos, que se transmiten en paquetes de onda, se denominan objetos cuánticos.

La polarización de una onda hace referencia a la dirección en la que vibra. En los fotones, el campo eléctrico puede vibrar verticalmente (polarización vertical) u horizontalmente (polarización horizontal), pero también puede girar sobre el eje de propagación. Esto significa que si representamos el campo eléctrico como una onda plana

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{i(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - \omega t)} \quad (1)$$

donde  $\mathbf{k}$  es el vector de onda,  $\omega$  es la frecuencia angular y  $\mathbf{E}_0$  representa el vector de polarización; podemos escribir

$$\mathbf{E}_0 = E_0 \cos(\theta) \mathbf{e}_1 + E_0 e^i \quad (2)$$

donde  $\theta$  es el ángulo entre  $\mathbf{E}_0$  y  $\mathbf{e}_1$ . El factor imaginario que acompaña a la componente  $\mathbf{e}_2$  representa el desfase entre las dos componentes, lo que da lugar a polarizaciones circulares y elípticas en las que el vector de polarización gira sobre  $\mathbf{e}_3 = \mathbf{e}_1 \times \mathbf{e}_2$ . Si hacemos pasar el campo eléctrico descrito en (1) y en (2), de intensidad  $I_0$ , por un polarizador horizontal (que solo deja pasar la compo-



nente  $e_j$ ), obtendremos una onda polarizada horizontalmente y de intensidad  $I_0 \cos^2 \theta$ . Ahora pensemos en qué sucede cuando hacemos pasar un único fotón por el polarizador. El fotón no puede dividirse, sino que tiene una probabilidad  $\cos^2 \theta$  de atravesar el polarizador y una probabilidad  $\sin^2 \theta$  de ser absorbido. Escribimos el estado cuántico de polarización de un fotón como

$$|\psi\rangle = \cos\theta|H\rangle + e^{i\phi}\sin\theta|V\rangle. \quad (3)$$

Donde  $H$  y  $V$  representan polarización horizontal y vertical. En mecánica cuántica, estos estados se entienden como vectores en un espacio de Hilbert sobre el cuerpo de los números complejos. Los vectores de la base representan los distintos posibles resultados de un experimento y el módulo al cuadrado de cada componente da la probabilidad de medir su respectivo resultado. Por esto decimos que un fotón es un qubit, porque no sólo puede tomar el valor  $H=0$  o  $V=1$ , sino cualquier combinación de ambos. No obstante, una vez el fotón atraviesa el polarizador, su estado de polarización cambia y pasa a ser horizontal, decimos que ha colapsado.

Consideremos ahora un sistema compuesto por dos fotones:  $A$  y  $B$ . Cada uno de los fotones constituye por sí mismo un sistema cuántico con su propio espacio de Hilbert:  $\mathcal{H}_A$  y  $\mathcal{H}_B$ . Imaginemos que medimos la polarización de esos fotones. Los posibles resultados que podemos obtener son  $\{|H\rangle|H\rangle, |H\rangle|V\rangle, |V\rangle|H\rangle, |V\rangle|V\rangle\}$ , donde el primer ket representa la polarización medida en  $A$ , y el segundo, la polarización medida en  $B$ . Hemos encontrado un nuevo espacio vectorial  $\mathcal{H}_{AB}$  que describe el sistema cuántico compuesto por  $A$  y  $B$ . Debido a la estructura de este espacio vectorial, podemos encontrar estados con propiedades especiales, en los que una sola medición puede provocar el colapso de dos sistemas distintos. En este caso se dice que  $A$  y  $B$  están entrelazados, ya que un estado guarda información sobre el otro.

### 3. TRANSFORMACIONES DE LA INFORMACIÓN: PUERTAS CUÁNTICAS

Ya hemos visto que los fotones son buenos candidatos para ser portadores de información cuántica (qubits). Diremos que un estado de polarización horizontal equivale a 0 y un estado de polarización vertical equivale a 1. Ahora tenemos que entender las operaciones que podemos realizar sobre esta información. Estas operaciones son las puertas cuánticas, y pueden actuar sobre un qubit o sobre varios. Utilizaremos las siguientes.

#### 3.1. PUERTAS SOBRE UN QUBIT

- **Puerta de Hadamard (H):** Se trata de una de las transformaciones más importantes en computación cuántica. Se le asocia la siguiente matriz en la base  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ :

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}.$$



- **Corrimiento de fase ( $Z_n$ ):** Multiplica la componente  $|1\rangle$  por un factor de módulo uno:

$$\omega_n = \exp \frac{2\pi i}{2^n}.$$

### 3.2. PUERTAS SOBRE VARIOS QUBITS

- **Negación condicionada (CNOT):** Niega un qubit cuando otro qubit de control vale 1. Más adelante representaremos esta puerta como un círculo sobre un qubit, unido por una línea vertical al qubit de control.
- **Puerta Swap:** Intercambia dos qubits. Se representa con dos aspas, una en cada qubit, unidas por una línea vertical.
- **Transformada cuántica de Fourier (QFT):** Es la transformada de Fourier discreta aplicada a un estado cuántico. Se escribe como

$$(QFT)^{-1} = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{j,k=0}^{2^n-1} \omega^{jk} |j\rangle \langle k| \quad (5)$$

donde  $\omega = \exp \frac{2\pi i}{2^n}$  es la primera raíz  $2^n$ -ésima de la unidad. Como se demuestra en (De Lacalle, 2004), podemos construir la QFT combinando puertas de Hadamard y corrimientos de fase condicionadas como se muestra en la Figura 1.

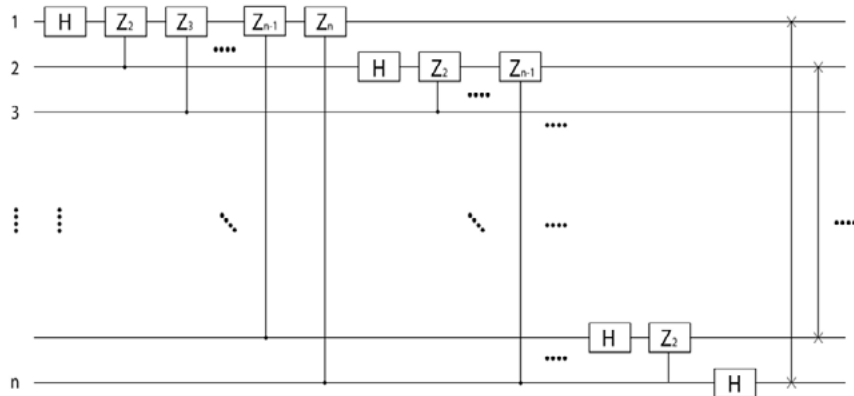


Figura 01  
Circuito cuántico para la QFT.

El símbolo  $\langle k|$  representa el conjugado complejo del estado  $|k\rangle$ , uno de los vectores de la base del sistema con el que estamos trabajando. Normalmente trabajamos en una base ortonormal, es decir, en la que el producto escalar  $\langle k|j\rangle$  es igual a 1 si  $k=j$  y a 0 si  $k \neq j$ .

### 4. PROBLEMA CLÁSICO DE LA FACTORIZACIÓN

El teorema fundamental de la aritmética nos dice que podemos expresar un



entero de modo único como producto finito de números primos. Este proceso se llama factorización.

Para simplificar los cálculos, supongamos que queremos factorizar un semiprimo  $\alpha = pq$ , con  $p$  y  $q$  primos. Elegimos un entero positivo  $a < \alpha$  distinto de  $p$  y de  $q$  tal que  $\text{m.c.d}(a, \alpha) = 1$ , y construimos una función de exponenciación modular (MEF):

$$f(x) = a^x \pmod{\alpha} \tag{6}$$

donde  $x$  es entero. El teorema de Euler nos garantiza que  $a^{(p-1)(q-1)} \equiv 1 \pmod{\alpha}$ , y por lo tanto la función  $f$  es periódica. Si el periodo es un número par, podemos escribir

$$\left(a^{\frac{r}{2}} + 1\right)\left(a^{\frac{r}{2}} - 1\right) \equiv 0 \pmod{\alpha} . \tag{7}$$

Si ninguno de estos factores es múltiplo de  $\alpha$ , entonces tenemos que

$$\text{m.c.d}\left(a^{\frac{r}{2}} + 1, \alpha\right) = p \tag{8}$$

$$\text{m.c.d}\left(a^{\frac{r}{2}} - 1, \alpha\right) = q \tag{9}$$

Así que el problema se reduce a encontrar el período de la MEF. El método clásico consiste en probar distintos valores de  $x$  hasta que los valores de  $f$  comiencen a repetirse, lo que conlleva un orden exponencial de operaciones frente al número de bits.

### 5. EL ALGORITMO DE SHOR

El algoritmo de Shor propone una solución cuántica al problema clásico de la factorización. Se trata de utilizar la mecánica cuántica para rebajar el orden de operaciones de exponencial a logarítmico-polinómico (Montañez, 2017).

El primer paso es hacer actuar una QFT sobre un estado 0 para obtener una superposición lineal y equiprobable desde el cero hasta  $2^n - 1$ :

$$(QFT)|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{x=0}^{2^n-1} |x\rangle \tag{10}$$

Por lo tanto, para poder crear este estado necesitaremos usar  $2\lceil \log_2 \alpha \rceil$  fotones, donde  $\lceil \log_2 \alpha \rceil$  representa el entero más cercano a  $\log_2 \alpha$ . Estos fotones formarán el primer registro. A continuación, preparamos mediante un ordenador clásico

un segundo registro de  $\lceil \log_2 \alpha \rceil$  fotones en el estado  $\frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{x=0}^{2^n-1} |a^x \pmod{\alpha}\rangle$



y los entrelazamos obteniendo

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{x=0}^{2^n-1} |x\rangle \otimes |a^x \bmod \alpha\rangle \quad (11)$$

Supongamos ahora que medimos  $\alpha^{x_0}$  en el segundo registro. Como la MEF es periódica, esta medición puede corresponder a cualquier número de la forma  $x = x_0 + yr$  donde  $y$  es entero. Estos pasan a ser, por lo tanto, los valores permitidos del primer registro. Ahora nos olvidamos del segundo registro y hacemos actuar otra QFT sobre el primer registro. Es fácil comprobar que el estado del sistema se puede escribir como

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{r/2^n}} \sum_{j=0}^{r-1} |\omega^{jx_0}\rangle \left( \sum_{y=0}^{2^n/r-1} |\omega^{jyr}\rangle |j\rangle \right) \quad (12)$$

Los sumandos anteriores son nulos salvo aquellos con  $\omega^{jr} = 1$ . Es decir,  $j$  solo puede tomar valores

$$j = \frac{2^n m}{r} \quad (13)$$

donde  $m$  es un número entero. Por lo tanto, cuando midamos el estado final obtendremos múltiplos de  $\frac{2^n}{r}$ . Como conocemos  $n$ , podemos despejar  $\frac{r}{m}$ , que recordamos es entero. De esta manera, reducimos los posibles valores del periodo a múltiplos de  $\frac{2^n}{j}$ .

## 6. FACTORIZACIÓN CUÁNTICA DEL NÚMERO 15

Ahora aplicaremos todo lo que hemos explicado para factorizar el 15. Primero estudiaremos la combinación de puertas necesaria para ejecutar el algoritmo minimizando el número de operaciones y luego discutiremos como implementar dicho circuito utilizando dispositivos ópticos.

### 6.1. MODELO TEÓRICO

La MEF más sencilla se consigue eligiendo  $\alpha=11$  en la Ecuación (6), con periodo  $r=2$ . Como discutimos en la sección anterior, necesitaremos dos registros de qubits: uno de  $2[\log_2=15]=8$  y otro de  $[\log_2=15]=4$ . Sin embargo, observamos que si expandimos  $a^x$  en términos de la forma binaria de  $x$

(  $x = 2^0 x_0 + 2^1 x_1 + \dots$  ), podemos escribir

$$a^x = \prod_{i=0}^{n-1} a^{2^i x_i} \quad (14)$$





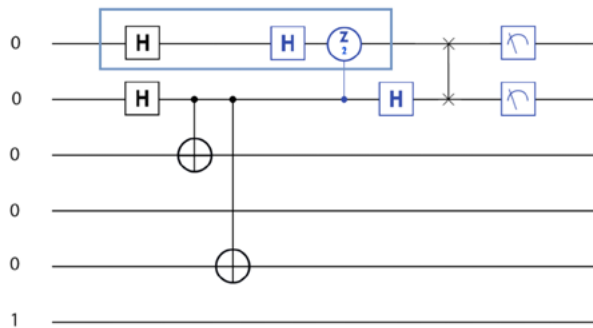
Por lo que la MEF se convierte en una serie de multiplicaciones controladas. Como si elevamos a una potencia par obtenemos  $1 \pmod{15}$ , y si lo hacemos a una potencia impar,  $11 \pmod{15}$ ; la multiplicación está controlada por  $x_0$  (el dígito correspondiente a  $2^0$  en binario). Esto nos permite reducir el número de qubits a dos en el primer registro y cuatro en el segundo.

Eligiendo  $n=2$  el estado (11) queda

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle|0001\rangle + |01\rangle|1011\rangle + |10\rangle|0001\rangle + |11\rangle|1011\rangle) \quad (15)$$

Observamos que cuando el segundo fotón del primer registro vale 1, el primer y el tercer fotón del segundo registro también valen 1, y de lo contrario valen 0. Por lo tanto, podemos conseguir este estado con dos puertas CNOT controladas por el segundo fotón del primer registro. Para la segunda QFT seguimos el circuito de la Figura 1. El circuito final se muestra en la Figura 2.

Figura 02



Circuito cuántico para factorizar el 15. La parte negra representa la primera QFT y la modulación exponencial, mientras que la azul representa la segunda QFT. Las puertas dentro del rectángulo azul se cancelan entre sí, ya que H actuando sobre sí misma da la matriz identidad y la puerta Z solo afecta a la componente 1.

Es sencillo comprobar que el estado que devuelve este circuito es  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |2\rangle)$ . Es decir, con probabilidad  $1/2$  mediremos 0, que interpretamos como un fallo; y con probabilidad  $1/2$  mediremos 2. Sustituyendo en (13) y eligiendo  $m=1$  obtenemos  $r=2$ . Finalmente, según las Ecuaciones (8) y (9) encontramos  $p=3$ ,  $q=5$ .

## 6.2. SISTEMA ÓPTICO

Existen unos dispositivos llamados láminas de onda, que tienen un índice de refracción distinto para componente H y V y que, por lo tanto, son capaces de

retardar una de las polarizaciones una fracción de onda  $\frac{\lambda}{n}$  (en función de  $n$  serán láminas de media onda, de cuarto de onda...). En este caso, el índice de refracción se convierte en un tensor, y podemos encontrar una base en la que su representación sea diagonal. Las láminas de onda son, en general, uniaxiales,



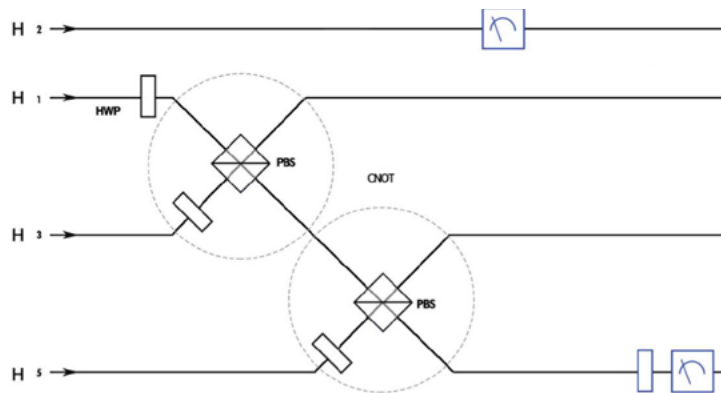
lo que significa que solo una de las componentes del tensor de refracción es distinta a las demás. El eje correspondiente a esta componente se denomina eje óptico.

Si hacemos pasar luz polarizada horizontalmente (estado 0) por una lámina de media onda (HWP) cuyo eje óptico está a 22.5° de la horizontal, obtenemos luz polarizada a 45°. Este es el resultado de aplicar una puerta de Hadamard al estado 0, por lo que implementaremos la puerta de Hadamard con láminas de media onda.

Para diseñar el sistema óptico de las CNOT, nos inspiramos en los modelos propuestos en (Nemoto, 2004), que están basados en divisores de haz polarizados (PBS): dispositivos formados por una lámina semiplataada que deja pasar la luz polarizada horizontalmente y refleja la luz polarizada verticalmente.

Después de varios intentos llegamos el circuito de la Figura 3, que procedemos a demostrar.

Figura 03



Sistema óptico para factorizar el 15. Se muestran los fotones 1 y 2 del primer registro (números 1 y 2) y el primer y el tercer fotón del segundo registro (números 3 y 5). Los fotones 4 y 6 se han omitido ya que no es necesario realizar ninguna operación sobre ellos. Los recuadros al final de los caminos 2 y 5 representan el aparato de medida.

Observamos que los fotones 1, 3 y 5 atraviesan una lámina de media onda, por lo que salen de ella en un estado

$$|\psi_{1HWP}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle). \tag{16}$$

Si pusiéramos un detector al final del camino 3, podríamos medir un fotón 3 en estado 0 o un fotón 1 en estado 1. Podemos escribir esto como

$$|\psi_{1A}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle). \tag{17}$$



En cualquier otro caso, esta puerta funcionaría con probabilidad  $1/2$ , pero en nuestro caso, podemos poner un polarizador vertical antes del detector. De esta manera, si el fotón 1 vale 1, podremos medir un estado 1, que es la negación del fotón 3. Por el contrario, si el fotón 1 vale 0, ningún fotón atraviesa el polarizador y asignamos un valor 0 al fotón 3. De hecho, como en este caso el polarizador formaría parte del aparato de medida, el Principio de la Medición en Diferido nos garantiza que no tenemos que gastar recursos en incluirlo en el circuito. La validez de la segunda puerta CNOT se demuestra igual que la de la primera, ya que son idénticas.

## 7. CONCLUSIÓN

Para concluir, hemos logrado nuestro objetivo inicial de diseñar un sistema óptico capaz de implementar el Algoritmo de Shor para factorizar el 15. Para ello, hemos estudiado la naturaleza cuántica de la luz y hemos visto cómo se transmite en ondas discretas: los fotones, cuyo estado de polarización hemos usado para crear un sistema de qubits. Hemos estudiado el Algoritmo de Shor y hemos logrado implementar puertas de Hadamard y CNOT utilizando materiales sencillos: láminas de media onda y divisores de haz polarizados. No obstante, también cabe mencionar lo que no hemos conseguido: no hemos logrado construir un circuito general para factorizar cualquier semiprimo, ya que hemos particularizado para el 15. Por lo tanto, una forma de construir sobre la base de este proyecto sería programar una red neuronal capaz de hacer lo mismo que hemos hecho aquí y generar un circuito cuántico para cualquier semiprimo dado. Si esto se consiguiera, significaría el fin del sistema de encriptación RSA (el algoritmo de clave pública más extendido) y el comienzo de una nueva era de la información, esta vez cuántica.

## BIBLIOGRAFÍA

- De Lacalle, J.G.L. (2004): “Factorización polinomial de números enteros”. *La Gaceta de la RSME* 7, 515-537.
- Mataix, C., Rodríguez, A. R., Rivadulla, A. (2002): *Física cuántica y realidad*, vol.18. Editorial Complutense.
- Montañez, S. (2017), “Curso de mecánica cuántica para estudiantes de Bachillerato”, Divulgamadrid, [en línea], disponible en <http://divulgamadrid.blogspot.com/>
- Nemoto, K., Munro, W. J. (2014): “Nearly deterministic optical controlled-not gate”. *Phys. Rev. Lett.* 93.



## Comunicación inalámbrica mediante luz visible: Implementación con Arduino UNO

---

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTOR** | DAVID LOZANO CAMPILLO

**COORDINADOR** | LUIS VICENTE VICENTE

**CENTRO** | I.E.S. FRANCISCO DE GOYA

**CIUDAD** | MOLINA DE SEGURA-MURCIA

### RESUMEN |

Nuestra sociedad actual, altamente dependiente de Internet y de las TIC, ha demandado de forma exponencial la transmisión de datos de manera inalámbrica, como la tecnología Wi-Fi, Bluetooth, NFC, etc. Este tipo de intercambio de información ha experimentado una limitación muy importante en las dos últimas décadas: la saturación de la franja del espectro electromagnético empleada para dichas transmisiones, ocasionando la consiguiente reducción de la velocidad, el incremento en la interferencia entre dispositivos y la pérdida de datos. En un mundo globalizado y en constante expansión, esto supone un problema que debe ser resuelto con la mayor celeridad posible. El siguiente proyecto usa lámparas LED para transmitir información por medio de pulsos de luz variables, lo que sortea la saturación del espectro al emplear una franja distinta a las ondas de radio. Además, este sistema puede potencialmente alcanzar una velocidad mayor a las redes Wi-Fi actuales, ya que emplea tecnología basada en la óptica. El sistema implementado cumple dos funcionalidades: la ya mencionada y la de iluminar el espacio de trabajo o convivencia, consiguiendo un substancial ahorro de energía. El siguiente trabajo desarrollará los circuitos electrónicos del sistema, la codificación de los programas necesarios para su funcionamiento y su implementación en la realidad, con el objetivo principal de enviar texto codificado en formato ASCII. La comunicación será bidireccional en el sentido de la creación un sistema de *feedback* vía infrarrojos que permite detectar errores en la transmisión y paquetes perdidos.



## ABSTRACT |

Our current society, highly dependent of Internet and Information Technologies, has been progressively demanding for more data transmission in a wireless way (Wi-Fi technology, Bluetooth, etc.), which have been limited by the increasing saturation of the electromagnetic spectrum, producing consequently reductions of velocity and the rise of interferences. In a globalized world and in continuous growth, this represents an issue that must be faced with the highest priority. The following project uses LED (Light Emitting Diode) technology for conveying information via light pulses with varying width, which solves the obstacle of continuous interference due to the medium saturation. Besides, a higher hypothetical velocity compared to Wi-Fi networks may be reached due to the usage of optical technology, and the system meets two functionalities: the first mentioned and the illumination one, achieving a substantial save of energy. This project will consist of the development of the communication system's circuits, the required computer programs to exchange information and its implementation in a real system, with the objective of transmitting text codified in the ASCII format. The communication will be bidirectional in the sense of the developing of a system that allows the receiver to send a code to the transmitter acknowledging that the data has been received correctly with infrared sensors.



## 1. INTRODUCCIÓN

El ser humano ha necesitado comunicarse desde su inicio, y por ello ha desarrollado numerosos medios con este propósito, entre los que se encuentran la escritura, el correo postal, el telégrafo, el teléfono y, en las últimas décadas del siglo XX, Internet. Para comunicarse por Internet es necesaria una conexión de red, y la comunicación inalámbrica es la más empleada y cómoda hoy día. Sin embargo, el gran número de diferentes tecnologías wireless, como Wi-Fi, Bluetooth y 4G, y el gran número de dispositivos que las emplean han causado una progresiva congestión y saturación del espectro electromagnético. Esto ha causado una gran congestión en el tráfico de datos, reducción de la velocidad y pérdida de información debido a interferencias. La saturación del espectro, y el empeoramiento de esta situación en un futuro muy próximo, sumado al aumento del tráfico móvil (inherentemente inalámbrico), la creación del Internet of Things, y la instauración del protocolo IPv6, al haberse acabado el número de direcciones IPv4 disponibles, hace evidente la necesidad de una revolución en las tecnologías wireless.

El siguiente proyecto tiene como principal motivación solventar el problema previamente mencionado, la saturación del espectro electromagnético, proponiendo explotar una franja que hasta hoy día ha sido utilizada en escasas ocasiones: la de la luz visible. Aunque ya ha sido empleada para comunicación veloz y fidedigna entre satélites militares y centros de control en la tierra, o entre satélites con línea de visión directa, no ha encontrado una aplicación práctica en el mercado común de redes inalámbricas. El sistema de comunicación planteado en este proyecto emplea el alumbrado propio de la casa para transmitir los datos, necesitando solamente un microcontrolador programado que actúe a modo de coordinador entre emisor y receptor. Esto podría conllevar un sustancial ahorro energético, ya que se realizaría la función de iluminar y de transmitir información a la misma vez.

Hay sistemas en los que la fiabilidad de la transmisión de datos es crucial: es el caso de los dispositivos electrónicos presentes en los hospitales o aviones, lo que tiene como consecuencia la prohibición del uso de dispositivos electrónicos ajenos al propio sistema en el caso más extremo o la necesidad de deshabilitar la funcionalidad wireless, el conocido modo avión. La tecnología propuesta en este proyecto, al usar el espectro visible, no requiere que se interrumpa la conexión con Internet para el correcto funcionamiento de dichos instrumentos. Otra motivación para desarrollar este sistema es el aumento de la privacidad y la seguridad que ofrecería, reduciéndose la posibilidad de que se realicen ataques informáticos a los usuarios para robar información: solo se puede recibir señal si existe una línea de visión directa con el emisor, ya que la luz visible no atraviesa las paredes y los objetos sólidos, a diferencia de las ondas de radio empleadas por el estándar Wi-Fi o Bluetooth.



## 2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este proyecto de investigación es el desarrollo de un transceptor, un dispositivo capaz de emitir y recibir información, que emplee la luz visible de color blanco para transmitir datos. El objetivo no es desarrollar un sistema de alta velocidad que sustituya, al menos de forma inmediata, a la tecnología convencional, sino uno fiable, eficaz, con los menores errores en la transmisión posibles y que presente una funcionalidad básica con aplicaciones inmediatas.

Las especificaciones mínimas del sistema a desarrollar se resumen en los siguientes: debe emplear luz visible, de color blanco y con una iluminación mínima de 300 lúmenes para poder cubrir una distancia de 1 metro y cumplir el objetivo de servir como fuente de iluminación estándar; emplea materiales *low-cost*; el parpadeo del LED al transmitir información no debe ser apreciable, luego la frecuencia de transmisión tiene que ser mayor a 1 KHz; debe implementar un sistema de acuse de recibo con el objetivo de recuperar paquetes perdidos y subsanar la posible corrupción de datos al ser enviados; debe ser portable a placa PCB con el objetivo de aumentar la capacidad del sistema para ser embebido en otros; una tasa de error inferior al 10%, una velocidad mínima de 500 bps y distancia mínima de transmisión de 30cm. En cuanto a las aplicaciones posibles a las que se debe ajustar se encuentran la transmisión de texto en formato ASCII, de órdenes (para implementar sistemas de domótica), e incluso la posibilidad de controlar un robot de forma remota, con comandos en forma de texto.

## 3. MÉTODO

Para desarrollar los planos y *schematics* de dicho sistema, se empleará el programa de software libre *Fritzing*, que permite desarrollar planos con componentes, vistas de esquema y diseños de placa PCB. Además, se empleará para codificar el algoritmo de funcionamiento del emisor y el receptor un IDE o entorno de desarrollo integrado, en este caso el Arduino IDE, de código abierto y con una gran cantidad de recursos *online*.

### 3.1. MATERIALES

Los materiales usados en este proyecto han sido *low-cost*, procurándose reutilizar los que ya poseía el instituto I.E.S. Francisco de Goya. Han sido los siguientes:

**Dos microcontroladores Arduino.** Este fue uno de los puntos más difíciles a tratar, ya que el microcontrolador es el núcleo del sistema de comunicación, encargado tanto de enviar como de recibir la información. Debe recibir los datos introducidos por el usuario en el PC, transformarlos en lenguaje binario, para posteriormente emitir una señal eléctrica que el LED transformará en luz. En el



lado del receptor, debe poseer una frecuencia de muestreo suficientemente alta, término que será detallado con más profundidad posteriormente. La placa Arduino (más concretamente su ADC, analog-to-digital converter) tiene una tasa de muestreo de aproximadamente 10 KHz, pero como las llamadas a funciones al ejecutar el código responsable de procesar el código ocupan pulsos de reloj, esta frecuencia se reduce hasta los 5 KHz, lo que nos limita la velocidad máxima a aproximadamente 1 KB. Por lo tanto, la única limitación técnica a la hora de aumentar la velocidad del sistema sería dicha tasa de muestreo (junto con la frecuencia máxima del reloj), fácilmente solucionable conectando un ADC externo, por lo que a pesar de esta desventaja se decidió usar una placa Arduino UNO debido a su bajo coste, a que es software y hardware libre y a que posee una cómoda interfaz de uso para la programación del sistema.

**Lámpara LED**, de tipo ojo de buey, modelo *JZMR16-D5E2*, con una luminosidad de 450 lúmenes, un ángulo de haz luminoso de 60 grados, y color blanco neutro, es decir, suficientemente cálido para no producir cansancio en los ojos, pero con la intensidad luminosa necesaria para servir como emisor en este medio de comunicación.

**Transistor de tipo MOSFET**, necesario para operar con voltajes superiores a 5V, ya que la lámpara disminuye su luminosidad al transmitir información por medio de parpadeos por lo que es necesario potenciarla con un voltaje mayor. Alimentada por el puerto USB del PC a través de la placa Arduino alcanza una luminosidad inferior a los 300 lúmenes, pero la alimentación a la luminaria puede ser por medios externos, ya que este proyecto está planteado para ser aplicado a luminarias de una habitación, que ya se hayan potenciadas por la red eléctrica del edificio. Por ello el transistor debe poder resistir un voltaje alto, y los modelos BJT son descartados. El empaquetado *TO-220AB* es el preferido para los MOSFET, capaz de disipar hasta 50W y que posee un agujero para montar un disipador sobre él.

**Fototransistor**. El primer dilema para el diseño del receptor fue la elección de un fototransistor o un fotodiodo. Resultaría claro elegir el fototransistor para este proyecto, ya que realiza una amplificación que el fotodiodo no hace debido a la posibilidad de emplear un transistor como un amplificador. Se escogieron como modelos idóneos para este proyecto: el *LPT 80 A* y el *SFH 310*, que presentan estructuras diferentes: mientras que el modelo *LPT 80 A* está diseñado para recibir luminosidad de frente (hay que pensar que ambos componentes se colocarán de manera vertical), el modelo *SFH 310* está diseñado para recibir la señal desde arriba. Como comprobaremos posteriormente, debido a la disposición de la lámpara LED, el modelo *LPT 80 A* será el que mejor cumpla nuestras necesidades.

**Emisor y receptor infrarrojo**. Para cumplimentar el requisito de la comunicación bidireccional, se deberá emplear un LED y un fototransistor adicional para enviar datos en el espectro electromagnético infrarrojo. Debido a que en





este campo hay poca alternativa, se optó por emplear los dos módulos emisor-receptor disponibles en el instituto, más concretamente, de la marca Exile.

**Amplificador operacional.** El amplificador es empleado en la parte analógica del receptor para generar ganancia de voltaje en la señal y transformarla en una señal “legible” por el microprocesador. Debido a que la señal no será todo lo elevada a la salida del fototransistor como gustaría, ya que existe interferencia del medio y que la frecuencia pico emitida por el LED no coincide con la frecuencia pico en el fototransistor, será necesario que la ganancia proporcionada por el amplificador operacional sea grande. El modelo *LM358P* fue el escogido, debido a la poca diferencia de ganancia de los op-amps y a su alto voltaje de entrada. La razón principal por la que ha sido elegido es por su disponibilidad.

**Condensador.** Existen tres tipos de condensadores que consideraremos: de cerámica, de papel y electrolíticos. Debido a que, como se comprobará, necesitamos condensadores con una capacidad de alrededor de 100 nF. Se escogió finalmente un condensador de papel: *u1J63*, con 100 nF de capacidad.

**Osciloscopio:** El proyecto se inició sin la ayuda de esta herramienta, pero debido a los numerosos obstáculos durante el desarrollo analógico y a las recomendaciones del coordinador, se decidió buscar diferentes modelos de osciloscopios. El osciloscopio *DSO138* fue finalmente el escogido para desarrollar este proyecto.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. EMISOR

En el diseño inicial del emisor, se pensó en emplear LED de bajo coste en paralelo para transmitir datos. La ventaja de estos es que podrían ser potenciados por la salida digital de Arduino y no necesitarían de un transistor para funcionar. Sin embargo, como se comprobó posteriormente, este diseño no es escalable. Es por esto que fue diseñado con una bombilla de ojo de buey LED mediante un transistor de tipo MOSFET PNP. El esquema de la implementación electrónica se muestra en la Figura 4. La Figura 3 muestra la vista en *breadboard* o *proto-board* del emisor. La diferencia de esta con la primera es clara: mientras que la primera se desarrolló en la primera etapa, con los valores de las resistencias, el tipo de MOSFET y el tipo de LED, la segunda muestra la implementación física del proyecto.

### 4.2. RECEPTOR

El receptor convierte la luz recibida en corriente empleando un fototransistor. Los componentes electrónicos del receptor deben transformar la corriente en voltaje para amplificar y filtrar la señal. Debido a que el diseño es un prototipo



inicial y a que no se pretende que el LED del emisor se desplace, no se ha considerado necesario el uso de un Controlador de Ganancia Automática, o AGC. Este dispositivo amplifica o reduce la señal a un voltaje de salida previamente especificado. Para asegurarse de que la señal es digital, esto es, comprendida entre dos valores discretos y que sea estable, un op-amp fue empleado para procesar la señal analógica obtenida y un filtro de paso alto para reducir el ruido. El diseño general del receptor es mostrado en la Figura 5.

**Divisor de voltaje:** Un fototransistor, al ser conectado a la alimentación, permite el paso de corriente del emisor al colector si su base recibe intensidad lumínica suficiente. La placa Arduino, es incapaz de interpretar la corriente eléctrica, por lo que deberemos transformar dicha corriente en voltaje. Para ello emplearemos un divisor de voltaje: usando solo dos resistencias en serie, podemos crear un voltaje de salida que es una fracción del de entrada

**Filtro de paso alto:** Para eliminar el ruido indeseado, procedente del propio circuito o de interferencias electromagnéticas, tanto fuera del espectro visible como dentro de él, un filtro de paso alto fue incluido en el diseño. Fue elegido un filtro pasivo en vez de uno activo (que proporciona ganancia de señal) ya que la señal será amplificada posteriormente en el op-amp. Para evitar la distorsión de los datos enviados, el filtro se ha diseñado con una frecuencia umbral relativamente baja. Por lo tanto, está formado por una resistencia de 10 k $\Omega$  y un condensador de 100 nF. El filtro escogido nos da una función de transferencia (función que muestra la curva característica de frecuencias permitidas por el filtro paso alto). Las frecuencias mayores a 1000 Hz permanecen inalteradas; Sin embargo, las frecuencias menores a dicha frecuencia se ven atenuadas por el filtro paso alto. Debido a que la señal a transmitir se halla en torno a 1 KHz y el ruido ambiental causado por la luz solar tiene una frecuencia baja, esta función de transferencia es idónea para el sistema planteado.

**Condensador:** El condensador en este diseño cumple un doble propósito: el primero es el mencionado en el apartado anterior, formar un filtro paso alto adecuado para el posterior procesamiento de la señal. En dicho apartado se debió determinar la capacitancia adecuada del condensador para que el HPF bloquee las señales deseadas. Sin embargo, la segunda función de dicho condensador no es otra que la conversión de la señal DC, que solo tiene voltaje positivo, en una señal AC de voltaje tanto positivo como negativo.

**Amplificador operacional:** Al comenzar el proyecto, y basándose en la bibliografía encontrada, se planteó la posibilidad de no procesar la señal, e introducirla directamente al pin analógico de Arduino, recibiendo los datos con su función *analogRead()* y procesar matemáticamente la señal obtenida para decodificar los datos. Sin embargo, este enfoque no tardó en mostrar problemas: Por ello, este sistema fue finalmente descartado a favor de un comparador. Un comparador es un dispositivo que compara dos voltajes o corrientes y produce una señal digital indicando cuál es mayor. Tiene dos terminales analógicas,



$V_+$  y  $V_-$ , y un terminal de salida binario  $V_0$ . Por lo tanto, uno de los voltajes de entrada sería la señal del fototransistor procesada por el HPF y transformada a AC por el condensador, y el único reto sería el de averiguar el valor idóneo del valor de la tensión del otro terminal, que resultó coincidir con la alimentación de 5V que proporciona la placa Arduino. El comparador transforma la señal triangular de entrada en una señal cuadrada; la ventaja de este sistema es la menor sensibilidad ante cambios de la forma de la señal.

### 4.3. CODIFICACIÓN DE LA SEÑAL

Para enviar los datos de manera inalámbrica, es necesario modularlos. Entre todos los diferentes tipos de modulaciones, que no serán explicados aquí, como ASK, PSK, QAM o PWM, esta última empleada por la placa Arduino de forma nativa, nos hemos decantado por la modulación Manchester. La codificación o modulación Manchester, también denominada codificación bifase-L, es un método de codificación eléctrica de una señal binaria en el que en cada tiempo de bit hay una transición entre dos niveles de señal. Es una codificación auto-sincronizada, ya que en cada bit se puede obtener la señal de reloj, lo que hace posible una sincronización precisa del flujo de datos. Una desventaja es que consume el doble de ancho de banda que una transmisión asíncrona. Esta codificación es una variación de la modulación por desplazamiento de fase (PSK), en el que la onda modulante varía la fase de una onda cuadrada modulada. Por regla general, el 0 se codifica como 01 y el 1 como 10.

Hay un aspecto que es clave para el desarrollo del sistema y la principal razón de por qué este tipo de modulación fue el empleado en el prototipo final a pesar de que ralentizaría la velocidad de emisión de datos: un requisito necesario para el correcto funcionamiento del sistema era que el LED no debía emitir un parpadeo reconocible por el usuario. La codificación Manchester nos asegura que el ciclo de trabajo de la señal transmitida es del 50%.

### 4.4. DIAGRAMA DE MÁQUINA DE ESTADO FINITO

Esta sección tratará sobre el algoritmo empleado para la transmisión de datos y la recepción en el sistema.

**Emisor:** Después de ser inicializado, el emisor inicia su modo de espera de datos. Cuando los datos son enviados, la transmisión es iniciada enviando un preámbulo para sincronizarse con el receptor e indicarle que se prepare para recibir datos. Posteriormente se envía la longitud en bits del paquete, los datos en sí con el número de secuencia y finalmente una cantidad denominada *checksum* o suma de verificación. Esta suma de verificación toma todos los datos enviados y los introduce como entrada a una función *hash* o *digest*, que para una cadena de bits genera otra cadena de 8 bits única. Por lo tanto, en el receptor se volverá a realizar la función hash sobre todos los datos recibidos y se comprobará si coincide con el *checksum* recibido en el paquete. Si no, el emisor



no recibirá la señal de confirmación del receptor y lo enviará de nuevo hasta que se reciban de forma correcta.

**Receptor:** El receptor está en *standby* hasta que detecta un preámbulo. Cuando es detectado, la longitud de los datos y el número de secuencia son leídos y la transmisión de datos comienza. Si la transmisión de datos es satisfactoria, esto es, los datos coinciden con el *checksum* tras aplicarle la función *digest*, el receptor envía mediante infrarrojos una señal de confirmación al emisor. Si no, o si no se recibe *checksum*, se vuelve a esperar un preámbulo ya que al detectar el emisor que no se ha recibido una confirmación, será enviado el paquete de nuevo.

Los dos diagramas de estado finito, tanto del emisor como receptor, se pueden visualizar en la Figura 8 (emisor), y en la Figura 9 (receptor).

#### 4.2. ESTRUCTURA DEL PAQUETE

Empaquetar los datos a transmitir es una técnica útil en transmisión de datos, debido a que mejora la sincronización emisor-receptor con un preámbulo, y en el caso de que un paquete se corrompiera, solo habría que transmitir de nuevo el paquete y no el archivo o cadena de texto entero. El paquete básico para la transmisión de datos en este sistema tiene la siguiente estructura: 10 bits de preámbulo, 1 bit separador, 10 bits de número de secuencia, 128 bits de datos, 1 bit separador, 10 bits de *checksum* y 1 bit que indica el final del paquete. Para notificar que un paquete está a punto de ser enviado y que necesita ser registrado, el transmisor enviará un preámbulo. Para detectar el preámbulo, se empleará un *buffer circular* en forma de *queue* o cola. Todos los paquetes son numerados, y el número de secuencia es enviado con el paquete. Esto sirve para manejar las duplicaciones de paquetes. Tras enviar el número de secuencia, el algoritmo de envío de datos se dispone a enviar hasta 128 bits de datos, que consisten en 16 caracteres de 8 bits separados cada uno por 1 bit. Todos estos datos serán codificados en modulación Manchester y posteriormente desmodulados en el receptor. Finalmente, tras enviar la totalidad de los datos, se envía un *checksum* que servirá para el manejo de errores.

### 5. CONCLUSIONES

El proyecto de comunicación por luz visible ha conseguido su propósito de diseñar e implementar un sistema en funcionamiento. La transmisión de datos es satisfactoria. El sistema es capaz de transmitir y recibir datos determinados de una manera arbitraria a una distancia de 20 cm, aunque esta distancia es ampliable si se proporciona más potencia a la lámpara LED, ya que la proporcionada actualmente es de 5V, bastante inferior a la recomendada por el fabricante (debido a que es la máxima que proporciona la placa), y a que el LED podría ser sustituido por uno de mayor potencia. Se transfieren datos a una velocidad hipotética de 500 bps, pudiendo parecer considerablemente baja comparada



con los sistemas de comunicación actuales, pero hay que tener en cuenta que los recursos empleados en este proyecto han sido *low-cost*, y que la mayoría de los sistemas de comunicación, tanto inalámbricos como por fibra óptica o cable de cobre, poseen sistemas empotrados especializados que reducen los costes y aumentan la potencia. Sin embargo, requiere una gran inversión económico desarrollarlos. Se ha conseguido transmitir una cantidad arbitrariamente larga de datos de manera satisfactoria, ya que, aunque la transmisión de un paquete puede fallar, el sistema es consciente de que dicha transmisión ha fallado (mediante el acuse de recibo realizado por el módulo de emisión y recepción infrarrojos) y reenvía el paquete hasta que se transmitan los datos de manera satisfactoria. Esto reduce la velocidad real del sistema, y esta reducción está determinada por la tasa de fallos del sistema, aproximadamente un 10% de datos enviados, por lo que la velocidad real alcanzaría unos 450 bps.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Gracias a Sergio Gallardo, Ángel Molina y especialmente a Luis Vicente por guiarme en el desarrollo de este proyecto de investigación, a mis padres y a mis amigos por su apoyo.

## 7. FIGURAS

Figura 01  
Diagrama de bloques.

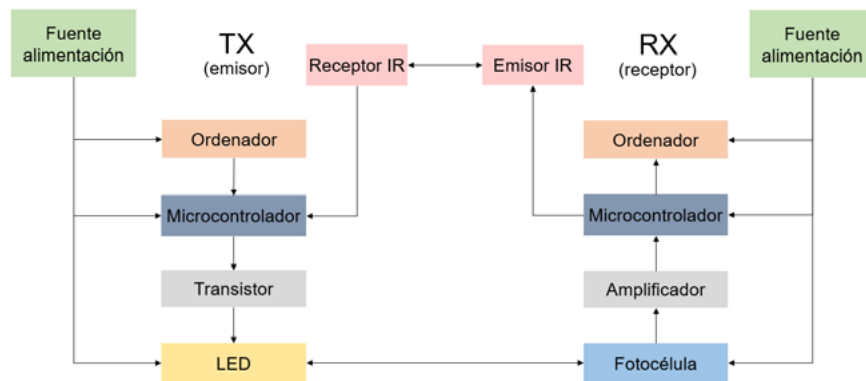
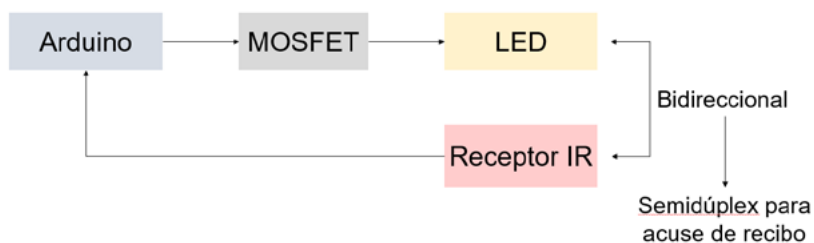


Figura 02  
Diagrama del emisor.





Figuras 03 y 04

Schematic del emisor (derecha) y vista de componentes en Fritzing (izquierda).

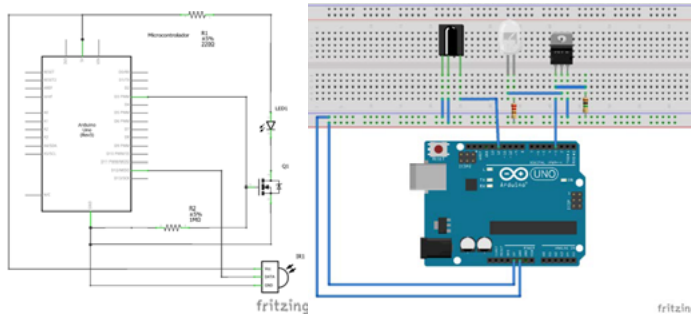
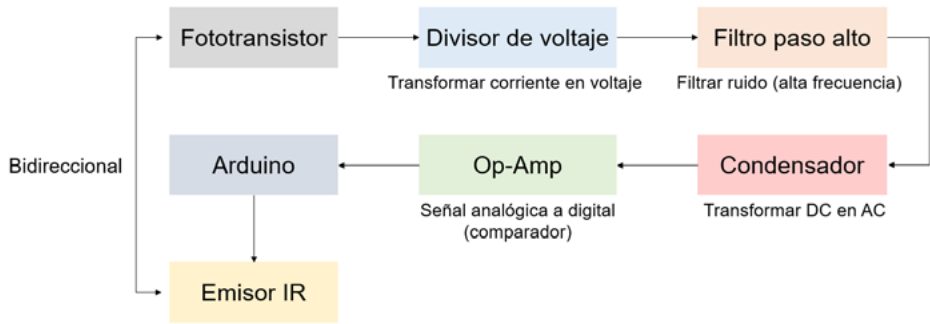


Figura 05

Diagrama del receptor.



Figuras 06 y 07

Schematic del emisor (izquierda) y vista de componentes en Fritzing (derecha).

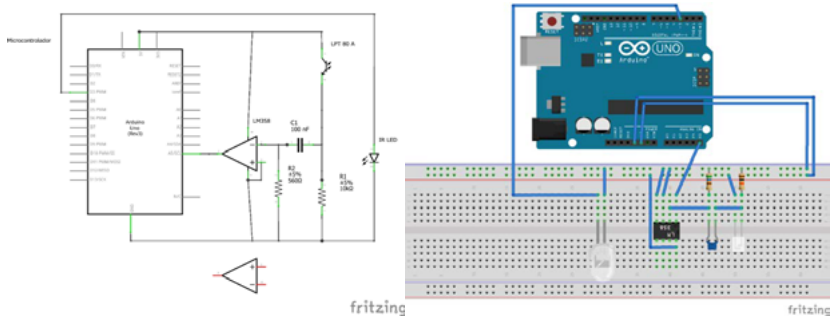
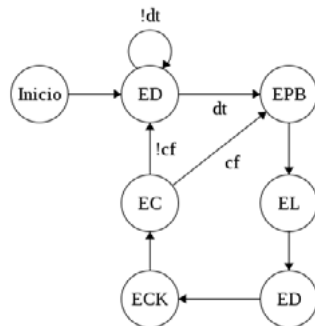


Figura 08

Diagrama de estado finito del emisor.



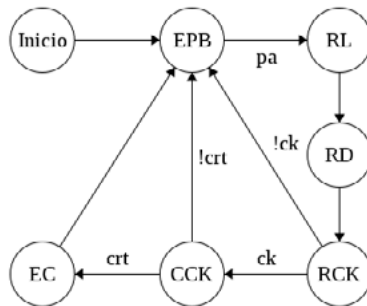
Leyenda:

- ED: Esperar datos
- EPB: Emitir Preámbulo
- EL: Emitir Longitud
- ED: Emitir Datos
- ECK: Emitir Checksum
- EC: Esperar Confirmación
- dt: Datos
- !dt: No datos
- cf: Confirmación
- !cf: No confirmación



Figura 09

Diagrama de estado finito del emisor.



EPB: Esperar Preámbulo  
 RL: Recibir Longitud  
 RD: Recibir Datos  
 RCK: Recibir Checksum  
 CCK: Confirmar Checksum  
 EC: Enviar Confirmación  
 pa: Preámbulo  
 ck: Checksum  
 !ck: No Checksum  
 crt: Checksum correcto  
 !crt: Checksum no correcto

## 8. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

[1] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022 White Paper (27 de febrero de 2019) Disponible en:

<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>

Aboul-Magd, O., Kim, J., Yang, D., Wentik, M. et al. (Septiembre de 2013) *Status of Project IEEE 802.11ac*. Disponible en:

[http://www.ieee802.org/11/Reports/tgac\\_update.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/tgac_update.htm)

Ambady, S., Bredes, M., Nguyen, C. (26 de marzo de 2015) *Visible Light Communication*. Disponible en:

[https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-032615-203414/unrestricted/Visible\\_Light\\_Communication\\_MQP\\_Report\\_Final\\_2014-2015.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-032615-203414/unrestricted/Visible_Light_Communication_MQP_Report_Final_2014-2015.pdf)

Tamayo Balas, A. (2016) *Estudio del estándar 802.15.7 del IEEE sobre sistemas de comunicación por luz visible*. Disponible en:

[https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/53164/TFG\\_Antonio\\_Tamayo\\_Balas\\_versi%C3%83%C2%B3n\\_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/53164/TFG_Antonio_Tamayo_Balas_versi%C3%83%C2%B3n_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Tuite, D. (9 de abril de 2013) *Understanding LED Application Theory And Practice*. Disponible en:

<http://www.electronicdesign.com/components/understanding-led-application-theory-and-practice>

Márquez Flores, J. (2013) *Amplificadores operacionales, Introducción a Instrumentación y Señales*. Disponible en: <http://www.academicos.ccadet.unam.mx/jorge.marquez/cursos/Instrumentacion/AmplificadoresOperacionales.pdf>

Márquez Flores, J. (2013) *Amplificadores operacionales, Introducción a Instrumentación y Señales*. Disponible en:

<http://www.academicos.ccadet.unam.mx/jorge.marquez/cursos/Instrumentacion/AmplificadoresOperacionales.pdf>



# Valorización de los residuos de marisco. Síntesis de nanopartículas de quitosano con efecto antimicrobiano

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTOR** | XAVIER MANUEL DE RADA PIÑEIRO

**COORDINADORA** | MARÍA ROSARIO GARCÍA-ECHAVE LÓPEZ

**CENTRO** | IES ROSALÍA DE CASTRO

**CIUDAD** | SANTIAGO DE COMPOSTELA-A CORUÑA

## RESUMEN |

El objetivo del trabajo es valorizar los residuos del consumo de crustáceos por medio de la obtención de quitosano, una molécula con unas propiedades físico-químicas y biológicas que le confieren importantes aplicaciones.

Se extrajo quitina a partir de exoesqueletos de crustáceos y por desacetilación de la misma se obtuvo quitosano con un 94% de desacetilación.

Con el quitosano se formaron nanopartículas por gelación ionotrópica con TPP (Tripolifosfato). Se probaron diferentes proporciones de quitosano-TPP, obteniéndose partículas de 110 nm, 240 nm y 440 nm de diámetro. El diámetro de las nanopartículas se determinó con la técnica DLS. Se comprobó la actividad inhibitoria, por el método de difusión en agar y por microdilución, de soluciones de nanopartículas de los tres tamaños y del polímero libre, frente a tres microorganismos, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y la levadura *Candida albicans*.

Se observó un efecto inhibitorio, pero débil, de las tres soluciones de nanopartículas, de 110 nm, 240 nm y 440 nm, y de la solución de quitosano libre, sobre los tres microorganismos probados.

Las nanopartículas de 110 nm provocaron una fuerte aglutinación de las bacterias *E. coli* y *S. aureus* y solo muy ligera en *C. albicans*. El polímero libre aglutinó también muy severamente a *E. coli*, más ligeramente a *S. aureus* y no provocó aglutinación de *C. albicans*. Pensamos que sería de mucho interés investigar si esta actividad del quitosano probada sobre al menos estos microorganismos, sería útil para impedir la formación de biofilms bacterianos.





## ABSTRACT |

The aim of this project is value the waste produced in the consumption of crustaceans through the obtention of chitosan, a molecule with physical-chemical properties that confer it important applications.

Chitine was extracted from crustaceans' exoeskeletons and by deacetylation of it, chitosan with a 94% deacetylation degree was extracted.

With the chitosan, nanoparticles were created by ionotropic gelation with TPP (Tripoliphosphate). Different chitosan-tripoliphosphate proportions were tested, obtaining particles of 110 nm, 240 nm and 440 nm of diameter. The diameter was determined with DLS.

The inhibitory activity was checked, by the method of agar diffusion and by microdilution, of nanoparticle solutions of the three sizes and of the free polymer against three microorganisms, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and the yeast *Candida albicans*.

An inhibitory, but weak effect of the three solutions of nanoparticles, 110 nm, 240 nm and 440 nm, and the free chitosan solution was observed on the three microorganisms tested.

The 110 nm nanoparticles caused a strong agglutination of *E. coli* and *S. aureus* bacteria and only very slight agglutination in *C. albicans*. The free polymer also agglutinated very severely *E. coli*, more slightly to *S. aureus* and did not cause agglutination on *C. albicans*. We think it would be very interesting to investigate if this activity of the chitosan tested on at least these microorganisms, would be useful to prevent the formation of bacterial biofilms.



## 1. QUITOSANO

El quitosano es un polímero lineal formado por monómeros de D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina, colocados al azar en la cadena y unidos por medio de enlaces  $\beta(1-4)$ . Es un polímero hidrofílico porque los grupos básicos amino se cargan positivamente, el porcentaje de acetilación e incluso la distribución de los monómeros acetilados en las cadenas, tienen un efecto decisivo en la solubilidad y en la conformación de las moléculas de quitosano en medios acuosos (García Fuentes y Alonso, 2012).

Su alto potencial catiónico, junto con la baja toxicidad del quitosano y su biocompatibilidad y biodegradabilidad elevadas (Agnihotri *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2009; Chua *et al.*, 2012), hacen que este producto pueda tener un importante uso terapéutico.

### 1.1. APLICACIONES TERAPÉUTICAS DEL QUITOSANO

El quitosano libre tiene varias aplicaciones como son la disminución del colesterol (Sugano *et al.*, 1988), cicatrización de heridas (Azad *et al.*, 2004), antiulcero (Felt *et al.*, 1998) o antimicrobiano (Rabea *et al.* 2005).

Realizándose estudios de citotoxicidad en animales y humanos se comprobó que por vía oral el quitosano no provoca problemas clínicos relevantes (Tapola *et al.*, 2008). Está admitido por la FDA (Food Drug Administration) como suplemento alimentario.

El quitosano posee interés en el campo del “drug delivery” (De la Fuente *et al.*, 2008; Csaba *et al.*, 2006; Csaba *et al.*, 2009; De la Fuente *et al.* 2010), que pensaron en el empleo de nanotransportadores de este polímero para el transporte de fármacos.

Se han elaborado nanopartículas de quitosano con muy numerosos fármacos tales como Nanopartículas para la administración de antígenos por vía nasal para vacunación (Vila *et al.*, 2002), para la administración de otras proteínas y péptidos como la calcitonina de salmón y la insulina (Sarmiento *et al.*, 2007) o como sustituto de vectores virales en terapia génica (Leong *et al.*, 1998).

### 1.2. EFECTO ANTIMICROBIANO DEL QUITOSANO

Numerosas investigaciones han demostrado la actividad antimicrobiana del quitosano sobre bacterias, hongos filamentosos y levaduras. Su actividad bactericida es de amplio espectro, tanto contra bacterias grampositivas como gramnegativas (No *et al.*, 2002).

Según algunos investigadores, las nanopartículas tienen menos efecto inhibitorio que el polímero libre, porque las nanopartículas tienen menos carga po-



sitiva para la unión (Kong et al, 2010). Sin embargo, en otras publicaciones se constata más actividad con las nanopartículas y lo atribuyen a que tienen una elevada relación superficie/volumen, es decir, una muy alta área superficial y además, tienen mayor afinidad por las bacterias, y pueden ser adsorbidas en la superficie bacteriana, rompiéndose la membrana y liberándose los componentes celulares al exterior con la consiguiente muerte de la bacteria. (Qi et al, 2004).

### 1.2.1. NANOMATERIALES PARA EL TRATAMIENTO DE BIOFILMS ANTIBACTERIANOS

Se ha demostrado que las nanopartículas pueden prevenir la formación de biofilms, porque se colocan recubriendo la superficie del film o porque interrumpen el crecimiento del mismo (Hajipour *et al.*, 2012).

Un biofilm contiene sustancias extracelulares poliméricas, compuestas por polisacáridos y proteínas, entre otras, que forman una red muy bien estructurada y resistente a la penetración de moléculas terapéuticas. Sin embargo, la habilidad de penetración de las nanopartículas catiónicas como las del quitosano las convierte en una herramienta muy prometedora.

La formación de biofilms es una respuesta a un mecanismo de comunicación celular por medio de la excreción de moléculas señalizadoras cuando la población alcanza una densidad determinada. Esas moléculas, que se llaman autoinductores, van a regular la expresión génica de las bacterias haciéndolas más patógenas y optimizando su trabajo en grupo.

## 2. OBTENCIÓN DE QITOSANO A PARTIR DE QUITINA DEL EXOSQUELETO DE LOS ARTRÓPODOS

El quitosano se obtiene mediante la desacetilación de la quitina presente en los exoesqueletos de gambas, langostinos, cangrejos y demás artrópodos.

### 2.1. OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE QITOSANO

El quitosano es fácilmente soluble en soluciones ácidas debido a que los grupos amino se encuentran protonados. La carga positiva resultante hace posible la obtención de nanopartículas por gelación ionotrópica con aniones polivalentes multivalentes como el tripolifosfato (TPP) (Jonassen *et al.*, 2012). La gelación consiste en la formación de una matriz porque el agente aniónico, el TPP, se coloca entre los grupos catiónicos y los liga formando una red.

La concentración de quitosano, la relación quitosano-TPP, el peso molecular de las moléculas de quitosano, su grado de acetilación y la salinidad del medio en el que se preparan las nanopartículas son los factores que afectan a la formación de las mismas (Tsai *et al.*, 2011). En este trabajo se estudiarán especial-



mente la relación quitosano-TPP, bibliográficamente, unas relaciones de peso quitosano-TPP entre 4/1 y 6/1 dan buenos resultados (Janes y Alonso, 2003).

### 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 3.1. OBJETIVOS

- Extraer la quitina del exoesqueleto del langostino austral.
- Obtener quitosano a partir de la quitina extraída y caracterizar el quitosano obtenido.
  - Preparar nanopartículas de quitosano utilizando el método de gelación iotrópica con tripolifosfato (TPP) e investigar que proporción de quitosano-TPP es la mejor para la obtención de nanopartículas y caracterizarlas.
  - Estudiar la acción antimicrobiana de las nanopartículas en comparación con la del quitosano lineal.

#### 3.2. HIPÓTESIS

Se espera obtener quitosano desde la quitina, mediante el proceso de desacetilación.

En cuanto a la formación de las nanopartículas se espera la obtención de las más adecuadas en aquellas proporciones con más quitosano.

Finalmente, se espera la comprobación del efecto antimicrobiano del quitosano, en especial con las nanopartículas, cuyo efecto antimicrobiano se espera que sea mayor.

#### 4. Extracción de quitina del exoesqueleto de langostinos

Mediante el método de Benhabiles *et al.* (2012) y No *et al.* (1995).

Se utilizaron 28,08 g de restos del exoesqueleto de langostinos australes (*Pleoticus muelleri*) propios de aguas del Atlántico suroeste. El material contenía restos de carne y los pleópodos de la estructura.

Se sometieron a los siguientes procesos:

- Lavado, secado, triturado y tamizado: los restos se lavaron con agua caliente y detergente con el fin de eliminar todos los restos. Posteriormente se secaron en una estufa a 50°C durante 48 horas. Los restos secos y limpios se molieron en un molinillo de aspas (molinillo de café de la marca Taurus©) y se tamizaron en un tamiz de 0,1 mm de luz.
- Despigmentado: Para despigmentar los caparazones molidos se utilizó acetona Panreac© 1/6 p/v. Para eliminar los pigmentos  $\beta$ -carotenos.



- Desmineralizado: Para desmineralizar el material se utilizó HCl 2M. Para eliminar el CaCO<sub>3</sub> presente en el exoesqueleto del langostino.
- Desproteínizado: Para desproteínizar el material se utilizó una disolución de NaOH 2M.

#### 4.1. OBTENCIÓN DE QUITOSANO POR DESACETILACIÓN DE LA QUITINA

Ya que el quitosano es la quitina con un grado de desacetilación mayor al 50% se procedió a desacetilar la quitina con una disolución de NaOH 50% p/v.

El material obtenido en forma de pequeñas escamas se molió en un mortero de porcelana para homogeneizarlo.

En un primer intento no se logró desacetilar lo suficiente, por lo que se repitió este paso una segunda vez.

##### 4.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL QUITOSANO OBTENIDO: GRADO DE ACETILACIÓN

El grado de acetilación del quitosano que obtuvimos se determinó por espectroscopía RMN siguiendo el método de Fernández-Megía *et al.* (2005).

Se añadieron 5 mg de quitosano en un tubo de RMN de 5 mm que contenía 0,5 ml de disolución al 2% DCL/D<sub>2</sub>O (v/v) y se calentó a 70°C durante una hora. La determinación se realizó con un espectrómetro de 500 MHz.

Este procedimiento se llevó a cabo en el CQUS (Centro Singular de Investigación en Química Biolóxica e Materiais Moleculares) de Santiago de Compostela.

#### 4.2. OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANO

Para la obtención de nanopartículas de quitosano utilizamos el método de gelación ionotrópica con el tripolifosfatopentabásico (TPP) propuesto por Calvo *et al.* (2007).

Se ensayaron diferentes proporciones de quitosano y TPP para determinar la más adecuada. Las proporciones fueron las siguientes:

- Una proporción de quitosano/ TPP de 5/0,5 (peso/peso)
- Una proporción de quitosano/ TPP de 5/1 (p/p)
- Una proporción de quitosano/ TPP de 5/2 (p/p)
- Una proporción de quitosano/ TPP de 5/4 (p/p)

El procedimiento de preparación de las nanopartículas fue el siguiente:



En un tubo de vidrio con tapa se añadió 1 ml de disolución de quitosano y se agregaron 9 ml de agua desionizada, se calentó hasta 60°C en un baño de agua y se mantuvo durante 15 minutos a 60°C y agitación a 500 rpm.

A los 15 minutos se retira el tubo y se lleva a un baño de hielo. Cuando se enfría la disolución, todavía en el baño de hielo se añaden 0,5/1/2/4 ml de disolución de TPP respectivamente.

Se mantiene la mezcla en agitación a 500 rpm durante 30 minutos.

#### 4.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANO

Se midió el tamaño hidrodinámico de las nanopartículas obtenidas, utilizando la técnica DLS, (Dynamic Light Scattering), dispersión de luz dinámica, con un MALVERN NANO-ZS. Un método que se emplea para la caracterización del tamaño de partículas proteicas, polímeros etc.

La técnica se basa en la dispersión de la luz causada por las partículas o moléculas que se encuentran en suspensión en un líquido. Esas partículas o moléculas están en movimiento, el movimiento Browniano, y este provoca que la luz láser incidente se disperse con diferentes intensidades. Según la intensidad de la fluctuación se deduce la velocidad del movimiento Browniano y de este dato se obtiene el tamaño de las partículas.

Este procedimiento también se realizó en el CQUS de Santiago de Compostela.

#### 4.3. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DEL QUITOSANO.

##### 4.3.1. Determinación de la actividad antimicrobiana por el método de difusión en agar.

La actividad antimicrobiana se determinará usando cepas no patógenas de una bacteria grampositiva, una gramnegativa y una levadura. *S.aureus* *E.coli* y *C. albicans* respectivamente, facilitadas por el Dr. Llovo Taboada del CHUS.

##### 4.3.1.1. Preparación de los céspedes de microorganismos.

Se utilizaron cultivos jóvenes para la preparación de los céspedes, esto se logró pasando los cultivos facilitados a un nuevo medio y dejando estos en una estufa a 34°C.

Se prepararon inóculos de los tres microorganismos, suspendiendo muestras de los mismos en suero fisiológico en un pequeño tubo de ensayo. La concentración de cada inóculo se midió en un turbidímetro, con turbidez de 1,0 0,5 y 2,0 McFarland para *E. coli*, *S. aureus* y *C. albicans*, respectivamente.



Para la siembra se usó el método de estriado con isopo estéril. Las placas cerradas se pusieron a secar durante 30 minutos en la estufa a 34°C. Todo el trabajo se realizó tomando las medidas de asepsia adecuadas.

#### 4.3.1.2. Realización de los antibiogramas

Se cargaron discos blancos para antibiogramas de 6 mm de diámetro con la disolución de quitosano en forma lineal y con la solución que contenía nanopartículas de quitosano mediante inmersión en las soluciones y se colocaron los discos sobre las placas sembradas. Se hicieron todas las pruebas por triplicado. Se utilizaron placas con medio Muller-Hinton de Oxoid®.

#### 4.3.2. Determinación de la actividad antimicrobiana por el método de microdilución para determinar la mínima concentración inhibitoria del quitosano

Se probó la eficacia de los tres tipos de nanopartículas obtenidas y del quitosano lineal frente a los mismos tres microorganismos empleados con el método de difusión en agar.

El medio de cultivo utilizado fue Muller-Hinton broth en placas microtiter estériles de 96 pocillos, 8 filas y 12 columnas.

#### 4.3.3. Observación microscópica del comportamiento de los microorganismos en presencia de quitosano

Se quiso observar el efecto inmediato del quitosano sobre los microorganismos.

Solo se probó la solución con las nanopartículas de 110 nm y la solución de quitosano en forma de moléculas libres.

Para ello, en un portaobjetos se depositaron unas gotas de la solución con nanopartículas o con quitosano y con un asa de siembra se tomaron unas colonias de microorganismo y se dispersaron en las gotas, a continuación se colocó un cubreobjetos y se llevó la preparación a un microscopio de contraste de fases.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1. OBTENCIÓN DE QUITOSANO POR DESACETILACIÓN DE LA QUITINA

La cantidad de quitosano obtenido fue de 1,78 g. Como el peso de los residuos utilizados fue de 20,08 g, el rendimiento obtenido fue un 8,9%.

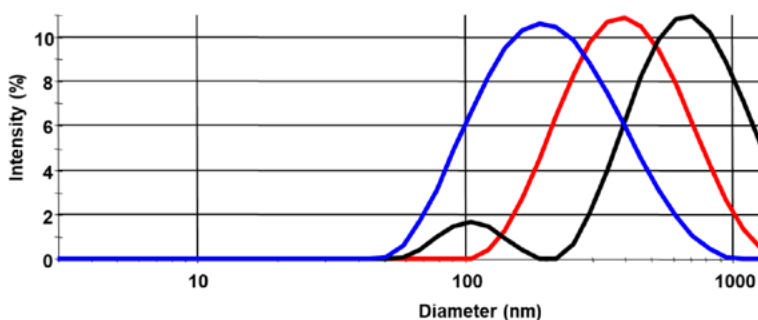
#### 5.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL QUITOSANO OBTENIDO: GRADO DE ACETILACIÓN

Se determinó que el grado de acetilación del quitosano obtenido fue del 6%, es decir se desacetiló un 94%.



### 5.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANO OBTENIDAS

En la Gráfica 1 del documento se observan los resultados obtenidos por DLS de los tamaños de las nanopartículas que obtuvimos.



Gráfica 01

Diámetro de las tres clases de nanopartículas obtenidas determinado por DLS.

110 nm  
240 nm  
440 nm

Las líneas azul roja y negra se corresponden con las proporciones quitosano/TPP 5/2 5/0,5 y 5/1 respectivamente. Las más adecuadas son las de la proporción 5/2 por poseer un menor diámetro. La cuarta proporción, 5/4 no apareció dado a que precipitó instantáneamente, descartándose de inmediato.

## 5.2. ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DEL QUITOSANO EN FORMA LINEAL Y EN NANOPARTÍCULAS

### 5.2.1. POR EL MÉTODO DE DIFUSIÓN EN AGAR

Tabla 01

Medidas de los halos de inhibición (mm±1).  
Con Quitosano lineal y nanopartículas

Microorganismo	Quitosano lineal	NP 110 nm	NP 440 nm	NP 240 nm
<i>E. coli</i>	7	7	8	8
<i>S. aureus</i>	8	9	10	9
<i>C. albicans</i>	Sin halo	Sin halo	Sin halo	Sin halo

Los datos de las tablas son los diámetros medios de los halos obtenidos en las tres repeticiones. Se observa en las tablas que los halos de inhibición obtenidos tenían un diámetro pequeño, pero eran visualmente muy definidos. Los halos se obtuvieron con *E. coli* y con *S. aureus* pero en ningún caso con *C. albicans*. En todos los casos los halos con *S. aureus* tenían un diámetro ligeramente superior a los halos con *E. coli*. En todos los casos los diámetros de los halos de inhibición son ligeramente más elevados con la solución de nanopartículas que con la del polímero lineal. Debido a la actividad tan baja demostrada se llevó a cabo una segunda prueba, por la posible dificultad del quitosano para difundir en medio sólido debido a su tamaño.





### 5.2.2. Por el método de microdilución

Después de 48 horas de incubación se observaron las placas microtiter bajo la lupa. Se pudo comprobar que todos los microorganismos ensayados crecieron bien en el medio de cultivo empleado, el Muller-Hinton. En todos los pocillos con soluciones de nanopartículas y del quitosano libre sin dilución no creció ningún microorganismo, demostrando el efecto inhibitorio del quitosano.

En los pocillos con la dilución 1/2 de nanopartículas o quitosano libre y medio de cultivo si que crecieron microorganismos, excepto en el caso de *S. aureus* con nanopartículas de 240 nm, y *C. albicans* con nanopartículas de 440 nm.

Se puede afirmar que las nanopartículas de quitosano y el quitosano libre tienen efecto antimicrobiano, pero muy débil en las concentraciones trabajadas. Junto con los datos obtenidos por el método de difusión en agar, se puede afirmar que el quitosano tiene efecto inhibitorio, siendo esto comprobable de mejor manera en este último método.

### 5.2.3. OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MICROORGANISMOS FRENTE AL QUITOSANO

Al observar las preparaciones al microscopio vimos que la bacteria *E. coli* es la que más se aglutina de los tres microorganismos, tanto con las nanopartículas como con el quitosano lineal sin diferenciarse una preparación de otra.

Las células de *S. aureus*, también se aglutinaron de una forma muy importante con las nanopartículas, quedando entre los agregados muy pocas bacterias libres. Muy parecida a los resultados obtenidos con *E.coli*. Sin embargo con el polímero lineal se observan agregados de menor tamaño y muchas bacterias libres entre los mismos.

En donde observamos menos efecto es en las preparaciones con *C. albicans*, con el polímero lineal apenas vemos aglutinación celular, y con las partículas de quitosano observamos agregación celular pero mucho menor que en *E. coli* y *S. aureus*, en presencia de las nanopartículas.

## 6. CONCLUSIONES

Se logró extraer quitina y quitosano a partir de restos de exoesqueleto de langostino austral, con un rendimiento del 8,9% y una acetilación del 6%.

Se sintetizaron nanopartículas de quitosano por el método de gelación ionotrópica.

De las cuatro proporciones probadas entre quitosano y TPP la proporción 5/2 en peso es la más recomendable por el menor diámetro de las nanopartículas obtenidas que fue de 110 nm.



Con las proporciones 5/0,5 y 5/1 los diámetros de las nanopartículas fueron 240 nm y 440 nm, respectivamente. Con la proporción 5/4 no se obtuvieron nanopartículas.

Las nanopartículas de 110 nm provocaron una fuerte aglutinación de las bacterias *E. coli* y *S. aureus* y solo muy ligera en *C. albicans*. El polímero libre aglutinó también muy severamente a *E. coli*, más ligeramente a *S. aureus* y no provocó aglutinación de *C. albicans*.

Se observó un efecto inhibitorio, pero débil, de todas las soluciones de nanopartículas, las de 110 nm, de 240 nm y de 440 nm, y de la solución de quitosano libre sobre los tres microorganismos probados *E. coli*, *S. aureus* y *C. albicans*.

Por lo tanto se puede afirmar que las nanopartículas sintetizadas a partir de quitosano obtenido de restos del exoesqueleto de langostino austral tienen actividad antimicrobiana.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Agnihotri, S. A., Mallikarjuna, N. N., & Aminabhavi, T. M. (2004). Recent advances on chitosan-based micro-and nanoparticles in drug delivery. *Journal of controlled release*, 100(1), 5-28.
- Ahmed, T. A., & Aljaeid, B. M. (2016). Preparation, characterization, and potential application of chitosan, chitosan derivatives, and chitosan metal nanoparticles in pharmaceutical drug delivery. *Drug design, development and therapy*, 10, 483.
- Anthonsen, M. W., & Smidsrød, O. (1995). Hydrogen ion titration of chitosans with varying degrees of N-acetylation by monitoring induced <sup>1</sup>H-NMR chemical shifts. *Carbohydrate Polymers*, 26(4), 303-305.
- Azad, A. K., Sermsintham, N., Chandkrachang, S., & Stevens, W. F. (2004). Chitosan membrane as a wound-healing dressing: Characterization and clinical application. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 69(2), 216-222.
- BENHABILES, M., SALAH, R., LOUNICI, H., DROUICHE, N., GOOSEN, M., & MAMERI, N. (2012) Antibacterial activity of chitin, chitosan and its oligomers prepared from shrimp Shell waste. *Food Hydrocolloids*. 48 – 56.



- Boateng, J. S., Matthews, K. H., Stevens, H. N., & Eccleston, G. M. (2008). Wound healing dressings and drug delivery systems: a review. *Journal of pharmaceutical sciences*, 97(8), 2892-2923.
- Calvo, P., Remuñan-López C., Vila-Jato JL., & Alonso M. J. (1997) Chitosan and chitosan/ethylene oxide-propylene oxide block copolymer nanoparticles as novel carriers for proteins and vaccines. *PharmRes*, 14(10), 1431-1436.
- Chua, B. Y., Al Kobaisi, M., Zeng, W., Mainwaring, D., & Jackson, D. C. (2011). Chitosan microparticles and nanoparticles as biocompatible delivery vehicles for peptide and protein-based immunocontraceptive vaccines. *Molecular pharmaceuticals*, 9(1), 81-90.
- Csaba, N., Garcia-Fuentes, M., & Alonso, M. J. (2009). Nanoparticles for nasal vaccination. *Advanced drug delivery reviews*, 61(2), 140-157.
- Csaba, N., Garcia-Fuentes, M., & Alonso, M. J. (2006). The performance of nanocarriers for transmucosal drug delivery. *Expert opinion on drug delivery*, 3(4), 463-478.
- De La Fuente, M., Csaba, N., Garcia-Fuentes, M., & Alonso, M. J. (2008). Nanoparticles as protein and gene carriers to mucosal surfaces.
- De la Fuente, M., Raviña, M., Paolicelli, P., Sanchez, A., Seijo, B., & Alonso, M. J. (2010). Chitosanbased nanostructures: a delivery platform for ocular therapeutics. *Advanced drug delivery reviews*, 62(1), 100-117.
- Dutta, P. K., Dutta, J., & Tripathi, V. S. (2004). Chitin and chitosan: Chemistry, properties and applications. *J. Sci. Ind. Res. India* 63, 20-23.
- Felt, O., Buri, P., & Gurny, R. (1998). Chitosan: a unique polysaccharide for drug delivery. *Drug development and industrial pharmacy*, 24(11), 979-993.
- Fernandez-Megia, E., Novoa-Carballal, R., Quiñoá, E., & Riguera, R. (2005). Optimal routine conditions for the determination of the degree of acetylation of chitosan by <sup>1</sup>H-NMR. *Carbohydrate Polymers*, 61(2), 155- 161.
- Garcia-Fuentes, M., & Alonso, M. J. (2012). Chitosan-based drug nanocarriers: where do we stand?. *Journal of Controlled Release*, 161(2), 496-504.
- Hajipour, M. J., Fromm, K. M., Ashkarran, A. A., de Aberasturi, D. J., de Larramendi, I. R., Rojo, T.,... & Mahmoudi, M. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in biotechnology*, 30(10), 499-511.
- Janes, K. A., & Alonso, M. J. (2003). Depolymerized chitosan nanoparticles for protein delivery: preparation and characterization. *Journal of applied polymer science*, 88(12), 2769-2776.
- Jonassen, H., Kjøniksen, A. L., & Hiorth, M. (2012). Stability of chitosan nanoparticles cross-linked with tripolyphosphate. *Biomacromolecules*, 13(11), 3747-3756.



- Kong, M., Chen, X. G., Xing, K., & Park, H. J. (2010). Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: a state of the art review. *International journal of food microbiology*, 144(1), 51-63.
- Kumar, M. R., Muzzarelli, R., Muzzarelli, C., Sashiwa, H., & Domb, A. J. (2004). Chitosan chemistry and pharmaceutical perspectives. *Chemical reviews*, 104(12), 6017-6084.
- Leong, K. W., Mao, H. Q., Truong-Le, V. L., Roy, K., Walsh, S. M., & August, J. T. (1998). DNA polycation nanospheres as non-viral gene delivery vehicles. *Journal of controlled release*, 53(1-3), 183-193.
- Lu, B., Wang, C. F., Wu, D. Q., Li, C., Zhang, X. Z., & Zhuo, R. X. (2009). Chitosan based oligoamine polymers: Synthesis, characterization, and gene delivery. *Journal of Controlled Release*, 137(1), 54-62.
- NO, *et al.* (1995) Preparation and characterization of chitin and chitosan: a review. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 4, 27 – 52.
- No, H. K., Park, N. Y., Lee, S. H., & Meyers, S. P. (2002). Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *International journal of food microbiology*, 74(1-2), 65-72.
- Qi, L., Xu, Z., Jiang, X., Hu, C., & Zou, X. (2004). Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydrate research*, 339(16), 2693-2700.
- Rabea, E. I., Badawy, M. E., Rogge, T. M., Stevens, C. V., Höfte, M., Steurbaut, W., & Smagghe, G. (2005). Insecticidal and fungicidal activity of new synthesized chitosan derivatives. *Pest Management Science*, 61(10), 951-960.
- Sarmiento, B., Martins, S., Ferreira, D., & Souto, E. B. (2007). Oral insulin delivery by means of solid lipid nanoparticles. *International journal of nanomedicine*, 2(4), 743.
- Sugano, M., Watanabe, S., Kishi, A., Izume, M., & Ohtakara, A. (1988). Hypocholesterolemic action of chitosans with different viscosity in rats. *Lipids*, 23(3), 187-191.
- Tapola, N. S., Lyyra, M. L., Kolehmainen, R. M., Sarkkinen, E. S., & Schauss, A. G. (2008). Safety aspects and cholesterol-lowering efficacy of chitosan tablets. *Journal of the American College of Nutrition*, 27(1), 22-30.
- Tsai, M. L., Chen, R. H., Bai, S. W., & Chen, W. Y. (2011). The storage stability of chitosan/tripolyphosphate nanoparticles in a phosphate buffer. *Carbohydrate Polymers*, 84(2), 756-761.
- Vila, A., Sanchez, A., Tobío, M., Calvo, P., & Alonso, M. J. (2002). Design of biodegradable particles for protein delivery. *Journal of Controlled Release*, 78(1-3), 15-24.





# Baby Safety: Desarrollo de sistemas para la prevención de la muerte súbita del lactante

---

/ TERCER PREMIO

**AUTORA** | IRIA OLLERO CADILLA

**COORDINADOR** | DAVID BALLESTEROS ÁLVAREZ

**CENTRO** | IES AS LAGOAS

**CIUDAD** | SAN CIBRAO DAS VIÑAS-OURENSE

## RESUMEN |

La muerte súbita consiste en la muerte repentina del bebé sin una causa aparente. En la actualidad se desconocen sus causas exactas pero sí se sabe cómo prevenirla. Por lo que partiendo de las medidas preventivas como son la posición del bebé mientras duerme, la temperatura y el pulso, se han desarrollado cuatro dispositivos de bajo coste que permiten la monitorización del bebé en la cuna y de esta manera prevenir el síndrome de la muerte súbita del lactante considerada una de las principales causas de muerte en los bebés menores de un año. Dos de los sistemas nos permiten el control de su posición en la cuna, un tercero el control simultáneo de la temperatura de la habitación y del bebé y un cuarto sistema nos permitiría llevar un control de sus pulsaciones mientras duerme. Finalmente se difundieron encuestas entre 111 adultos y a 4 guarderías para conocer el interés acerca de los sistemas, preocupaciones y otras cuestiones.

**Palabras clave:** Muerte súbita, prevención, bebé, sistemas, Arduino, Processing y cuna.



## ABSTRACT |

Sudden death is the sudden death of the baby without apparent cause. Today, its exact causes are unknown but it is known how to prevent it. So starting from preventive measures such as the position of the baby while sleeping, temperature and pulse, four low-cost devices have been developed that allow the monitoring of the baby in the crib and thus prevent the syndrome of death Sudden infant is considered one of the leading causes of death in babies under one year. Two of the systems allow us to control their position in the crib, a third the simultaneous control of the temperature of the room and the baby and a fourth system would allow us to keep track of their pulsations while sleeping. Finally, surveys were disseminated among 111 adults and 4 nurseries to learn about systems, concerns and other issues.

**Keywords:** Sudden death, prevention, baby, systems, Arduino, Processing and crib.



## 1. INTRODUCCIÓN

La muerte súbita es la causa principal de muerte inexplicable en bebés entre 1 mes y 1 año de edad (postnatal). Este síndrome que afecta con más frecuencia a bebés de entre 1 y 4 meses de edad y el 85% de los casos, a bebés menores de 6 meses. Este ocurre con frecuencia mientras los bebés duermen, normalmente entre las 10 de la noche y las 10 de la mañana. Los principales factores a los que está ligado (aunque no se conocen con total precisión los desencadenantes) son problemas en el área cerebral que controla la respiración, arritmias, sobrecalentamiento o sofocación accidental.

Para la realización del proyecto se parte de las causas y de cómo se pueden evitar, para posteriormente diseñar 4 sistemas que permitan monitorizar el bebé mientras duerme y de esta forma poder reducir el riesgo de padecer este síndrome que se puede considerar uno de los más devastadores para las familias debido a que ocurre inesperadamente.

El motivo por el cual empecé a desarrollar este proyecto fue porque cada vez que leía una noticia relacionada con el tema quedaba muy impresionada y me preguntaba: ¿por qué no existirán tecnologías de monitorización del bebé en la cuna que sean mínimamente invasivas? Con la finalidad de responder a esta pregunta desarrollé los 4 sistemas para poder contribuir a reducir el número de casos del SMSL y de esta manera realizar mi pequeña aportación a la solución de este grave problema.

## 2. ANTECEDENTES

El síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL) también conocido como muerte súbita infantil, se define como el fallecimiento repentino e inesperado de un niño/a de menos de un año de edad aparentemente sano/a que ocurre durante el sueño y que permanece sin explicación después de una rigurosa investigación *postmortem* (esta incluye la práctica de la autopsia, examen del lugar del fallecimiento y revisión de la historia clínica)

### 2.1. CAUSAS

- Las causas de la muerte súbita infantil no se tienen claras, se desconocen. En la actualidad muchos médicos, investigadores y expertos creen que existen diversos factores implicados. Los más citados en la literatura científica son:

- La capacidad poco desarrollada del bebé para despertarse, así como la incapacidad de su cuerpo para detectar la excesiva acumulación de dióxido de carbono en la sangre. Por lo tanto el SMSL, podría originarse por un fallo en el microdespertar ante un episodio de apnea que se prolonga en el tiempo, bradicardia o hipotensión, arritmias o situaciones externas que pueden llegar a la asfixia. Por lo tanto no hay respuesta a un estímulo de amenaza a la vida durante el sueño.





- Recientemente, investigadores del Hospital de Niños de Weastmead de Sidney (Australia), después de estudiar muchos casos de muerte súbita infantil, descubrieron una coincidencia, estos bebés, presentaban en su cuerpo un 21% menos de orexina que los que habían muerto por causas conocidas. La orexina es una proteína que está presente en la zona de hipotálamo y cuya función es despertar al bebé cuando no le está llegando suficiente oxígeno y la regulación del sueño.

Hay investigadores que lo asocian con una anomalía de los mecanismos del sistema nervioso que controlan el corazón y la respiración.

## 2.2. ACTIVIDADES PREVENTIVAS

A pesar de que no se conocen las causas exactas que desencadenan la muerte súbita infantil, se ha visto que la puesta en marcha de una serie de medidas preventivas ha reducido en gran medida el número de casos de muerte súbita infantil, entre ellas destacan:

- Acostar al bebé boca arriba en la cuna
- Colchón firme y plano
- Dormir en la misma habitación del bebé
- Control de la temperatura (ambiente del dormitorio)
- No fumar ni consumir alcohol durante el embarazo
- Amamantar si es posible al bebé
- Uso del chupete al dormir

## 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

### 3.1. HIPÓTESIS

El proyecto parte de una hipótesis de trabajo:

“Se pueden reducir los casos de muerte súbita en los bebés mediante el desarrollo de sistemas que nos permiten su monitorización mientras duermen.”

### 3.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos perseguidos durante la investigación fueron:

1. Diseñar un conjunto de sistemas de control integrables en la cuna
2. Reducir la probabilidad de que los bebés padezcan la muerte súbita del lactante gracias a su seguimiento mientras duermen.



## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. MATERIALES

10 sensores de presión, 2 Arduino Mega, 2 Arduino UNO, soldador y estaño, 4 placas VeroBoard, cables, NodeMCU, pulse sensor, PS3 Sony Eye, fuente de luz IR, negativo de fotografía, Adafruit AMG8833, pantalla LCD, 2 buzzer, ordenador, impresora 3D, filamento PLA y 4 módulos NRF24L01

### 4.2. METODOLOGÍA

#### 4.2.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA Y ANÁLISIS DE PROYECTOS DEL ÁMBITO.

El proyecto comienza con una búsqueda de información acerca de la muerte súbita del lactante, sus causas y medidas preventivas. Finalmente se decide tomar las causas como base para el desarrollo del proyecto debido al desconocimiento de las causas exactas del SMSL. Posteriormente también se analizaron diferentes sistemas existentes para la monitorización de la salud del bebé, para de esta manera poder diseñar algo que fuese innovador y diferente a lo existente con la motivación principal de reducir el número de casos de muerte súbita del lactante.

#### 4.2.2. DESARROLLO DE SISTEMAS

Una vez conocida la información necesaria sobre el SMSL, se comienzan a diseñar cuatro sistemas que permiten la monitorización del bebé en la cuna para de esta manera controlar al bebé mientras duerme y prevenir dicho síndrome. De forma cronológica, se siguió el siguiente orden a la hora de la fabricación de los sistemas:

##### 4.2.2.1. Sistema de detección de giros por presión

El primer sistema permite mantener controlada la posición del bebé en la cuna asegurando de esta forma que el bebé no se haya girado. La postura recomendada actualmente por los médicos para dormir es boca arriba. Al controlar la

Figura 01

Montaje de los sensores sobre el colchón.





posición en la cuna descartamos una de las posibles causas de padecer este síndrome que es dormir boca abajo y que el bebé inhale el mismo aire que exhala.

Este sistema consiste en un cubre colchón que tiene incorporados 10 sensores de presión que detectan cualquier giro del bebé. Para ello partimos de esos 10 sensores que están colocados en 2 filas de 5 sensores cada una a ambos lados del lactante.

Los 10 sensores de presión están conectados a un Arduino Mega, este ha sido programado en lenguaje Arduino de manera que emita un aviso al sobrepasar un determinado valor de presión (variable según el peso del bebé) en una de las dos filas de sensores. Si se supera el valor establecido sonará una alarma procedente del buzzer, este está conectado en un segundo Arduino al cual se le envía la información mediante un módulo de conexión radio.

Una vez completo el sistema, con todo programado y con las piezas diseñadas e impresas se pasó al montaje sobre el cubre colchón. Para usarlo, se coloca al bebé boca arriba en el medio de las dos filas de sensores de presión. Estos sensores detectan si el bebé se gira durante la noche. Al girarse ejercería una cierta presión sobre los sensores y esto daría lugar a la activación de la señal sonora por parte del buzzer que se sería el que avisaría a los padres de que el bebé de ha girado.

#### 4.2.2.2. Sistema de reconocimiento facial

El segundo sistema es complementario al anterior. Consiste en una cámara que va colocada en el lateral de la cuna. Esta nos permite controlar, de manera automática, la posición del bebé mientras duerme y nos avisa cuando su posición no sea la correcta.

Para la obtención de la cámara se partió de una PS3 Sony Eye que se desmontó con la finalidad de convertirla en una cámara IR. Cambiando su filtro por negativo de fotografía.

Figura 02

Cámara IR usada.





La cámara fue programada mediante processing y OpenCV para que detectara caras. A partir del algoritmo de OpenCV que permite la identificación de caras, se fue elaborando un código que nos avisa cuando el bebé no está boca arriba, que es cuando no le detectaría la cara, posición favorable a sufrir el SMSL, el ordenador emitiría un sonido que avisaría a los padres de que la posición del bebé no es la recomendada.

Para finalizar este segundo sistema, se diseñó mediante Tinkercad una pieza para el soporte de la cámara en la cuna, para que fuese más cómoda su colocación, el agarre consta de imanes siendo más fácil así su encaje en cualquier cuna.

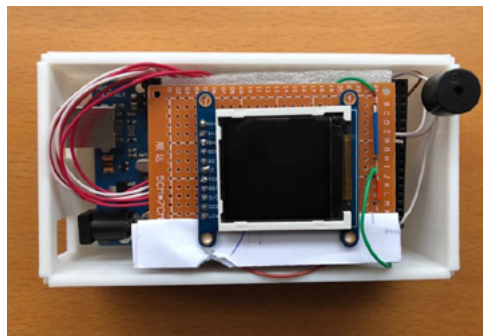
#### 4.2.2.3. Control térmico del espacio y del lactante

El tercer sistema consiste en una cámara térmica hecha a partir de un sensor térmico y una pantalla LCD. Este sistema marca la temperatura aproximada de la habitación y del bebé. Gracias a la incorporación de la pantalla, podemos saber en qué parte del bebé se concentra más calor y si tuviese una temperatura elevada por un abrigo excesivo podríamos saber qué prendas de ropa tendríamos que quitarle para disminuirla. De esta manera, disminuimos el riesgo de que padezca un exceso de temperatura corporal y por lo tanto disminuimos el riesgo de padecer la muerte súbita del lactante. Ya que la temperatura es uno de los factores que recogen los libros y defienden los médicos a controlar para prevenir dicho síndrome.

Para el desarrollo de este sistema, partimos de un sensor Adafruit AMG8833 y de una pantalla LCD. Ambos están conectados a un Arduino Mega. Para facilitar el montaje de este sistema utilizamos dos placas VeroBoard de manera que cada uno de los componentes está soldado a una placa y conectado a sus respectivos pines en el Arduino.

Figura 03

Sistema de la cámara térmica.



Este sistema al superar una determinada temperatura, que son los 26°C en el ambiente (temperatura superior a la recomendada debido a que al estar cerca del bebé la temperatura se eleva) y cuando es inferior a los 18°C emitirá una señal sonora procedente del buzzer. Esta alarma, al igual que en el primer



sistema, sonará en el Arduino central (receptor) al cual se conecta inalámbricamente el Arduino del sistema (emisor) mediante señal de radio, gracias a la incorporación del módulo NRF24L01 en ambos Arduinos.

En caso de que saltara la alarma, los padres podrían observar en la pantalla LCD como está la temperatura del bebé y de esta forma tomar medidas preventivas necesarias.

#### 4.2.2.4. Monitorización del pulso del lactante

El cuarto sistema es un body que tiene incorporado un sensor de pulso, permitiéndonos así mantener controlado el pulso del bebé de manera continuada durante toda la noche y avisar en caso de cualquier arritmia.

Este sistema consta de un sensor de pulso que está conectado a un NodeMCU lolin que es una placa compatible con Arduino y que nos permite conectarlo a una red Wifi, de esta manera podemos acceder a los datos desde un dispositivo móvil. A él también se le conectó un portapilas de botón que se usa como fuente de alimentación.

Se decidió colocar el sensor de pulso en la zona de la axila, midiendo así el pulso axilar por ser el sitio más cómodo para el bebé debido a que no le impedía los movimientos y por ser el sitio más fácil para fijar el sensor y obtener así datos fiables.

Este sistema fue diseñado para que la señal de aviso fuese una notificación en el móvil de la madre/padre o tutor. Para ello se hace uso del programa *Blynk* que nos permite conectar el NodeMCU con un dispositivo móvil y poder recibir así una notificación que va acompañada de un sonido en caso de una alteración en el pulso cardíaco.

Figuras 04 y 05

Body con la electrónica escondida (izda.) y electrónica del body (dcha.)





Ante estas situaciones de arritmias habría que tomar decisiones, si el bebé las sufre de manera frecuente lo recomendable sería ir al médico porque son señal de peligro en muchos de los casos.

#### 4.2.3. ELABORACIÓN DE LAS ENCUESTAS

Para completar el proyecto se realizaron unas encuestas para conocer el interés de las personas y guarderías en los sistemas y saber si los parámetros que se controlan son en los que está interesada la mayoría.

Se desarrollaron dos tipos de encuestas en drive. La primera de ellas -encuesta para adultos- constaba de 15 preguntas que se difundió por redes sociales tales como Facebook y Twitter y vía Whatsapp. Fue cubierta por un total de 111 personas, todas de ellas mayores de edad.

La segunda de las encuestas era para que cubrieran las guarderías. Finalmente se consiguió contactar con 4 guarderías de diferentes ciudades: Pontevedra, Zamora, Palencia y Segovia para conocer su interés en los respectivos sistemas y sus necesidades.

### 5. RESULTADOS

#### 5.1. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS

El trabajo conjunto de los dos primeros sistemas es efectivo puesto que en las pruebas realizadas ambos sistemas les saltaba la alarma cuando el bebé se giraba manteniendo de esta forma controlada su posición. Evitamos así uno de los riesgos de padecer la muerte súbita del lactante que es que el bebé duerma boca abajo o de lado debido a que podría girarse fácilmente. Además como este sistema es fácilmente extraíble del cubre colchón no habría problema a la hora de echarlo a lavar.

Con el tercer sistema los resultados obtenidos también fueron muy satisfactorios porque permitía el control de la temperatura aproximada del bebé y de la habitación. Manteniendo de esta forma un sistema habitación-bebé cuya temperatura oscila entre los 26°C y los 18°C, la temperatura máxima está definida como superior a la recomendada en un habitación porque al estar la cámara térmica cerca del bebé la temperatura aumenta. Con este sistema una vez que saltaba la alarma por temperatura alta se podía ver en que parte del bebé había más calor y de esta forma quitarle prendas de ropa para que la temperatura bajase. Por lo tanto con este sistema descartamos otro factor de riesgo que es la temperatura alta tanto del bebé como de la habitación evitando así un sobrecalentamiento.

Con el último sistema se pudo comprobar como medía el pulso de manera continuada. Además se pudo ver que no resultaba molesto al bebé debido



a que no mostraba molestia alguna ni lloraba al ponérselo, lo cual significa que se cumplen los dos objetivos propuestos al desarrollar este sistema que eran que fuera cómodo y que midiera el pulso del bebé mientras dormía. Descartamos con este sistema otro de los posibles riesgos de padecer el SMSL que son las arritmias, debido a que nos avisaría y de esta manera podríamos tomar las medidas necesarias. Si el pulso fuera muy alto podría ser señal de que el bebé tiene fiebre debido a que por grado de fiebre el pulso puede llegar a aumentar en ocho pulsaciones por minuto. Este sistema fue diseñado también pensando en que fuera fácil lavarlo porque es muy habitual que los bebés vomiten, para ello los sensores se colocaron pensando en que fueran fácilmente extraíbles.

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

Una vez cubiertas las encuestas se pasó al análisis de estas. Se consiguieron un total de 111 respuestas, habiendo un 32,4% de respuestas masculinas y un 67,6% femeninas, de estos 111 un 81,5% eran padres siendo el intervalo de 31 – 35 años el más frecuentado con un 53,3% seguido por el de 36 – 40 años con un 33,3%, cabiendo la posibilidad de que algunos padres hubiesen marcado diferentes rango de edades porque tuvieron varios hijos/as sumando de esta manera un porcentaje de 137,6%.

Cuando se les pregunta qué es lo que más les preocupa cuando son bebés, pudiendo marcar un máximo de 3 respuestas, destacan las enfermedades que puedan padecer sus hijos (74,1%) así como el que puedan padecer la muerte súbita infantil (52,8%).

Si nos preguntamos cómo dormían los padres cuando sus hijos eran bebés, un 52% dicen de haber dormido tranquilos mientras que un 48% intranquilos, dentro de este porcentaje nos dicen que lo que les preocupaba era: “la muerte súbita”, “el bienestar del bebé”, “no atender cuando lo necesite”, “las necesidades del bebé durante la noche (lactancia, sueño, frío, enfermedad etc.)”, “que esté bien durante la noche”, “que se ahogara, que se quedara sin respiración. Era algo que me obsesionaba” pudiendo ver como muchas de estas preocupaciones estarían cubiertas con los cuatro sistemas explicados.

Si se les pregunta qué parámetros les gustaría tener controlados podemos ver que los más frecuentes son la posición del bebé en la cuna, la temperatura del bebé y que 36 personas se muestran interesados con todos los parámetros expuestos (temperatura de la habitación y del bebé, posición del bebé en la cuna, el pulso del el seguimiento del bebé de manera visual).

Para finalizar se les preguntó si estarían interesados en estos sistemas que les permiten prevenir la muerte súbita infantil así como la monitorización del bebé mientras duerme, un 88% dice de estar interesado y un 12% no.



Cuando se les pregunta cuánto pagarían por estos sistemas podemos ver que un 24,1% pagaría menos de 60€, un 32,4% entre 60 – 120€, un 23,1% entre un 120 – 180€ y un 20,4% más de 180€.

Al analizar si las personas a las cuales les preocupa/preocupaba que su bebé pudiese padecer el SMSL les interesarían sistemas que sirvieran para prevenir y avisar ante determinados riesgos, podemos ver que un 89% se muestra estar interesado en los sistemas.

Para poder comprobar el interés del sistema también se contactó con **4 guarderías**, de 4 ciudades distintas, Pontevedra, Zamora, Palencia y Segovia. Estas guarderías acogen niños de entre los 3 – 5 meses hasta los 3 años. En las 4 guarderías los bebés suelen dormir la siesta, siendo acostados en todas ellas menos en una de lado. Además afirman de conocer los riesgos de padecer el SMSL. Las 4 guarderías estarían interesados en estos 4 sistemas, 3 de ellas pagarían entre 60 – 120€ y una de ellas menos de 60€.

## 6. CONCLUSIONES

Se cumple la hipótesis inicial ya que se ha conseguido diseñar distintos dispositivos que permiten la monitorización del bebé en la cuna, controlando una serie de parámetros recomendados por lo médicos para de esta forma reducir el riesgo de padecer la muerte súbita infantil.

Este sistema podría ser utilizado por cualquier familia con bebés menores de un año, que es cuando hay mayor riesgo de padecer este síndrome, para de esta forma poder dormir más tranquilos sabiendo que cualquier situación que aumente el riesgo de padecer el SMSL será notificada con una alarma sonora.

Por lo tanto, con este proyecto se puede reducir la probabilidad de que un bebé padezca la muerte súbita del lactante.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este proyecto fue imprescindible la presencia de mi tutor de proyecto, David Ballesteros, que sin él, este proyecto no hubiese sido posible y a quien le agradezco su apoyo constante y su ayuda en los aspectos más difíciles. También agradezco a las aulas Tecnópole en el Parque Tecnológico de Galicia que es donde he llevado a cabo el proyecto y que sin la existencia de esta actividad, este trabajo no se hubiera realizado.

Por último quiero agradecer a mis padres y a mi hermana su ánimo, apoyo y ayuda constante a lo largo de todo el proyecto y que me han ayudado a superar los peores momentos en los que las cosas no salían.





## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Niño, G. (2017). *Cómo prevenir la muerte súbita del lactante*. Guiadelnino.com. <https://www.guiadelnino.com/bebe/cuidados-del-bebe/como-prevenir-la-muerte-subita-del-lactante> [Consulta: 28 Septiembre 2017].
- Ascalema.es. *Síndrome de la Muerte Súbita del Lactante (SMSL)* <http://www.ascalema.es/wp-content/uploads/2014/10/Grupo-de-Trabajo-de-AEP-Muerte-Súbita-del-Lactante-SMSL-Libro-Blanco.2003.pdf> [Consulta: 10 Octubre 2017].
- García García, F. *Síndrome de muerte súbita del lactante*. Scielo.sld.cu. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-75312008000200009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75312008000200009) [Consulta: 18 Octubre 2017].
- Sids.org.ar. *Colecho y síndrome de muerte súbita del lactante: una relación conflictiva*. <http://www.sids.org.ar/pdf/228.pdf> [Consulta: 20 Diciembre 2017].
- Previnfad.aepap.org. *Prevención del síndrome de muerte súbita en el lactante / Previnfad*. <http://previnfad.aepap.org/monografia/muerte-subita-lactante> [Consulta: 2 Enero 2018].
- Libro blanco de la muerte súbita. Aeped.es. 2018 [http://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/libro\\_blanco\\_muerte\\_subita\\_3ed\\_.pdf](http://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/libro_blanco_muerte_subita_3ed_.pdf) [Consulta: 20 marzo 2018].



## 12 Terrones y 4 cafés

---

/ TERCER PREMIO

**AUTORA** | LIDIA SOFÍA VICENTE GÓMEZ

**COORDINADORA** | JUANA MARÍA CARRIÓN SIMÓN

**CENTRO** | IES INFANTA ELENA

**CIUDAD** | JUMILLA-MURCIA

### RESUMEN |

Este proyecto de investigación centra su interés en las bebidas energéticas, un producto cargado de polémica pero que, pese a esto, está experimentando un incremento enorme a todos los niveles sociales: desde deportistas de alto rendimiento hasta simples usuarios de gimnasios y, lo más alarmante, cada vez más jóvenes.

“12 terrones y 4 cafés” nace con el objetivo de conocer más acerca de ellas y sobre cómo afecta su consumo en el organismo humano, en concreto, en determinados aspectos fisiológicos como son el nivel de glucosa en sangre, el ritmo cardíaco y la tensión arterial.

Así mismo, pretende analizar el comportamiento de compra del consumidor joven frente a dichas bebidas. Estableciendo, con ello, los factores que afectan al consumidor adolescente. Por último, este trabajo trata de identificar el índice de ventas de estas bebidas en los comercios de Jumilla, ya sean supermercados, tiendas 24 horas o tiendas de proximidad. Resaltando que tan sólo fue posible obtener los datos de dos cadenas importantes de supermercados, no por ello despreciando las innumerables ventas del resto de establecimientos. Con todo esto, dicha investigación pretende informar a los consumidores actuales y/o venideros acerca de las bebidas energéticas en cuanto a los objetivos citados anteriormente.



## ABSTRACT |

This research project is focus on Energy drinks. A product full of polemic that nevertheless, it is experiencing a huge increment involving all the social areas: including high performance athletes as well as simple gym users and, which is more disquieting, every time younger people.

“12 terrones y 4 cafés” was born with the aim of knowing more about them and also to know how their consume affect the human organism, specifically, in certain physiological effects such as the level of sugar in blood, heart beats and the blood pressure.

Besides, it pretends to analyse the purchasing behaviour of young consumers in the face of these type of drinks. So that, set up what factors affects teenagers 'consumption. Finally, this work deal with identify the sale rates of these drinks on Jumilla's business, including supermarkets, 24-hours stores or common shops. Underline that just two important supermarket chains bring us the rates, not ignoring with these, the countless sales of the rest of establishments. To sum up, this project pretends to inform people who have these drinks and the ones who will drink them in a future about Energy drinks regarding the objectives previously cited.



## 1. INTRODUCCIÓN

Las bebidas energéticas garantizan un incremento a todos los niveles del organismo humano, desde la estimulación física a la excitación psicológica. Podemos casi afirmar rotundamente que esta publicidad sí que tiene sus frutos ya que cada vez es más usual encontrarse con alguien que este consumiendo este tipo de bebidas como si de un refresco se tratase. Siendo un producto que, actualmente, está experimentando un gran auge en el mercado. Sin embargo, múltiples noticias acechan con datos que se contraponen a toda esa sensación de bienestar garantizada por estas bebidas. Lo que lleva a preguntarnos: ¿Qué hay de cierto en lo que nos venden estas bebidas?, ¿Realmente lo sabemos todo acerca de ellas? Y lo más importante, ¿son seguras?

## 2. ANTECEDENTES

Las bebidas energéticas son bebidas analcohólicas, carbonatadas por lo general. Son consideradas un alimento funcional, puesto que han sido creadas con el fin de proporcionar beneficios adicionales.

El origen de estas se traslada a Japón, donde en 1962 se introdujo un producto pionero bajo el nombre de “Lipovitan D”. Comercializadas por TaishoPharmaceutical dando paso a un nuevo mercado. La evolución de este, ha derivado en la infinidad de marcas que se comercializan actualmente.

### 2.1. COMPOSICIÓN DE LAS BEBIDAS ENERGÉTICAS

#### 2.1.1. CAFÉINA

La cafeína es un alcaloide: un tipo de metabolito secundario que pertenece a la familia de las xantinas. La cafeína es un potente estimulante del sistema nervioso central y en general, del músculo esquelético. Es una sustancia activa, que al ser ingerida por vía oral se absorbe rápidamente.

En cuanto a la dosis máxima recomendada el grupo científico de Productos Dietéticos, Nutrición y Alergia la EFSA estipula 300 mg en cuanto a niños y adolescentes. Relacionándolo con las bebidas energéticas destacamos que los niveles de cafeína en las bebidas estudiadas oscilan entre 20 y 35 mg por cada 100 ml de bebida, por lo que la ingesta de una lata de 250 ml supondría una incorporación de 87.5 mg de cafeína al organismo.

#### 2.1.2. GLUCOSA

La glucosa es un monosacárido, y por lo tanto, un glúcido, perteneciente al subgrupo de las aldosas y la fuente más importante de energía en las células.

En cuanto a la dosis máxima recomendada, la American Heart Association



(AHA) limita la cantidad de azúcares añadidos entre 25 - 36 g. Considerando que en las bebidas energéticas estudiadas encontramos niveles de azúcar dispares desde 4.9 g a 15 g por cada 100 ml de bebida. La ingesta de una lata de 250 ml con un nivel medio de 10 g de azúcar por cada 100 ml, supondría una incorporación de 25 g, alcanzando los niveles máximos diarios.

### 2.1.3. TAURINA

La taurina es un aminoácido no esencial, que puede ser sintetizado por el organismo, principalmente en el hígado, a partir de otro aminoácido, cisteína. La taurina es un potenciador de la cafeína. En cuanto a la dosis diaria media según el Laboratorio de Complementos Nutricionales 1955 (LCN) es cercana a los 58 mg. Por lo general, dentro de las bebidas estudiadas y en aquellas que indicaban contener, encontramos niveles de taurina de entre 0.35g y 0.40g por cada 100 ml.

### 2.1.4. GLUCURONOLACTONA

La glucuronolactona es un hidrato de carbono resultado de la metabolización natural a partir de la glucosa en el hígado. Entre aquellas bebidas energéticas que la contienen, las concentraciones pueden variar desde los 250 mg/L hasta 2500 mg/L. Cabe destacar que la mayor parte de bebidas estudiadas no indicaban contenerla.

### 2.1.5. L-CARNITINA

La L-Carnitina es un aminoácido sintetizado en el hígado, los riñones y el cerebro a partir de los aminoácidos esenciales metionina y lisina. Entre las funciones de este aminoácido destaca el transportador de lípidos. Entre las bebidas estudiadas se encontraban en proporciones entre 10mg y 40mg por cada 100 ml, en aquellas bebidas lo indicaban.

### 2.1.6. EXTRACTOS VEGETALES

Los extractos más comunes encontrados en las bebidas energéticas son: Ginseng, Guaraná, Ginkgo biloba y Extracto de Café Verde. Todos estos componentes se encuentran en dosis menores al 0.03mg por 100ml en las bebidas estudiadas. Todas las propiedades que le son atribuidas no son avaladas por ninguna entidad, estando muy relacionadas con la estimulación.

### 2.1.7. VITAMINAS

Las vitaminas son compuestos orgánicos indispensables en pequeñas cantidades para el correcto funcionamiento del organismo. Cuyo exceso o déficit provoca trastornos metabólicos. Aquellas presentes en las bebidas energéticas son: Niacina/Vitamina B3 y Vitamina B12/Cianobalamina



En cuanto a la dosis máxima recomendada según The National Institutes of Health (NIH) del Departamento de Salud y Servicios Humanos de USA son: 2.6µg en adolescentes si hablamos de la Vitamina B12, mientras que se encuentra en torno a 17/18mg si nos referimos a la Niacina.

En cuanto a las bebidas estudiadas encontramos desde 2.4mg a 8.5mg por cada 100ml de Niacina. Así como desde 0.21µg hasta 2.5µg por cada 100ml de Cianobalamina.

## 2.2. REGULACIÓN LEGAL DE LAS BEBIDAS ENERGIZANTES

Centrándonos en la legislación española, en el BOE número 166 del 12 de julio de 2003, es en el Real Decreto 906/2003 del 11 de julio donde encontramos todo lo relativo al etiquetado de los productos alimenticios que contienen quinina o cafeína. Y en el Real Decreto 650/2011 del 9 de mayo, publicado en el BOE número 119 del 19 de mayo de 2011, en el que se aprueba la reglamentación técnico-sanitaria en materia de bebidas refrescantes, donde se hace mención del etiquetado de este tipo de bebidas con altos niveles de cafeína.

Por último, añadir que, pese a las múltiples búsquedas bibliográficas, no hemos encontrado normativa acerca del resto de componentes que encontramos en las bebidas energéticas. Concluyendo que representan un vacío legal.

## 2.3. EFECTOS FISIOLÓGICOS DERIVADOS DEL CONSUMO DE DICHAS BEBIDAS

### 2.3.1. Nivel de glucosa en sangre

La glucemia es el nivel de azúcar que encontramos en sangre, este es regulado por dos hormonas: la insulina y el glucagón. Ambas producidas en el páncreas y mientras que una reduce el nivel de azúcar la otra lo aumenta, respectivamente, procurando así que permanezca estable. Intentando evitar los picos de glucosa que se producen, sobre todo, tras la ingesta de algún alimento, lo que se conoce como Hipoglucemias reactivas o postprandiales. Los niveles de glucosa en sangre, van oscilando entre 70 y 145 mg/dl de sangre a lo largo del día.

### 2.3.2. Ritmo cardíaco

El ritmo cardíaco, comúnmente conocido como pulso, hace referencia a la cantidad de latidos sufridos en un minuto. La frecuencia cardiaca normal, tomada en reposo a una persona que no presenta enfermedades congénitas o incidencias cardíacas, de acuerdo con la Fundación Española del Corazón (FEC), oscila entre 50 y 100 pulsaciones por minuto.

### 2.3.3. Tensión arterial

La tensión arterial hace referencia a la presión ejercida en las paredes arteriales



durante el transporte de sangre. Dicha presión arterial tiene dos componentes: La presión arterial sistólica que corresponde al valor máximo de la presión arterial, que coincide con la contracción del corazón, siendo su valor arterial normal 120mmHg; y la presión arterial diastólica, que concierne al valor mínimo, y se identifica con la diástole del corazón, cuyo valor arterial normal sería 80mmHg.

### 3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

**OBJETIVO 1.** Analizar cómo afectan las bebidas energéticas al organismo en determinados aspectos fisiológicos. **Objetivos específicos** (derivados del O.1): Medir la variación en el nivel de glucosa en sangre antes y después de la ingesta de diferentes bebidas energéticas; Evaluar cómo afecta la ingesta en el ritmo cardíaco; y, Determinar si existe una diferencia en la tensión arterial del sujeto tras la ingesta de la bebida energética.

**OBJETIVO 2.** Analizar y conocer el comportamiento de compra del consumidor joven de las bebidas energéticas. **Objetivos específicos** (derivados del O.2): Identificar el perfil socio-demográfico del consumidor frente a las bebidas energéticas, y estudiar qué factores afectan al consumidor.

**OBJETIVO 3.** Analizar el consumo de estas bebidas en la localidad de Jumilla.

### 4. METODOLOGÍA

#### 4.1. PARTE EXPERIMENTAL (OBJETIVO 1)

Antes de llevar a cabo la parte experimental realizamos un estudio de las etiquetas de las bebidas energéticas, en el que hicimos una recopilación de todos los datos que se muestran en ellas y de las marcas y tipos, que pudimos encontrar en la fecha del estudio en establecimientos comerciales, supermercados y tiendas de proximidad de la localidad de Jumilla.

Tras la recogida de los datos que aparecían en las etiquetas, comparamos diferentes componentes para clasificar las bebidas en función del nivel de glucosa, otorgándole a cada bebida una numeración del 1 al 7. Así mismo, elaboramos una bebida inocua (bebida 0) elaborada de forma casera a base de bebida gaseosa "Soda" y refresco en polvo con sabor a naranja que contenía tan solo 2,7 g de azúcar por cada 100ml de bebida preparada y fue empleada como blanco.

Decidimos tomar una muestra de población de 16 participantes con un número equánime de hombres y mujeres (8 y 8), todos comprendidos entre 17 y 19 años. A los que previamente a la medición de los factores fisiológicos de nuestro trabajo, se les realizó un seguimiento de la tensión a lo largo de 7 días para conocer la tensión media normal.



La prueba experimental consistió en la medición de las variables contempladas (glucemia, tensión y pulso) antes y tras la ingesta de 250 ml de cada una de las bebidas citadas anteriormente (numeradas del 1 al 7) y repartidas al azar. Para poder medir todas estas variables empleamos diversos instrumentos de medida, siendo el glucómetro “Contour.next” de Bayer y el tensiómetro “BPM Wrist 3311”, marca TopCom, digital de muñeca y que también nos proporcionó el pulso.

Mencionar que tuvimos que realizar las medidas de estos parámetros dos veces ya que al llevar a cabo la primera de ellas y dejando transcurrir un tiempo de 40 minutos tras la ingesta de las bebidas energéticas, los resultados que obtuvimos fueron una bajada media generalizada en las variables estudiadas. Por lo que nos vimos comprometidos a realizar una prueba control en tres sujetos para decidir cuál era el intervalo de tiempo idóneo, de modo que así pudimos establecer que debían realizarse dichas medidas entre los 5’ a 10’ y entre los 15’ a 20’ tras la ingesta en los parámetros de pulso y tensión; mientras que la glucemia debía ser tomada entre los 10’ a 15’. Gracias a esta prueba control también pudimos apreciar como pasados 40 minutos de la ingesta de bebidas energéticas, los niveles de nuestras variables retornaban a los normales o incluso bajaban como ocurría en las pruebas anteriores.

Tras estimar los tiempos idóneos de realización de las medidas, volvimos a realizarlas, pero sobre 10 sujetos, manteniendo el control.

#### 4.2. ENCUESTA (OBJETIVO 2)

Elaboramos una encuesta a través de la plataforma online Google Forms que tras su validación por un grupo piloto (compuesto de 28 personas) procedimos a pasar a la población objeto de nuestro estudio, es decir, jóvenes de Jumilla de edades comprendidas entre los 15 y 20 años.

A partir de los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) del año 2017 sobre el número de jóvenes que cumplían dichos requisitos obtuvimos un número de 1428 personas. Dicho dato nos permitió calcular el tamaño muestral para nuestra experimentación, resultando que debíamos de realizar 264 encuestas. Tras lo cual realizamos un muestreo por conglomerado al azar, dentro de nuestra población: Jumilla, donde seleccionamos el IES Infanta Elena y dentro de nuestro rango de edades (15-20). Quedando así nuestra muestra estratificada en función de las edades. El modo de escoger a los sujetos que realizaron la encuesta fue aleatorio previa comprobación que no producía sesgos. Posteriormente, las encuestas tuvieron que ser volcadas a diversas tablas de EXCELL.

#### 4.3. ESTUDIO DE CAMPO (OBJETIVO 3)

Para el estudio de campo recopilamos el índice de ventas de dichos productos en un mes (enero de 2018). Destacar que, aunque nuestra pretensión era abar-





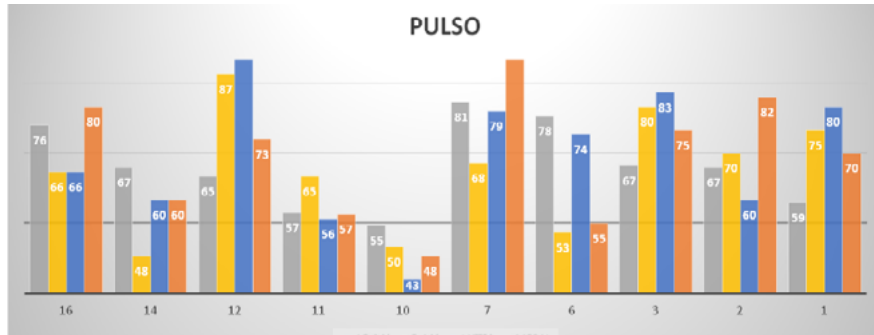
car todos los locales comerciales, tan sólo nos facilitaron dichos índices de compra las cadenas MERCADONA y DÍA. Estos datos también fueron recogidos en tablas de EXCELL, expresados tanto en litros como en unidades por mes.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. PARTE EXPERIMENTAL

Comenzando por el **pulso** (Fig.1) (controlado entre 5'-10' y 15'- 20'). El sujeto control (12) experimenta una variación imprecisa en cuanto a ambas mediciones. Por otra parte, tres de nuestros sujetos experimentaron una subida en ambas mediciones (7, 14 y 16), destacando que en los dos últimos, que son

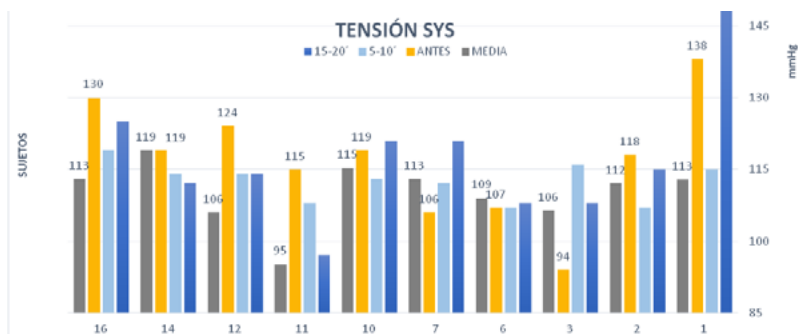
Figura 01



hombres, esta subida es más acusada en la segunda medición, es decir, tras 15 minutos. Dos sujetos evidenciaron lo opuesto, una bajada en ambas ocasiones (10 y 11) siendo estas de aproximadamente 10mmHg. En cuanto al resto de sujetos (1, 2, 3 y 6), las mediciones fluctúan entre la subida y bajada o viceversa, destacando que todos estos corresponden a mujeres. Debido a las diferentes variaciones entre los sujetos estudiados, no se puede establecer un patrón fijo en cuanto a cómo afectan las bebidas energéticas al pulso de los participantes.

La segunda variable a analizar es la **tensión**, controlada en las mismas fracciones de tiempo que el pulso. En relación a la **tensión sistólica** (Fig.2), los sujetos 1,3 y 7 experimentan una subida de alrededor de 20mmHg en cuanto a

Figura 02

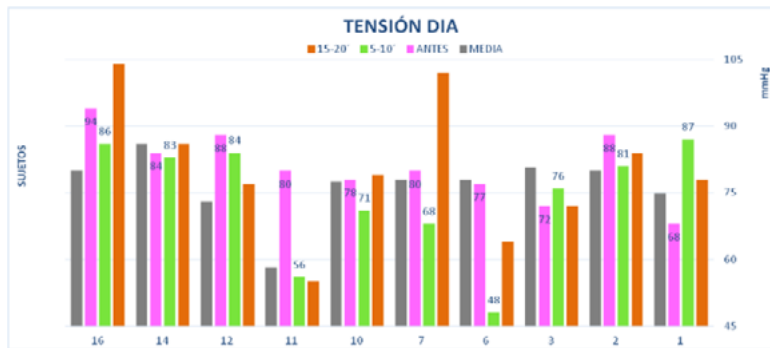




la medición inicial (todas mujeres). Destacando el primer puesto que alcanza los 150mmHg, nivel situado por encima de los establecidos como normales en nuestro marco teórico. Por otra parte, los participantes número 2,11 y 14 experimentan una bajada, siendo la disparidad más acusada. En cuanto a nuestro sujeto control (12) que partía de un valor de 124 mmHg, se aprecia que desciende a un valor de 114mmHg donde permanece estable.

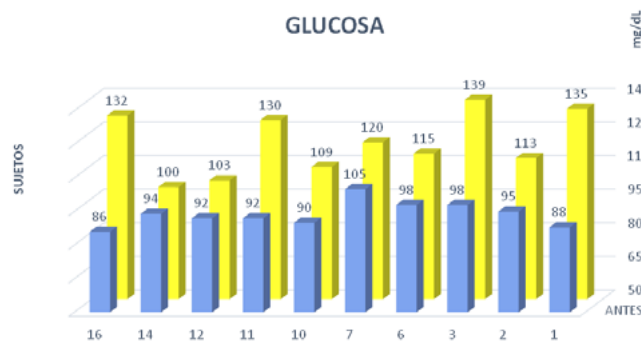
Pasamos a analizar la **tensión diastólica** (Fig.3), resaltamos que nuestro sujeto control (12) aunque experimenta una pequeña bajada, se encuentra dentro de los índices normales establecidos. El resto de sujetos, cabe situar una fracción que se encuentran por debajo del nivel normal (3, 6, 10 y 11). Tras estos, los que se sitúan por encima de este nivel (1, 2, 7 y 16) y destacando los sujetos 7 y 16 que alcanzan 102mmHg y 104mmHg, respectivamente, siendo estos niveles muy elevados.

Figura 03



Por último y dentro de nuestra parte experimental, estudiamos la **glucemia** (Fig.4) en sangre (controlada entre los 10' y 15'). Cabe resaltar que todos nuestros sujetos experimentaron una subida de este parámetro. Apenas dos de ellos, donde se incluye nuestro sujeto control (12), muestran una subida de tan sólo 10 mg/dL aproximadamente. En el resto de sujetos dicha subida es mucho más acentuada.

Figura 04





## 5.2.- ENCUESTA

La encuesta se dividía en dos partes: la primera correspondía a un test general, mientras que la segunda se destinaba tan sólo a los consumidores de bebidas energéticas, suponiendo un 53,2%. De los datos obtenidos podemos deducir que la proporción de jóvenes de Jumilla que consume bebidas energéticas y aquellos que no lo hacen están muy igualadas.

En cuanto a la primera pregunta, 1.- *¿Qué entiende usted por el término “energética”?*. El 71% de los encuestados afirmó que dicho vocablo designaba un “Incremento en el estado de alerta”, lo que conlleva evitar el sueño, excitar el metabolismo, etc. En relación a la “Estimulación mental” y/o “Excitación psicológica” apenas alcanza el 20% de respuestas, lo que resulta curioso pues suponen uno de los objetivos que persiguen estas marcas.

Las siguientes preguntas perseguían identificar el nivel de conocimiento de los encuestados acerca de la composición de estas bebidas donde en la pregunta 3.- *Marque aquellos componentes de los que desconoce sus efectos en el organismo*. Cabe destacar que el 10,8% admitió desconocer totalmente la composición de dichas bebidas. Más a fondo, el 66% de estos sí que las ingieren a pesar de su ignorancia, frente a un 33% que no lo hace.

Pasamos tras esto a la segunda parte de nuestra encuesta. Nuestros investigados fueron preguntados acerca de la frecuencia y cantidad de ingesta de bebidas energéticas, esto suponen las preguntas: 2- *¿Con qué frecuencia las consume?*, 3- *¿Cuántas latas de 500 ml puede ingerir en un día/semana/mes/...?* y 4- *Si marcó en la pregunta 3 la última opción “4 o más”, especifique la cantidad*. Destacar que aproximadamente el 44% de los encuestados tan sólo ingiere 1 bote de estas bebidas en algunas ocasiones. Por otra parte, aquellos que semanalmente consumen de 2-3 botes de 0.5L suponen casi un 20% de los encuestados; así como, aquellos que diariamente ingieren la misma cantidad corresponden al 4%. En relación a dichas ingestas, también nos interesó conocer acerca de si estas se acompañaban de otras sustancias. Quedando reflejado en nuestra pregunta: 5.- *¿Consume las bebidas energéticas solas?*, donde el 41,3% de los encuestados las mezcla con otras sustancias, como alcohol, en todas o en algunas de sus ingestas.

En cuanto a la edad en la que comenzaron su consumo la mayoría coinciden en que fue entre los 10 y 16 años (69%). Pese a que aquello que motivo su consumo fue “refrescarse”, actualmente como observamos en la pregunta 9.- *Actualmente, ¿Por qué razones las tomas?*, la mayoría lo hace “Porque les gusta su sabor”. Sin embargo, resaltamos que el 48,3% las ingiere por motivos relacionados con el estudio, ya sea “Para aumentar la concentración” o “Para evitar el sueño”.

Por último, quisimos conocer si nuestros encuestados presentaban efectos adversos tras la toma de bebidas energéticas. Destacamos que el 9,6% de los encuestados admiten presentar efectos adversos pasadas unas horas de la ingesta

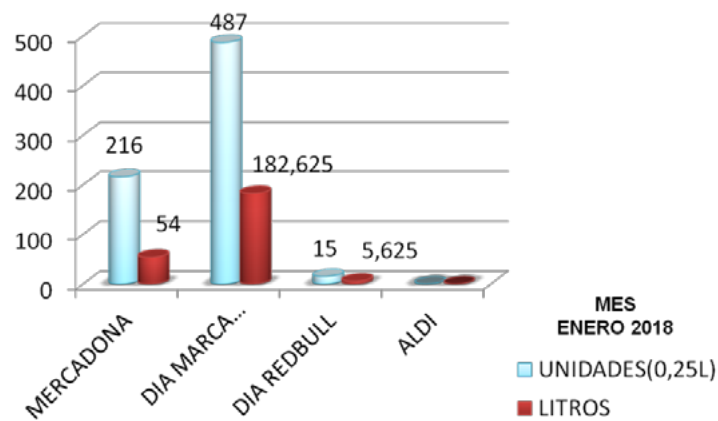


de bebidas energéticas. Los más evidenciados entre nuestros encuestados son: “Insomnio”, “Dolor de cabeza” y “Ansiedad”, muy seguido de “Taquicardias”.

### 5.3. ESTUDIO DE CAMPO

Concluiremos nuestro análisis de resultados con el estudio de campo (Fig.5). Comenzamos con MERCADONA, cabe decir que agrupa las que 5 marcas que comercializa, sin distinguir entre propias y marcas reconocidas, suponiendo un total de aproximadamente 54L vendidos en el mes de enero de 2018.

Figura 05



Por otro lugar, es apabullante comprobar el nivel de ventas de DÍA en cuanto a su Marca Blanca, respecto a RedBull, pues es superada en 175 L en dicho mes. Las diferencias en la composición de ambas bebidas no distan mucho.

Sin embargo, donde sí encontramos una acusada diferencia entre ellas es en el precio, de 0,91€, siendo más asequible la marca blanca, más vendida.

## 6. CONCLUSIONES

- La ingesta de bebidas energéticas aumenta el nivel de glucosa en sangre de nuestros sujetos estudiados.
- Más del 50% de los encuestados que admiten desconocer por completo la composición de las bebidas energéticas, sí las ingiere pese a su total desconocimiento.
- Cerca del 10% de los encuestados presentan efectos adversos tras la ingesta de bebidas energéticas.
- La venta de estas bebidas está generalizada ya que pueden encontrarse en cualquier establecimiento.



## 7. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Chatterjee, I. B., Chatterjee, G. C., Ghosh, N. C., Ghosh, J. J., & Guha, B. C. (1960, August). Biological synthesis of L-ascorbic acid in animal tissues: conversion of D-glucuronolactone and L-gulonolactone into L-ascorbic acid. Retrieved November 15, 2017, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1204705/>
- World Health Organization. (n.d.). Alimentación sana. Retrieved October 30, 2017, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs394/es/>
- Nicolás, J. (2014, November 14). Bebidas energéticas, deporte... y salud. Retrieved May 25, 2019, from <https://scientiablog.com/2014/11/11/bebidas-energeticas-deporte-y-salud/>
- Editorial, E. (2018, July 28). Química de las bebidas energéticas y sus efectos. Retrieved May 6, 2017, from <https://iquimicas.com/quimica-de-las-bebidas-energeticas-y-sus-efectos/>
- Rodriguez, R. C., Ciria, M. D., & Sala, M. F. (1987). Bases de la medicina interna: etiología, fisiopatología y semiología (6th ed.). Barcelona (Spain): Toray
- Marieb, E. N. (2012). Anatomía y fisiología humana (9th ed.). Madrid (Spain): Pearson Addison Wesley
- Aguilar O. M., Galvis-Pedrosa C. F., Heredia-Mauera H. A., Restepo-Pinzón A. (2008) Efecto de las bebidas energizantes con base de taurina y cafeína sobre la atención sostenida y selectiva entre un grupo de jóvenes entre 18 y 22 años. *Revista Iberoamericana de Psicología: Ciencia y tecnología* (1): 73-85
- Botella, J. (2000) Algunos problemas metodológicos en el estudio de la atención selectiva. Universidad Autónoma de Madrid. *Psicothema Volumen* (12), pp. 91-94
- Castellanos R. A, Rossana M. R, Frazer, G.G. (2006) Efectos fisiológicos de las bebidas energizantes. *Revisión Facultad de Ciencia médica*
- González Ramírez, A.M. (2012) ¿De qué se componen las bebidas energéticas? ¿Son realmente negativas para el organismo? *MoleQla, Revista de Química de la Universidad Pablo de Olavide*, Volumen (7)
- Melgarejo, M. (2004) El verdadero poder de las bebidas energéticas. *Revista Énfasis Alimentación*, Volumen (6)





# Diseño y construcción de un túnel aerodinámico para la visualización del flujo alrededor de objetos y la comparación de estos con dinámica de fluidos computacional

---

/ TERCER PREMIO

**AUTORES** | CARLOS ESTEBAN NAVARRO Y CARLOS BELLANCO ORTIZ

**COORDINADOR** | SERGI BONET MARTÍNEZ

**CENTRO** | ESCOLA MARE DE DÉU DE LA SALUT

**CIUDAD** | SABADELL-BARCELONA

## RESUMEN |

El trabajo consiste en la construcción de un túnel de viento donde poder analizar a escala pequeña las diferentes interacciones entre el flujo y objetos sólidos para hacer la comparación con resultados teóricos obtenidos con un programa de CFD (Computational Fluid Dynamics) para, así, poder probar la veracidad de los resultados obtenidos en el túnel de viento, y, consecuentemente, la fiabilidad de éste.

## ABSTRACT |

The project consists in the construction of a wind tunnel, where we can analyze on a small scale the different interactions between the fluid and some solid objects. This will allow us to make a comparison with theoretical results obtained with a CFD program (Computational Fluid Dynamics) and, therefore, be able to test the veracity of the results obtained in the wind tunnel and, consequently, the reliability of it.



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin la ayuda de varias personas. Es por eso por lo que agradezco primero de todo a Sergi Bonet, por dirigir nuestro trabajo de una manera excelente y por aportar ideas cuando surgían dificultades. También, agradecer el apoyo de Juan Ignacio Córcoles, profesor de mecánica de fluidos de la UCLM (Universidad de Castilla la Mancha), por ayudarme a la hora de entender la mecánica de fluidos, y a “Espai Creactiu”, por ayudarme con los diseños del túnel de viento e imprimir las diferentes piezas que forman el túnel.

## INTRODUCCIÓN

Se conoce como aerodinámica a la parte de la mecánica que estudia el movimiento de los gases sobre los cuerpos estacionados y el comportamiento de los cuerpos que se mueven por el aire. Nuestro trabajo consiste primero en construir un túnel de viento donde, posteriormente, poder analizar las diferentes interacciones entre el gas y el objeto sólido para compararlas con resultados teóricos obtenidos con un programa de CFD (Computational Fluid Dynamics) y, así, probar la veracidad de los resultados obtenidos en el túnel.

Al finalizar bachillerato me gustaría estudiar o bien ingeniería informática o bien ingeniería aeroespacial y este trabajo me pareció la mejor forma de poner un pie en la carrera ya que por una parte se estudia mecánica de fluidos y por otro se lleva esto a una fase computacional, lo cual hace que este trabajo toque aspectos de ambos campos del conocimiento.

Antes de empezar el trabajo, mi conocimiento en la mecánica de fluidos era prácticamente nulo, entonces antes de todo tuve que aprender las bases de esta parte de la mecánica para poder entender los resultados obtenidos y poder hacer un análisis detallado del comportamiento del fluido alrededor del objeto. También, tuve que aprender cómo funcionan los programas de CFD de forma básica ya que estos son de alta complejidad.

El trabajo se divide en tres grandes partes: la construcción del túnel de viento, la obtención de resultados teóricos por ordenador y la posterior comparación de estos con los resultados prácticos obtenidos en el túnel.

La metodología utilizada para la construcción del túnel de viento es la estándar en un trabajo tecnológico: identificación de la necesidad, que es poder realizar análisis aerodinámicos con facilidad, diseño del túnel y finalmente la construcción del túnel basándose en los diseños realizados. Para obtener los resultados teóricos por ordenador se utiliza un programa de CFD, en nuestro caso este se llama *ANSYS Student Discovery Live*, que analiza la aerodinámica de cualquier objeto en 3D que se importe en el programa dadas unas condiciones iniciales invariables. Finalmente, para poder unir las dos partes del trabajo se realiza





una comparación entre los resultados teóricos y los prácticos, así que primero se tienen que obtener estos últimos mediante la grabación de dos videos de cada objeto en cada posición que se quiere estudiar (uno en cámara lenta y otro normal) con una cámara de buena resolución, en este caso la de un iPhone 6 Plus. Para poder visualizar el flujo aerodinámico con facilidad el túnel debe tener una buena iluminación y la cámara tiene que estar a la misma altura que el objeto estudiado ya que esto hace que la superficie estudiada sea un plano, lo que simplifica la comparación de los objetos. Una vez obtenidos los resultados prácticos y teóricos de cada objeto se comparan las imágenes, se buscan diferencias y se explican los fenómenos aerodinámicos.

## ESTADO DE LA CUESTIÓN

La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos que se ocupa del movimiento del aire y otros fluidos gaseosos, y de las fuerzas que actúan sobre los cuerpos que se mueven en dichos fluidos. Y la mecánica de fluidos es la rama de la mecánica de medios continuos, y por lo tanto, rama de la física, que estudia el movimiento de fluidos, (tanto gaseosos como líquidos) y de las fuerzas que lo provocan.

**Perfil alar:** Se entiende por perfil alar o perfil aerodinámico, a la forma del área transversal de un elemento, que al desplazarse a través del aire es capaz de crear a su alrededor una distribución de presiones que genere sustentación.

**Capa límite, flujo laminar y flujo turbulento:** Para saber que es la capa límite, primero hay que saber lo que significa el concepto de líneas de corriente. Las líneas de corriente son curvas imaginarias dibujadas a través de un fluido en movimiento y que indican la dirección de este en los diversos puntos del fluido. Entonces, con las líneas de corriente surge el concepto de capa límite, que es donde tienen lugar una parte importante de los fenómenos que generan las fuerzas aerodinámicas. La capa límite es la zona existente alrededor de un cuerpo que se desplaza por un fluido, en la cual la velocidad del fluido respecto al cuerpo varía desde cero hasta el 99% de la velocidad de la corriente exterior. Esto se debe a que el aire viaja a una cierta velocidad y en el inicio del movimiento alrededor del ala, este aire que se encuentra libre, pasa inmediatamente a estar en contacto con el perfil alar, y a tener una velocidad nula debido a la condición de adherencia. Además de esto, el espesor de la capa límite en la zona del borde de ataque es pequeño, pero aumenta a lo largo de la superficie.

En la capa límite, el flujo puede ser laminar o turbulento, los cuales tienen características diferentes.

- Flujo laminar: este flujo se caracteriza porque el movimiento de las partículas del fluido se produce siguiendo trayectorias bastante regulares, separadas y perfectamente definidas
- Flujo turbulento: este otro flujo se caracteriza por el movimiento caótico de



las partículas, donde estas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos.

En el proceso de desprendimiento de la capa límite, el flujo pasa de laminar a turbulento. Pero este proceso no se hace de manera instantánea, sino que entre-medio se produce lo que se conoce como zona de transición, en donde se pasa del flujo laminar al flujo turbulento.

**Túnel aerodinámico:** El túnel aerodinámico o, más comúnmente llamado túnel de viento, es un instrumento científico-tecnológico cuya aplicación es la generación de una corriente fluida de propiedades conocidas para la medida de las acciones del viento sobre obstáculos de muy diversa naturaleza, y para el estudio de los fenómenos físicos en los que el aire en movimiento juega un papel dominante. Los objetos que se suelen estudiar son edificios, automóviles, aviones, cascos, y cualquier otra cosa más. Generalmente se utilizan maquetas a escala, ya que, por ejemplo, es muy costoso disponer de un túnel de viento donde quepa un avión a escala real. Pero esto tiene un inconveniente, y es que el tamaño de la maqueta influye en los resultados del ensayo, y por lo tanto, cuanto más grande sea la maqueta y más parecida al objeto real, mejores serán los resultados del ensayo.

Por lo tanto, el túnel aerodinámico permite estudiar el movimiento relativo entre el objeto y el aire. Por lo que los ingenieros utilizan esta herramienta para obtener datos de presiones, fuerzas, información de la capa límite, y también para poder visualizar las líneas de corriente alrededor de un objeto.

**Dinámica de fluidos computacional:** La dinámica de fluidos computacional es una rama de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y estructuras de datos para resolver y analizar problemas sobre el flujo de fluidos. Para esto se utilizan ordenadores que realizan los cálculos necesarios para simular la interacción de líquidos y gases con superficies definidas por condiciones de frontera o contorno. Estos cálculos son más precisos y rápidos si se utilizan superordenadores para realizarlos, pero, debido a la complejidad del tema, estos resultados son solo aproximaciones.

## OBJETIVOS

Este trabajo tecnológico tiene unos objetivos, los cuales se tienen que conseguir realizar, y al finalizar el trabajo se analizará si se han cumplido o no, sacando unas conclusiones de lo que se haya obtenido.

El objetivo principal de este trabajo es construir un túnel de viento, el cual reúna las siguientes características:

- Fácil y barato de construir
- Fácil de transportar



- Útil en el ámbito de la investigación y la enseñanza, tanto en institutos y como en universidades
- Poder observar el efecto del aire al incidir en objetos, así como visualizar la capa límite y el punto de desprendimiento
- Fiable a la hora de extraer conclusiones de la experimentación

A raíz de este objetivo principal de construir el túnel de viento, surgen otros objetivos, con tal de saber si el túnel de viento funciona, y si es fiable a la hora de llegar a unas conclusiones después de realizar un experimento. Estos objetivos son los siguientes:

- Hacer pruebas en el túnel de viento con un perfil alar y con distintos cuerpos geométricos, para ver en cada uno el comportamiento de la capa límite
- Realizar simulaciones de estos mismos objetos con un programa de dinámica de fluidos computacional (DFC)
- Observar las semejanzas y las diferencias del comportamiento de la capa límite en pruebas experimentales y en simulaciones teóricas
- Comparar los vídeos e imágenes de los diferentes objetos estudiados en el túnel de viento con las respectivas simulaciones teóricas realizadas con un programa informático.

## METODOLOGÍA

**Materiales:** Metacrilato transparente y negro, leds, cartulinas negras, madera, pajitas, tubos y accesorios de PVC, aspirador, máquina de humo, ventilador y varillas roscadas.

**Diseño:** Antes de construir el túnel, se realizan los diseños 2D y 3D. El diseño 2D se ha hecho con el programa *LayOut2018*, y el diseño 3D con el programa *SketchUp2018*. Los diferentes componentes del túnel de viento son; ventilador (V), máquina de humo (M), tubo de PVC, malla acondicionadora de flujo, cámara de ensayos y aspirador (A).

**Procedimiento de construcción:** Para construir el túnel de viento se han seguido bastantes pasos, y a medida que se iba construyendo el túnel se iban realizando diferentes pruebas experimentales, para saber si se avanzaba o no por el buen camino. En más de una ocasión se ha tenido que alguna parte del túnel para conseguir que las líneas de corriente se vieran mejor. A continuación, se mencionan los pasos más importantes y los errores que se han ido superando mientras se construía el túnel.

Primero de todo, la cámara de ensayos está constituida por diferentes piezas de metacrilato, encajadas entre ellas como si fueran piezas de puzle, y enganchadas con silicona para darle más firmeza a la estructura. Estas piezas de me-



tacrilato de han cortado con una máquina de corte láser. Destacar también que en la cámara de ensayos hay bastantes luces led para poder visualizar mejor el humo. Entonces, en un lado de la cámara de ensayos se colocó un ventilador, y en el otro la máquina de humo y la malla acondicionadora de flujo, que era una madera de 5 cm de grosor, con 64 orificios, para convertir el aire turbulento en laminar. Pero después de hacer una prueba experimental, se decidió cambiar muchos aspectos del túnel, ya que no se conseguía diferenciar las diferentes líneas de corriente, y las turbulentas.

Entonces, se pensó en mejorar la malla acondicionadora de flujo y todo el sistema por donde pasaba el flujo. Por eso, se decidió poner cuatro pajitas de 15 cm de longitud y 8 mm de diámetro, para darle más forma al humo y saliera más laminar. Pero después de hacer una prueba, se observó que el humo no salía con suficiente fuerza, por lo que se decidió de poner un tubo de PVC de un metro de longitud con la finalidad de canalizar más el humo. Además de esto, se puso un pequeño ventilador dentro del tubo de PVC para impulsar un poco más al humo, y que llegara con suficiente fuerza a la cámara de ensayos, pasando por la malla acondicionadora de flujo.

Además de esto, también se mejoró el sistema de aspiración del humo, debido a que al principio de todo se utilizaba un extractor para absorber el humo, pero este lo que hacía era producir turbulencias extras, cosa que perjudicaba a los resultados. Por lo tanto, se decidió poner un aspirador, para que en vez de absorber el humo lo succionara, y así no producía turbulencias. También, se hace un soporte con varillas roscadas para sujetar en el aire los objetos a estudiar, y así el humo puede pasar tanto por la parte superior del objeto como por la parte inferior.

Figura 01

Túnel aerodinámico  
construido.  
Fuente: Propia.



**Realización simulaciones:** Antes de empezar con las simulaciones se tienen que crear figuras cuyas medidas son prácticamente iguales a las reales, para así minimizar la diferencia entre el túnel de viento y las simulaciones.

Una vez se dispone de las medidas, las figuras se crean con el programa *3D Builder* y se tienen que guardar con el formato “stl” para poder así importarlas al programa donde, posteriormente, se realizan las simulaciones.



El programa que se utiliza para realizar las simulaciones es el *ANSYS Student Discovery Live*, un programa de CFD ideal para principiantes en este tema dada su sencillez a la hora de realizar las simulaciones.

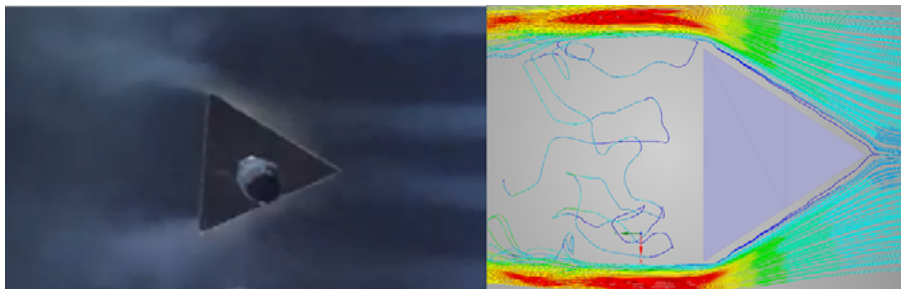
Una vez se abre el programa te da la opción de simular directamente varias situaciones donde estudiar el comportamiento del fluido. Se elige *Wind tunnel* o túnel de viento y se elige la figura guardada anteriormente en cualquier formato que acepte formas en 3D (3MF, STL, OBJ, PLY, GLTF, GLB), en este caso, en formato STL. Una vez abierto el archivo elegido, en el programa aparece se clicla en *Create Solution* y se elige desde donde se quiere lanzar el fluido, en este caso, se elige el lado izquierdo. El resultado, después de elegir la configuración deseada, es el que se puede ver en los resultados de las simulaciones teóricas También se puede elegir la velocidad del fluido en la parte izquierda en *Flow Velocity* para adaptar la simulación a las condiciones dadas en el túnel de viento.

## RESULTADOS

Para obtener unos resultados fiables, se ha realizado la comparación entre simulaciones teóricas y pruebas experimentales con bastantes formas geométricas diferentes y también, con un perfil alar con diferentes ángulos de inclinación. En la ilustración 2, se puede observar un ejemplo de todos los resultados obtenidos. En este caso, es un prisma triangular, en el que tanto en la imagen de la izquierda (prueba experimental realizada en el túnel de viento) como en la de la derecha (simulación teórica realizada con un programa que se llama *ANSYS Student Discovery Live*) se observa que el punto de desprendimiento de la capa límite coincide, así como también coincide el vacío que se forma detrás del objeto.

Figura 02

Comparación prueba experimental-simulación teórica del prisma triangular.  
Fuente: Propia.



Aparte de comparar las simulaciones teóricas con las pruebas experimentales, también se ha introducido en el túnel de viento un coche de juguete, para así poder visualizar lo que pasa cuando un coche se mueve a través del aire, y el efecto que tiene el alerón trasero a la hora de separar el aire del coche, y así poderse agarrar mejor al suelo y poder ir a más velocidad. Las imágenes de la prueba experimental del coche son las imágenes 3.



Figura 03

Prueba experimental  
automóvil.



### CONCLUSIONES

A partir de los objetivos establecidos al principio del trabajo, y después de llevar a cabo un diseño tecnológico, se ha obtenido un producto, un túnel aerodinámico. Este producto diseñado y construido tiene unas características, las cuales la mayoría se ajustan a lo establecido en los objetivos, y algunas otras no.

Primero de todo, el túnel de viento reúne características preestablecidas, como, por ejemplo, que es fácil de construir y fácil de transportar por piezas en coche. También, que es útil en el ámbito de la investigación y la enseñanza, y se puede observar el efecto del aire al incidir en objetos, así como visualizar el desprendimiento de la capa límite. A parte de estas características, hay una que no se ajusta a lo que se deseaba, y es que construir el túnel ha salido bastante caro, ya que nos hicimos una idea de no gastar más de 100 euros, y, el material necesario para construirlo ha costado 230 euros. Por lo tanto, el objetivo principal del trabajo que era construir un túnel de viento que cumpliera las características anteriores, se ha cumplido con gran satisfacción.

A raíz de este objetivo principal, surgen otros objetivos más experimentales, científicos, con la finalidad de implementar el producto construido, y darle validez. Estos objetivos se basan en realizar pruebas experimentales en el túnel aerodinámico con diferentes objetos, realizar simulaciones teóricas con un programa DFC, y comparar los resultados entre pruebas experimentales y simulaciones teóricas. Estos, se han efectuado con creces, ya que las simulaciones teóricas y las pruebas experimentales en el túnel de viento se han realizado perfectamente. En cambio, a la hora de hacer la comparación, no ha salido del todo bien, porque, en algunas de las formas geométricas, las cuales eran más detalladas, más precisas, se observaban bastantes diferencias entre las pruebas experimentales y las simulaciones teóricas. Aun así, en la mayoría de los objetos estudiados la comparación ha salido bastante bien.

Después de haber construido un túnel de viento y haber realizado una gran implementación, se puede concluir que se ha diseñado y construido un túnel aerodinámico que reúne las características deseadas, y, que es fiable para poder llevar a cabo experimentos relacionados con la visualización del flujo alrededor de objetos, tanto a nivel de investigación como a nivel de enseñanza.



## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

- Anderson, J. (1995). *Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications*. Nueva York: Mc-Graw Hill.
- Anderson, J. (2001). *Fundamentals of Aerodynamics*. Nueva York: Mc-Graw Hill.
- Barlow, J., Rae, W. & Pope, A. (1999). *Low-Speed wind tunnel testing*. Canadá: John Wiley & Sons.
- Çengel, Y. & Cimbala, J. (2004). *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. Mc-Graw Hill.
- Tipler, P. & Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología*. Nueva York: Editorial Reverté.

### ARTÍCULOS

- Barba, S. (2016, enero). *El túnel de vent com eina d'assaig aerodinàmic*, 114.
- Bazán, D. (2013, febrero). *Perfiles aerodinámicos: familias y tipos*. Instituto Politécnico Nacional, 14.
- Bertran, F. (2009, mayo 28). *Estudi comparatiu de les prestacions aerodinàmiques d'un aleró d'un automòbil de competició Formula 1 (F-1)*, 78
- Botella, M. (2013). *Uso del cálculo numérico CFD para el estudio de actuaciones de una motocicleta de competición*. Universidad Politécnica de Madrid, 173.
- Chicas, F. (2012, mayo). *Diseño y construcción de un túnel de viento*, 170.
- Sadraey, M. (2012). *Wing Design*. Daniel Webster College, 5, 109.

### SITIOS WEB

- (2010). *Túneles de viento (I)*. Julio 5, 2018.  
Sitio web: <https://www.f1aldia.com/10650/tuneles-de-viento-i>
- (2010). *Túneles de viento (II)*. Julio 5, 2018.  
Sitio web: <https://www.f1aldia.com/10680/tuneles-de-viento-ii>
- Esteban, S. & Gavilán, F. (2009). *Aeronaves y vehículos espaciales*. Julio 20, 2018, de Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla.  
Sitio web: [http://aero.us.es/AVE/archivos/Y0910/Tema4\\_parte1\(WEB\).pdf](http://aero.us.es/AVE/archivos/Y0910/Tema4_parte1(WEB).pdf)
- Hall, N. (2015). *Aerodynamics*. Junio 15, 2018, de National Aeronautics and Space Administration. Sitio web: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/short.html>







## Generating success – ecomochila

---

/ PREMIO ESPECIAL DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**AUTORES** | SERGIO BRAVO RODRÍGUEZ Y MARCOS JÁTIVA MUÑOZ

**COORDINADORA** | MARÍA JOSÉ GARCÍA QUIJANO

**CENTRO** | COLEGIO FILIPENSE SAGRADO CORAZÓN DE JESÚS

**CIUDAD** | ALCALÁ DE HENARES-MADRID

### RESUMEN |

Como contribución al desarrollo sostenible proponemos un nuevo diseño de mochila con ruedas que aprovecha fuentes de energía renovables al alcance de cualquier persona, como la temperatura y el movimiento, que no son generalmente utilizadas, para cargar dispositivos móviles. Para ello se combina una dinamo con dos placas peltier que, instaladas en el asa de la mochila, generan electricidad gracias al gradiente de temperatura entre las manos calientes y el interior del metal. También se conectaron dos pequeñas placas solares sobre la mochila, para aprovechar todas las formas de energía disponibles. En conclusión, nuestra investigación busca formas creativas, al mismo tiempo que eficientes, para transformar estas energías desaprovechadas en electricidad utilizable.

### ABSTRACT |

As a contribution to sustainable development, this report describes the design for a new backpack with wheels that uses renewable energy sources within the reach of anyone, such as temperature and movement. These energy sources, which are not commonly harvested, are used for charging mobile devices. In order to achieve this objective, a dynamo is combined with two peltier plates that, installed in the handle of the backpack, generate electricity thanks to the temperature gradient between the hot hands and the interior of the metal. Two small solar panels were also connected to the backpack, to take advantage of all available energy sources. In conclusion, our research looks for innovative and creative ways to transform these wasted energy sources into usable electricity.



## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas principales al que nos enfrentamos actualmente es el cambio climático acelerado. Adaptarnos al cambio global exige que encontremos alternativas sostenibles a nuestro estilo de vida. Por ello, es muy importante que pongamos nuestro talento y esfuerzo al servicio de este problema, que puede que determine nuestra supervivencia.

Como contribución al desarrollo sostenible proponemos un nuevo diseño de mochila con ruedas que aprovecha fuentes de energía al alcance de cualquiera, como la temperatura y el movimiento. Pensamos que es importante desarrollar soluciones que aprovechen fuentes de energía renovables para cubrir la demanda de electricidad a todos los niveles. Nosotros, como alumnos de E.S.O. lo hemos aplicado principalmente a cargar el móvil, pero es una solución que se puede extrapolar a otros usos - desde cargar patinetes eléctricos, hasta aprovechar el calor que puedes generar durmiendo sobre tu colchón -. En resumen, buscamos formas creativas, al mismo tiempo que eficientes para transformar estas energías desaprovechadas en electricidad utilizable.

## ANTECEDENTES

### ENERGÍA ELÉCTRICA

En la actualidad uno de los recursos más valiosos es la electricidad. Ésta, puede ser transportada, para ser aprovechada mediante diferentes receptores. Por ello, la energía eléctrica es la sangre que mantiene nuestra economía.

La energía eléctrica se obtiene a partir de varias fuentes. La mayor parte de la electricidad generada se obtiene de plantas nucleares y eólicas, mientras la producción en plantas de ciclo combinado ha disminuido de forma importante en la última década.

### GENERACIÓN DE CORRIENTE CONTINUA MEDIANTE DINAMOS

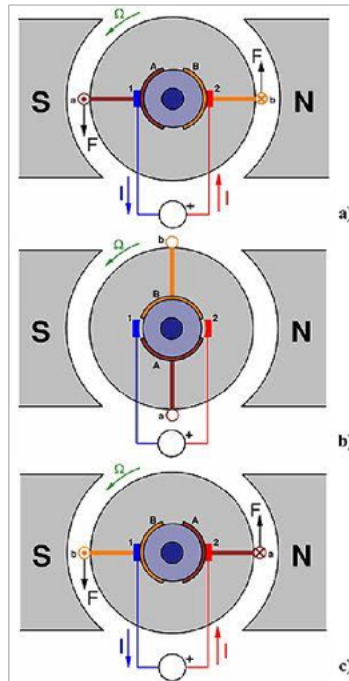
Una dinamo es un tipo de generador cuya finalidad es transformar la energía mecánica en corriente directa a partir del uso de campos magnéticos. Las dinamos se componen de un imán exterior que actúa como inductor, y un rotor compuesto por espiras metálicas, donde se induce corriente continua. Las dinamos no son usadas en la generación eléctrica a nivel industrial, pues la corriente continua que generan sufriría muchas pérdidas durante su transporte. Sin embargo, el mismo diseño de las dinamos se aplica a los motores eléctricos de corriente continua (Figura 1). Estos motores se pueden usar para generar electricidad. El fundamento de esos usos de las dinamos (el aprovechamiento in situ de un movimiento) podría aplicarse a las ruedas de una mochila escolar.



En conclusión, consideramos que nuestra propuesta es factible, ya que existen aplicaciones similares de la dinamo para generar electricidad a partir del movimiento. Pero, al mismo tiempo, es una propuesta novedosa, pues no se encuentran mochilas con este sistema, y potencialmente sería muy útil para la población escolar.

Figura 01

Motor eléctrico.  
 Autor: Miguel Angel  
 Rodríguez Pozueta. 2010  
 Atribución 3.0.  
 Licencia:  
 Creative Commons.



### GENERACIÓN DE CORRIENTE CONTINUA MEDIANTE PLACAS PELTIER

Una placa o célula peltier funciona gracias al efecto termoeléctrico que se genera en los termopares, o uniones de diferentes metales. Gracias a estos descubrimientos, se obtienen placas de pequeño tamaño y bajo coste capaz de funcionar y mantener su rendimiento durante 20 años.

### EFFECTO SEEBECK:

Thomas J. Seebeck descubrió en 1821 que si unimos una lámina de cobre y una de bismuto en un circuito cerrado, al calentar una de las láminas, se producía magnetismo. Aunque Seebeck no supo explicar correctamente el motivo, a posteriori se encontró que era debido a la generación de una corriente eléctrica en el termopar (Rof, 2015). Para que se produzca este efecto basta con que tengamos dos conductores distintos que se encuentren a diferente temperatura para que se genere una diferencia de potencial, producida por la naturaleza de ambos conductores. Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre ambas caras de la placa, mayor será la diferencia de potencial generada.



### EFFECTO PELTIER:

Jean C. A. Peltier tras investigar a fondo el efecto Seebeck, descubrió que era reversible. Esto es, observó que al aplicar una corriente eléctrica al termopar se producía una diferencia en sus temperaturas. Este efecto peltier es ampliamente aplicado en la actualidad para disipación de calor en componentes electrónicos, como en microprocesadores de ordenadores, y domésticos, como neveras eléctricas portátiles.

El funcionamiento de una placa Peltier como generador de corriente eléctrica se explica mediante la siguiente ecuación (McCormick School of Engineering, 2019):

$$V = \alpha \Delta T - IR$$

V : Diferencia de potencial que se genera.

$\alpha$ : coeficiente de Seebeck

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura que se aplica.

I: Intensidad de la corriente generada.

R: Resistencia interna de la placa.

Analizando esta ecuación resulta evidente que cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas entre los lados de la placa, mayor será la corriente generada.

## METODOLOGÍA

### HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Buscábamos crear algo que mejorase nuestra vida cotidiana y protegiera el medio ambiente, promoviendo el desarrollo sostenible. Deseábamos producir una energía limpia y accesible que haga nuestro estilo de vida más sostenible. La solución eran nuestras mochilas.

### ¿CÓMO MODIFICAR UNA MOCHILA ESCOLAR PARA QUE GENERE Y ALMACENE ENERGÍA ELÉCTRICA?

La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Esto nos hizo pensar en la existencia de algún mecanismo capaz de transformar la energía del movimiento de las ruedas en energía eléctrica. Encontramos otros medios de producir electricidad: Las placas Peltier, y las placas solares.

Inmediatamente nos animamos a incorporarlas al prototipo.



Figura 02

Fila a la salida de alumnos de nuestro centro escolar.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Generadores

- (1) Motor eléctrico reversible FisherTechnic de 2V DC: 2,8 €
- (2) Células Peltier tipo TEC1-12726 de 400 W: 6,4 €
- (2) placas solares de 1V y 440mA: 2 €

### Circuitos integrados

- (1) Módulo Controlador de Carga TP4056 input 5V 1A a batería de Litio 4,2V: 1,5€ - (1) Módulo elevador TECNOIOT, input 0.9V-5V DC, output 5V DC: 1,8 €

### Acumulador

- (1) 3.7V 500mAh Batería de Li-po: 5,99 €
- Otros fungibles
- (1) Cables: 0€ (reciclados)
- (1) Polea y correa de transmisión Fisher Technic: 2 €
- (1) Carrito para mochila: 11, 82 €
- (1) tubo de espuma aislante EPE: 1 €

### Materiales Inventariables

- Termómetro infrarrojo, polímetro y soldador de lápiz

## PROCEDIMIENTO

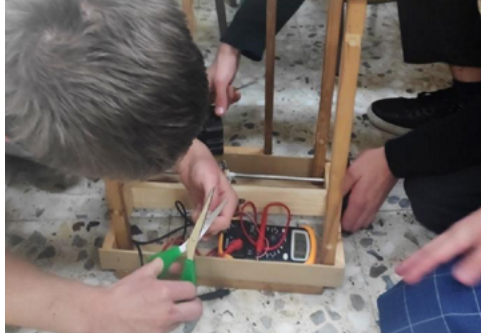
### PRIMER PROTOTIPO DE ECOMOCHILA

Usando listones de madera y una placa de PVC transparente como base construimos la primera Ecomochila: Dimóvil. Fuimos capaces de generar voltaje con la dinamo, pero nuestras medidas con el polímetro mostraban dos proble-



mas: (1) El voltaje generado por la dinamo no llegaba a los 5 voltios; (2) Sólo se generaba electricidad cuando la mochila rodaba. Por ello decidimos explorar fuentes alternativas para generar más voltaje.

Figura 03



### SEGUNDO PROTOTIPO DE ECOMOCHILA

Realizamos una nueva versión, con las siguientes características:

- Usa un carrito estándar de mochila.
- Incluye un motor eléctrico reversible, usado como dinamo, y una polea en la rueda. Por su mayor diámetro, con cada giro de las ruedas se genera más tensión que en la versión 1, donde se empleaba el eje de las ruedas.
  - El asa está recubierta de espuma de poliuretano, que aparte de ser un buen aislante térmico, cobija en su interior una pequeña bolsa de gel refrigerante sobre la que se colocan las placas Peltier. Estas últimas están en contacto con la mano al agarrar el asa, a través de una abertura en la espuma.
  - Sobre la mochila se han instalado dos placas solares, como fuente de energía alternativa.

### EVALUACIÓN PLACAS PELTIER

Localizamos un componente nuevo para nosotros, la placa Peltier. Esta placa puede invertir su uso y generar voltaje a partir de un gradiente de temperatura. Pensamos que sería interesante explorar su incorporación a la mochila para aprovechar el calor de las manos.

#### **Polaridad de las placas:**

Las placas Peltier vienen con dos cables de conexión. Uno rojo, que indica el ánodo, y uno negro, que corresponde al cátodo. Comenzamos por determinar qué lado de la placa generaba calor y cuál frío, marcando con una "F" el lado frío y con una "C" el caliente. Colocamos el lado marcado "F" en contacto con una bolsa de gel refrigerante y el lado marcado "C" contra la palma de la mano.



## Medición del voltaje de las placas Peltier en función de su configuración

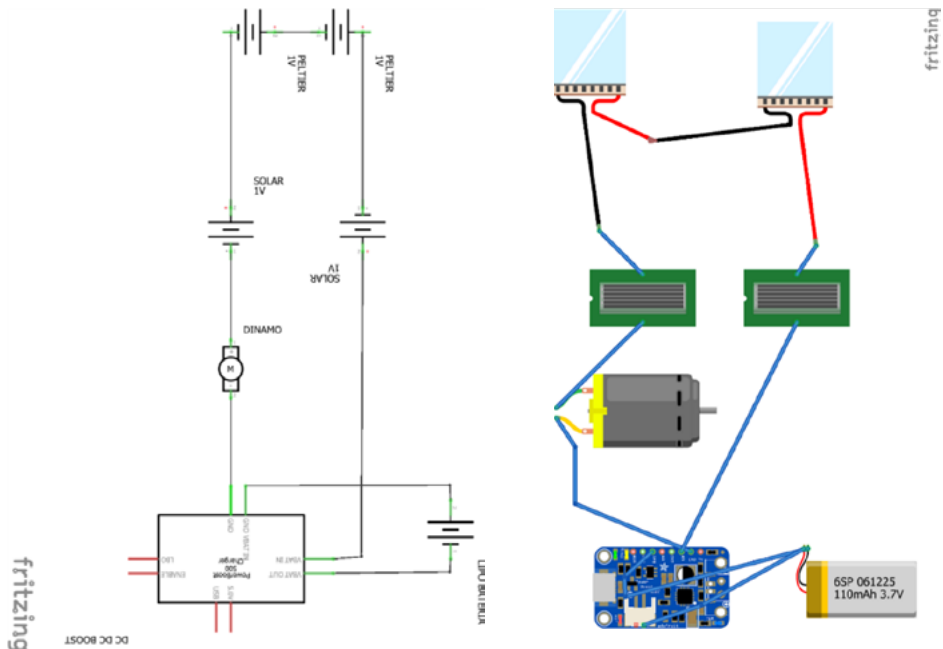
Primero medimos una placa por separado, apoyándola en una bolsa de gel y apretando contra la palma de la mano, mientras medimos el voltaje producido. Posteriormente, se decidió montar dos placas juntas. De esta forma se aprovecha todo el espacio ocupado por la palma de una mano. Se comparó su rendimiento conectadas en serie y en paralelo. Las medidas de voltaje fueron mayores cuando conectamos las dos placas en serie.

### DISEÑO DEL CIRCUITO PROPUESTO

El objetivo del circuito es generar una tensión de salida de 5 voltios, adecuado para conectar dispositivos móviles. Cada uno de los generadores empleados, basados en energías alternativas y renovables, quedaba muy por debajo de esos 5 voltios requeridos y tras comprobar que las conexiones en serie realmente aumentan el voltaje final, decidimos unir los componentes en serie.

Tras analizar el trabajo de Reddy (2014), entre otros proyectos “*maker*”, determinamos que sería útil utilizar un módulo elevador de corriente, que admite voltajes desde 0,9 V y los eleva hasta 5 voltios. Además, este módulo incorpora un puerto USB, lo que lo convierte en un elemento ideal para el objetivo propuesto de cargar dispositivos móviles.

Figura 04  
Circuito eléctrico en forma de diagrama y componentes.





Por último, se incluye un acumulador, para aquellos momentos en los que no se está cargando ningún móvil, pero se está recibiendo energía: Bien a través de las placas solares, bien porque existe una diferencia de temperatura suficiente para las placas Peltier, o bien porque estamos moviendo la mochila. Este acumulador emplea un módulo integrado TP4056 y una batería de polímero de litio (LiPo). El módulo TP4056 actúa como control de carga, para impedir sobrecargar la batería de Litio, lo que podría provocar explosiones o incendios. TP4056 corta la carga cuando detecta que la temperatura es demasiado alta, o cuando detecta que la batería se ha terminado de cargar. Tiene un cargador mini-USB, por lo que puede conectarse con seguridad a la salida del módulo elevador, usando un cable de cargador normal. Estas conexiones las hemos representado, en forma de diagrama y esquema eléctrico utilizando el software para diseño de circuitos Fritzing.

### CONEXIÓN Y SOLDADO DE LOS COMPONENTES

Durante las pruebas, las conexiones se hicieron mediante contacto directo y cinta aislante. Tras obtener resultados prometedores en estas mediciones preliminares, para el prototipo final se decidió soldar todos los componentes entre sí. De esta forma se favorece la estabilidad y durabilidad de las uniones.

### PRUEBA Y EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

El último paso en nuestro proceso de innovación tecnológica consistió en la prueba del prototipo. Para ello se empleó un cable cargador USB conectado al módulo elevador de tensión, y a éste se conectó un móvil para determinar si recibía carga. Al desplazar la mochila, se encendió el piloto de alimentación del módulo, así como la pantalla del móvil que se usó para la prueba. De manera que se puede concluir que logramos nuestro principal propósito, que era diseñar una fuente alternativa para cargar nuestros dispositivos sin depender de la red, aprovechando fuentes de energía alternativas y menos contaminantes.

Figura 05

Mochila ochila detenida y móvil sin recibircarga (izda.) y mochila en movimiento, piloto de carga y móvil cargándose (dcha.).







## RESULTADOS

Dentro de los resultados cuantitativos obtenidos durante nuestra investigación se incluye el voltaje generado por la dinamo en el prototipo final. Para un desplazamiento de la mochila de 2,25 m/s, que corresponde a una velocidad caminando de 8,1 Km/h, se obtuvo un voltaje de 1.40 V. También reseñamos los resultados de las pruebas que se realizaron con las placas peltier, para determinar la mejor configuración para las placas peltier. Usando la bolsa de gel refrigerado como fuente de frío a 0-1 °C, y como fuente de calor la palma de una mano, una placa peltier genera 0.14 voltios. Usando dos placas, en serie se midieron 0.350 voltios (Más que la suma de dos placas individuales, lo que puede deberse a que el gradiente de temperaturas fuera mayor tras estabilizarse el contacto de la placa con el tiempo). En paralelo se obtuvieron 0.170 voltios, de nuevo es mayor que el resultado obtenido con una única placa, lo que sugiere que nuestra explicación anterior puede ser válida.

A pesar de estos valores de tensión tan bajos, se logra una carga suficiente para alimentar un móvil a 5 voltios, lo que probablemente sea gracias a la utilización de un módulo elevador de voltaje.

## CONCLUSIONES

Demostramos, gracias a nuestro prototipo, que podemos ser capaces de cargar nuestros móviles sin sobrecargar la red doméstica y empleando recursos energéticos que no son generalmente aprovechados usando un dispositivo que hemos sido capaces de construir con un coste económico muy reducido.

El prototipo desarrollado es, además, **técnica y económicamente viable y transferible a prácticamente la totalidad de la población escolar española**, ya que las mochilas de ruedas son muy populares.



## Esferificaciones de lactasa como tratamiento para la intolerancia a la lactosa: Efectividad de la lactasa inmovilizada sobre dos variables: concentración de alginato de sodio y tiempo transcurrido

---

/ ACCESIT

**AUTOR** | JAVIER RODRÍGUEZ CASTELLÓ

**COORDINADOR** | RODRIGO FERNÁNDEZ PERIÁÑEZ

**CENTRO** | CC RETAMAR

**CIUDAD** | POZUELO DE ALARCÓN-MADRID

### RESUMEN |

El objetivo de este trabajo es estudiar dos factores que afectan a un tratamiento para la intolerancia a la lactosa basado en la capacidad enzimática de lactasa inmovilizada.

El primer factor es la relación entre la efectividad de la lactasa inmovilizada y la concentración del alginato de sodio, uno de los reactivos utilizados en la inmovilización. El segundo factor es la actividad de la lactasa inmovilizada respecto al tiempo transcurrido.

Basándonos en la teoría encontrada en diversos libros, tesis o artículos científicos, decidimos la línea metodológica a adoptar. Primero inmovilizamos la lactasa utilizando diversas concentraciones de alginato de sodio y medimos su actividad catalítica midiendo la glucosa producida en la hidrólisis de la lactosa. En segundo lugar, medimos la actividad enzimática de la enzima inmovilizada durante una semana para determinar la efectividad en el tiempo.

Los resultados nos indicaron una correlación positiva entre la actividad enzimática y la concentración de alginato de sodio, teniendo la mayor capacidad enzimática las lactasas inmovilizadas con 2% de alginato de sodio. Los resultados con la variable del tiempo transcurrido nos indicaron que la duración útil de las esferificaciones con nuestro método es de 4 días, aunque la efectividad se reduce de forma significativa con el paso del tiempo. Esta es una de las principales limitaciones de este método, por lo que sería conveniente seguir investigando para hallar un método que permita alargar la vida útil.



## ABSTRACT |

The objective of this work is to study two factors that affect a treatment for lactose intolerance based on the enzymatic capacity of immobilized lactase.

The first factor is the relationship between the effectiveness of immobilized lactase and the concentration of sodium alginate, one of the reagents used in the immobilization. The second factor is the effectiveness of immobilized lactase with respect to the time elapsed since its immobilization.

Based on theory found in various books, we decided the methodological line to adopt. First, we immobilized the lactase using different concentrations of sodium alginate and we measured its catalytic activity by measuring the glucose produced in the hydrolysis of the lactose. Secondly, we measured the enzymatic activity of the immobilized enzyme for a week to determine the enzymatic effectiveness over time

The results indicated a positive correlation between the enzymatic activity and the concentration of sodium alginate, having the highest enzymatic capacity the lactases immobilized with 2% sodium alginate. The results with the variable of the time elapsed indicated that the useful duration of the spherifications with our method is 4 days, although the effectiveness is significantly reduced with the passage of time This is one of the main limitations of this method, so it would be convenient to continue the research to find a method that allows to extend the useful time



## TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A pesar de que en España la intolerancia a la lactosa solo afecta a una minoría, la realidad es que 2/3 de la población mundial es intolerante a la lactosa. Esto es debido a una disminución de los niveles de lactasa tras la lactancia que se pueden producir tanto de forma natural (deficiencia primaria de lactasa) como de forma accidental (deficiencia secundaria de lactasa) (Deng, et al., 2015, pp 8020-8035). En cualquiera de los dos casos, los síntomas afectan gravemente al sistema digestivo (cólicos, distensión abdominal, diarrea, etc.)

Por esta razón, mi investigación busca desarrollar un método que facilite la ingesta de productos lácteos mediante el uso de lactasa inmovilizada, la cual permite eliminar la lactosa de los alimentos mediante su hidrólisis. De esta forma, los intolerantes a la lactosa pueden consumir productos lácteos y disfrutar de todos sus beneficios sin preocuparse por su intolerancia.

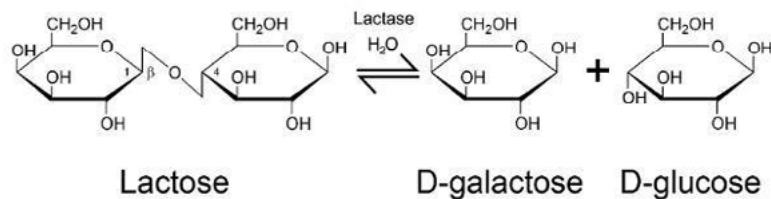
Para realizar esta investigación ha sido necesario un estudio de la lactasa y de los diferentes métodos para mejorar su acción.

La lactasa presenta una actividad metabólica basada en la ruptura del disacárido lactosa en sus componentes glucosa y galactosa, hidrolizando su enlace glucosídico. Esta actividad la engloba en la familia de las enzimas disacaridasas.

La lactosa se conoce también como el azúcar de la leche, ya que la encontramos al 28% en peso de la leche. Los cachorros de los mamíferos, para digerir esta leche, segregan por sus vellosidades intestinales la lactasa, permitiendo la ruptura de la lactosa y facilitando así la absorción de los monosacáridos, glucosa y galactosa.

Figura 01

Hidrólisis de la lactosa por el efecto de la lactasa. (Leskomo, et al., 2018.)



Esta producción de lactasa disminuye en los mamíferos al finalizar la lactancia debido a la ausencia de un consume continuada de leche (Vitoria enero-junio 1999, pp 18-23). En los seres humanos, la actividad lactasa intestinal es máxima en el momento del nacimiento y tras los primeros meses de vida, la actividad lactasa comienza a disminuir. En la mayoría de las personas, esta actividad se reduce hasta niveles indetectables como consecuencia de la inhibición de la expresión de la lactasa.



La falta de lactasa produce un trastorno metabólico conocido como intolerancia a la lactosa. Las personas afectadas por este trastorno sufren una malabsorción de la lactosa tras su ingestión permitiendo su llegada al colon, donde es fermentada por bacterias colónicas que generan gases y provocan cólicos, distensión abdominal, diarrea o estreñimiento, entre otras.

Las personas que, a pesar de ser intolerantes, no pueden evitar su consumo o deciden consumir lácteos, pueden servirse de alimentos “sin lactosa” (alimentos que han sido tratados de forma previa con lactasa), o directamente suplementos de la enzima lactasa para poder absorber la lactosa correctamente (Massimo, et al, 2006, pp. 187-191). En cualquier caso, el tratamiento con lactasa permite una reducción significativa de los síntomas de la intolerancia a la lactosa (He, et al., 1999, pp. 309-311).

Pero la enzima es, como ya he mostrado anteriormente, sensible a los ambientes ácidos y a las altas temperaturas, lo que podría disminuir su eficacia.

Para disminuir la sensibilidad de la enzima se suele inmovilizar. Una enzima inmovilizada es una enzima que se ha englobado en un material inerte e insoluble. Entre otros beneficios:

- La inmovilización aumenta la estabilidad de las enzimas ante los cambios de temperatura y pH, con lo que se reduce la tasa a la que se degradan y han de ser reemplazadas.
- Permite la separación de la enzima de la mezcla de la reacción y permite su reutilización, por lo que es un proceso más eficiente y económico y, por ello, es ampliamente utilizada en la industria para las reacciones catalizadas por enzimas (Allot A, 2015, pp. 104-113).

Como desventaja, supone una reducción del rendimiento enzimático, pues el sustrato tiene que atravesar la sustancia inmovilizadora.

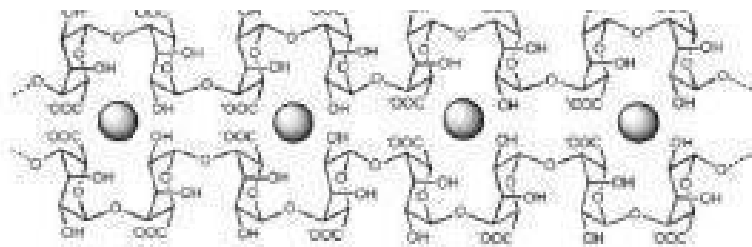
Entre los métodos de inmovilización enzimática encontramos su atrapamiento en esferas de alginato de calcio (esferificación), que es uno de los métodos más simples. Este método de atrapamiento es rápido, seguro, barato y versátil.

La esferificación se debe a la gelificación de la solución debido a la unión entre moléculas de alginato con los iones de calcio. Todas las uniones que se producen entre las cadenas de moléculas del alginato y los átomos de calcio se disponen formando una malla con forma de “caja de huevos” (Díaz, 2015). El alginato es un polisacárido natural derivado de la pared celular de las algas pardas. Estructuralmente, el alginato es un polisacárido lineal formado a partir de dos monómeros de ácidos urónicos  $\beta$ -D-manuronato (M) y  $\alpha$ -L-guluronato (G), unidos por enlaces glucosídicos beta y alfa (1-4).



Figura 02

Modelo caja de huevos.



El otro compuesto que interviene en la gelificación es la solución de calcio. Generalmente se usa el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) ya que es un gran donador de iones de calcio, permitiendo una esferificación casi instantánea.

El alginato de calcio es una sustancia gelatinosa e insoluble en agua que se crea mediante la reacción del alginato de sodio y el cloruro de calcio. Se obtiene al añadir la solución de alginato de sodio sobre la solución de cloruro, produciéndose una polimerización y la precipitación de las esferas de alginato seguida de una gelificación gradual del interior según penetren los iones de calcio. Por tanto, el ritmo de gelificación depende de la cantidad de iones de calcio y del alginato. El gel resultante es inerte bioquímicamente y estable mecánicamente, presentando espacios intersticiales adecuados para la inmovilización enzimática.

“La conformación proteica tiene un rol crucial al determinar la eficiencia catalítica de las enzimas. Inevitablemente, la inmovilización altera el ambiente natural enzimático al reducir la accesibilidad al centro activa perdido de las propiedades enzimáticas y la alteración de la conformación integral de la enzima”. (Secundo, 2013, pp. 6250-6251).

## HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de esta investigación es estudiar independientemente la efectividad de la enzima según dos variables, la concentración de alginato de sodio y el tiempo transcurrido desde la inmovilización de la lactasa.

El primer factor afectará a la propia inmovilización de la enzima, ya que afecta a la gelificación de la esfera, como ya se ha explicado en la introducción. La concentración de alginato de sodio esta medida en % masa/ volumen y he realizado el procedimiento con 5 concentraciones de alginato de sodio, desde 0% hasta 2%, en intervalos de 0,5%. Es importante mencionar que en la concentración de 0% tan solo mediré la actividad enzimática de la lactasa en un medio con lactosa, es decir mediré la efectividad de la enzima lactasa sin inmovilizar.



El segundo factor, la efectividad de la enzima en el tiempo, permitirá comprobar cuántas veces es posible reutilizar la enzima una vez inmovilizada. Estas mediciones fueron realizadas cada dos días hasta que la actividad enzimática dejó de ser mensurable.

Para estudiar estas variables independientes, mediremos la variable dependiente, el resultado obtenido en los experimentos, que será siempre la efectividad de la enzima lactasa indicada como concentración de glucosa en mg/dl a diversos tiempos, ya que la glucosa es uno de los productos finales de la reacción enzimática y la pude determinar con un medidor de glucosa comercial como el que utilizan los pacientes de diabetes para su control diario.

Para poder alcanzar estos objetivos debemos tener en cuenta las variables controladas: los tiempos en los que la enzima estaba reaccionando, pues al ser un estudio comparativo de la efectividad entre las distintas enzimas inmovilizadas es fundamental que estas hayan estado actuando el mismo tiempo. Otras variables controladas son la concentración del cloruro de calcio en la reacción de gelificación, la concentración de lactasa, pues la enzima es la que permite la reacción, y la concentración de lactosa, temperatura y pH, pues afectan a la actividad enzimática.

Mi hipótesis en cuanto a la concentración de alginato es que, como a mayor concentración más rápido se realizará la gelificación de la esfera, menos enzimas se perderán en el medio de cloruro de calcio y, por tanto, las esferas con mayor concentración tendrán mayor efectividad porque habrán perdido menos enzimas. Además, debido a que la inmovilización provoca una pérdida de la efectividad, las enzimas libres en el medio de lactosa tendrán una mayor actividad catalítica.

Respecto a la efectividad de la enzima en el tiempo, creo que su efectividad bajará con el paso del tiempo debido a que las enzimas, a pesar de que no se consumen en las reacciones, terminan degradándose. Por esto, hipotetizo que la efectividad de la enzima inmovilizada se reducirá drásticamente con el paso del tiempo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

- Enzima lactasa líquida (Ref. 12415, BioCare) (70 unidades /ml)
- Alginato de sodio (E-401) (Ref.14021, Innovative cooking SL)
- Cloruro de calcio (E-509) (Ref. 14018, Innovative cooking SL)
- Lactosa
- Agua destilada
- Medidor de glucosa SD Codefree Meter (SD Biosensor) (Rango 10-600 mg/dl) ( $\pm 15\%$  mg/dl)



- Vasos de precipitados (100 y 250 ml)
- Matraz Erlenmeyer (100 ml)
- Probeta (100 ml)
- Cuentagotas
- Micropipeta
- Cronómetro
- Balanza electrónica (Mettler Toledo PG2002) ( $\pm 0,01$  g)

## PROCEDIMIENTOS

### Inmovilización de lactasa con serie de concentraciones de alginato de sodio:

1. Preparamos las diferentes concentraciones de alginato de sodio (0,5%; 1%, 1,5%; 2%). Para ello mezclamos  $0,5 \pm 0,01$  g de alginato de sodio con  $25 \pm 0,5$  ml de agua destilada en un matraz Erlenmeyer consiguiendo una disolución al 2%.

2. Ahora preparamos  $8 \pm 0,5$  ml de alginato con distintas concentraciones. Para preparar la de 2%, tan solo tomamos  $8 \pm 0,5$  ml, ya que la disolución que hemos preparado está a esa concentración.

3. Para las concentraciones de 1,5%, 1% y 0,5%, añadimos 6, 4 y 2 ml de alginato y añadimos agua destilada hasta los 8 ml.

4. Una vez realizadas las concentraciones añadiremos 2 ml de lactasa con una micropipeta a los 8 ml de las disoluciones. Obtendremos así, 10 ml de una disolución de lactasa y alginato.

5. Para preparar la disolución de cloruro de Calcio, diluimos 1,5 g de cloruro de calcio en 100 ml de agua destilada, para obtener una disolución al 15%.

6. Con un cuentagotas, añadimos la disolución de alginato-lactasa, a un vaso de precipitados que contenga la disolución de cloruro de calcio.

7. Tras 1 minuto, retiramos las esferificaciones que se habrán formado (aproximadamente realizamos 60 esferificaciones). Repetimos el mismo procedimiento con las demás concentraciones.

### Comprobación de la efectividad enzimática

8. Preparamos 500 ml de disolución de lactosa con una concentración de lactosa al 70% añadiendo 35 g de lactasa a 500 ml de agua.

9. Dividimos las esferas de concentración al 2% entre 3 e introducimos cada porción en un vaso con 20 ml de la disolución de lactosa.

10. Al mismo tiempo iniciamos un cronómetro que medirá el tiempo que llevan catalizando las enzimas. Repetimos este paso con las esferas de las demás





concentraciones.

11. Medimos con el medidor de glucosa cuando han transcurrido 15, 30, 45 y 60 minutos.

12. Al mismo tiempo, en otros 3 vasos de precipitados añadimos 0,67 ml de lactasa (2 ml entre 3, para que tenga la misma proporción que las esferas) directamente a los 20 ml de lactosa.

13. En los minutos 15, 30, 45 y 60 minutos medimos la glucosa con los medidores.

### Efectividad en el tiempo

14. Cuando ha transcurrido una hora, colamos las esferas con la concentración del 2% y las almacenamos en la nevera en recipientes de cristal con agua para conservarlas.

15. Tras dos días, volvemos a introducir las esferas en una disolución de lactosa. Tras una hora, medimos la glucosa con el medidor de glucosa.

16. Repetimos este paso cada 2 días hasta que la actividad enzimática es nula.

## RESULTADOS

Tabla 01

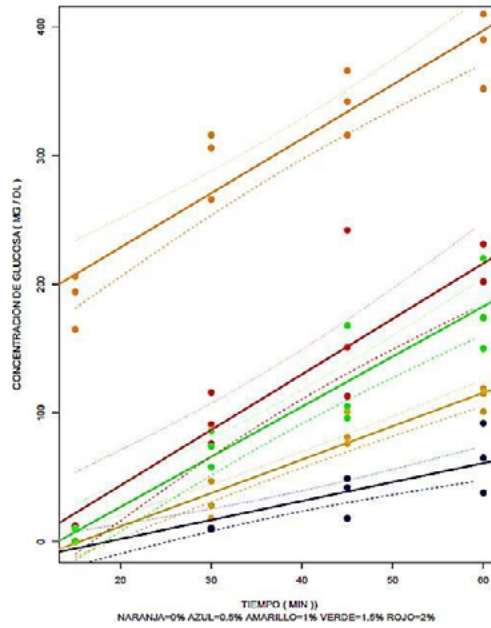
Concentración de Glucosa respecto al Alginato de Sodio y al tiempo

Concentración de Alginato de Sodio	0,0%	0,5%	1%	1,5%	2%
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Concentración de Glucosa (mg/ dl)</b>				
15	194	0	0	10	10
	165	0	0	0	12
	206	0	0	0	12
30	316	10	18	74	76
	306	10	28	58	116
	266	10	47	86	91
45	316	49	76	96	151
	366	18	81	168	242
	342	42	101	105	113
60	352	92	119	220	174
	410	38	101	150	231
	390	65	115	174	202



Figura 03

Concentración Glucosa dependiendo de tiempo y concentraciones de Alginato de sodio.



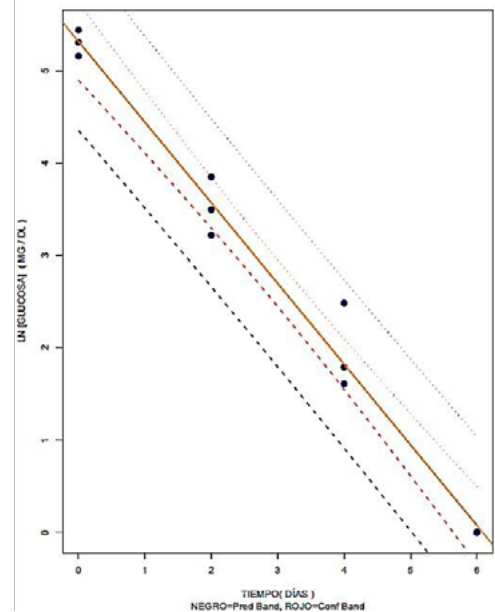
Gráficamente estos datos:

Los resultados de la concentración de glucosa frente al tiempo en días.

Figura 04

n [Glucosa] frente a días transcurridos.

Tiempo transcurrido (días)	Concentración de glucosa (mg/dl)
0	174
	231
	202
2	25
	47
	33
4	5
	12
	6
6	0





## DISCUSIÓN

Apoyándome en la teoría recogida en la investigación, discutiré los resultados obtenidos.

En el primer gráfico, podemos ver un aumento de la efectividad a medida que aumenta la concentración de alginato de sodio, exceptuando la enzima libre (0%). Explicado teóricamente esto se debe a que, a menor concentración de alginato de sodio, hay una menor inmovilización de la lactasa y por tanto esta se puede escapar de las esferas. Si la enzima lactasa se escapa en el proceso de gelificación de las esferas, obtenemos esferas con menores cantidades de enzima y por tanto esferas con menor actividad enzimática, como se ve en el gráfico.

Es necesario mencionar que debido a que las bandas de confianza que aparecen en el gráfico de las concentraciones de 1,5% y 2% se solapan, estos resultados no son válidos y por tanto no se puede hacer una distinción entre esas concentraciones. En cambio, sí que se puede sacar conclusiones de las demás concentraciones, ya que las desviaciones típicas no se solapan.

En cuanto a la efectividad en el tiempo de la enzima, podemos comprobar que, aunque la enzima no se consume en las reacciones que cataliza y por tanto se puede reutilizar, también termina degradándose como cualquier proteína. Esta es la razón de porque en los resultados obtenidos vemos una reducción drástica de la actividad enzimática, que se vuelve insignificante a partir del día 4. Además, el gráfico nos muestra que la decadencia enzimática con el tiempo sigue un decrecimiento exponencial. Esto se puede deducir porque el eje y, está expresado en forma logarítmica.

Como en cualquier investigación, en este trabajo hay limitaciones que han impedido obtener unos resultados libres de errores. Estas limitaciones se pueden dividir en limitaciones materiales y limitaciones personales.

Las limitaciones materiales han condicionado mi experimentación desde el momento inicial. Solo disponía de 15 ml de lactasa, por lo que me he enfocado exclusivamente en un único aspecto de la esferificación, prescindiendo por tanto de variar la concentración de cloruro de calcio. Esta limitación, también me ha impedido realizar las variaciones de concentración de alginato al nivel de precisión deseado.

En cuanto a las limitaciones personales podemos incluir la incapacidad para asegurar una misma cantidad de enzima inmovilizada pues durante la inmovilización tuve que aproximar la cantidad inmovilizada.

Tomando en cuenta estas limitaciones, podemos establecer una línea de mejor en diversos aspectos. Con el uso de micropipetas, podemos controlar la canti-



dad de lactasa añadida y el número de lactasa por esferificación. Adicionalmente, contando con una mayor cantidad tanto de lactasa como de tiras de glucosa podemos concretar la concentración óptima de alginato de sodio.

## CONCLUSIONES

Hay un incremento general de la actividad enzimática de las enzimas inmovilizadas cuanto mayor sea la concentración de alginato de sodio. Las esferas con una concentración de alginato al 2% presentan una mayor actividad enzimática que las esferificaciones con menor concentración, aunque la lactasa sin inmovilizar es significativamente menos efectiva.

La efectividad enzimática en el tiempo ha mostrado un descenso abrupto de la actividad enzimática entre las medias de las primeras y segundas mediciones (202 mg/dl a 35 mg/dl), al cabo de dos días, y otro descenso de la actividad en la media de la tercera medición (7,6 mg/dl). Estos datos permiten concluir que aunque la inmovilización con alginato de sodio permite la reutilización de la enzima y ayuda a estabilizarla, la poca efectividad en el momento y en su reutilización son defectos demasiados severos como para ser un método viable. Por tanto, aunque la inmovilización enzimática es una idea prometedora, es necesario una labor investigadora para hallar un método para afrontar los defectos descritos.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo agradecer a mi profesor coordinador Rodrigo Fernández Perriñez por dirigir, corregir, acompañarme y apoyar al trabajo y a mí hasta el final. Al Colegio Retamar tanto por las instalaciones como por el material necesario, además de todos aquellos profesores que trabajaron en mi formación como Enrique Robles, Javier García de Herrería y Eduardo Díaz. Al Dr. Garcimartín Montero y al Dr. Montuenga. A mis amigos Carlos Tejedor, Iñigo Ríos y Andrés Pelayo, sin los cuales nunca habría salido este trabajo. Por último, a mi familia, especialmente a mi hermano Mateo por ser mi inspiración.



## BIBLIOGRAFÍA:

- Deng, Y., Misselwitz, B., Dai, N. & Fox, M., 2015. Lactose Intolerance in Adults: Biological Mechanism and Dietary Management. *Nutrients*, 7(9), pp. 8020-8035.
- He, M., Yang, Y., Bian, L. & Cui, H., 1999. Effect of exogenous lactase on the absorption of lactose and its intolerance symptoms (in Chinese). *Journal of Hygiene Research*, 30 September, 28(5), pp. 309-311.
- Leskomono, C. S. et al., 018. Measuring Lactase Enzymatic Activity in the Teaching Lab. *Journal of Visualized experiments*, Volume 138.
- Marianne Wolfa, L. A. B. E. B. T. A. T. P., 2019. Production of low-dosage lactose milk using lactase immobilised in hydrogel. *International Dairy Journal*, mayo, Volume 92, pp. 77-83.
- Massimo, M., Curigliano, V. & Santo, L., 2006. Management and treatment of lactose malabsorption. *World Journal of Gastroenterology*, 14 January, 12(2), pp. 187-191.
- Secundo, F., 2013. Conformational changes of enzymes upon immobilisation. *Chemical Society Reviews*, pp. 6250-6251.
- Vitoria, J., enero-junio de 1999. Intolerancia a la lactosa. *BOL. S VASCO-NAV PEDIATR*, Volumen 33, pp. 18-23.

the 1990s, the number of people in the UK who are employed in the public sector has increased from 10.5 million to 12.5 million (12.5% of the population).

There are a number of reasons for this increase. One is that the public sector has become a more important part of the economy. Another is that the public sector has become more efficient. A third is that the public sector has become more attractive to workers. A fourth is that the public sector has become more diverse.

The public sector has become a more important part of the economy. In 1990, the public sector accounted for 10.5% of the UK's GDP. By 2000, this had risen to 12.5%.

The public sector has become more efficient. In 1990, the public sector spent 10.5% of the UK's GDP. By 2000, this had fallen to 12.5%.

The public sector has become more attractive to workers. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.

The public sector has become more diverse. In 1990, the public sector employed 10.5 million people. By 2000, this had risen to 12.5 million.



# CIENCIAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MATEMÁTICAS

---

## PREMIO ESPECIAL DEL CERTÁMEN DE JÓVENES INVESTIGADORES |

- 429 - **Levitación acústica**  
NADIA WERONIKA BRZOSTOWICZ

## SEGUNDO PREMIO |

- 440 - **Construcción de un detector de muones cósmicos**  
MIGUEL MARTÍN GONZÁLEZ, DANIEL MONTESINOS CAPACETE  
Y ADRIÁN FERNÁNDEZ TORRES
- 450 - **Cálculo del mínimo número de cuadrados que teselan un rectángulo de lados enteros**  
PABLO SOTO MARTÍN

## TERCER PREMIO Y PREMIO ESPECIAL REAL SOCIEDAD DE FÍSICA |

- 465 - **Estudio espectrofotométrico de fuentes de luz artificiales y de la luz solar**  
JAVIER SÁNCHEZ-BONILLA MARTÍNEZ Y JUAN ÁLVAREZ ORDINAS

## TERCER PREMIO |

- 476 - **¿En qué medida la geometría de los imanes y la separación entre ellos afecta a la velocidad de salida de un acelerador magnético (cañón de Gauss)?**  
ESTHER REVENGA VILLAGRA
- 493 - **Estudio del tratamiento tradicional del caqui "rojo brillante": ¿Cuál es la relación entre la graduación del alcohol utilizado para el tratamiento y el tiempo requerido para eliminar la astringencia?**  
SOFÍA LLÀCER CARO







## Levitación acústica

---

/ PREMIO ESPECIAL DEL CERTAMEN JÓVENES INVESTIGADORES

**AUTORA** | NADIA WERONIKA BRZOSTOWICZ

**COORDINADORA** | HELENA RUBIO FRANCO

**CENTRO** | IES PALAS ATENEA

**CIUDAD** | TORREJÓN DE ARDOZ-MADRID

### RESUMEN |

En este proyecto, se investiga el fenómeno de la Levitación Acústica utilizando tractores de una y dos matrices. El objetivo principal de este proyecto de investigación, basado en las investigaciones del Doctor Asier Marzo, es probar la efectividad de este método y explorar sus posibles aplicaciones en diversas áreas.

### ABSTRACT |

In this project, the phenomenon of Acoustic Levitation is investigated using one and two-matrix tractors. The main objective of this research project, based on the research of Doctor Asier Marzo, is to test the effectiveness of this method and explore its possible applications in various areas



## 1. INTRODUCCIÓN

La levitación de objetos ha suscitado desde hace décadas un gran interés por parte de la comunidad científica. La levitación acústica, en concreto, a pesar de ser una técnica relativamente reciente, ofrece un amplio abanico de posibilidades, diversidad de condiciones experimentales y muestras. El objetivo de este proyecto de investigación es el de analizar la tecnología de levitación acústica tanto desde un punto de vista tanto teórico como práctico, construyendo dos dispositivos de levitación acústica, basados en los trabajos desarrollados por Asier Marzo, Doctor en Ingeniería Informática de la Universidad Pública de Navarra [1].

## 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 2.1. LIMITACIONES

La levitación acústica permite manipular cualquier tipo de muestra, de cualquier material y densidad [2]. Sin embargo, esta técnica tiene limitaciones. Las partículas deben ser estrictamente menores a media longitud de onda. Puesto que las ondas menores a 20 kHz entrarían en el espectro audible para el ser humano, emitir ondas de frecuencia menor a 20 kHz resulta peligroso para la audición, debido a la elevada intensidad de las ondas. Dada la ecuación de la longitud de onda:  $\lambda = c/f$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda en metros,  $c$  es la velocidad de propagación del sonido en el aire (344m/s) y  $f$  es la frecuencia en Hz, se obtiene que la mayor longitud de onda que se puede obtener es de 0,0172 m. Por lo tanto, 8,6 mm es el máximo tamaño de partículas que pueden ser levitadas con esta técnica ( $\lambda/2$ ).

### 2.2. APLICACIONES

Dependiendo de propiedades físicas de las muestras a levitar, estas pueden moverse a nodos de presión acústica (regiones donde la presión es mínima), o antinodos de presión (donde esta es máxima). De esta forma es posible manipular pequeñas muestras, controlando la posición de los nodos de presión, lo que permite que las técnicas de levitación acústica tengan aplicaciones en áreas que van desde la biología, la medicina y la farmacología (manipulación de organismos mediante transductores interdigitales o IDTs, que emplean ondas acústicas superficiales, SSAW, cristalización amorfa de medicamentos en suspensión acústica, la espectroscopía de fuerza acústica) hasta la ingeniería (cristales líquidos dispersos en polímeros, PDLCs, orientados mediante ondas acústicas).

## 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Mediante este trabajo se tratará de analizar desde un punto de vista teórico y práctico el fenómeno de la levitación acústica. Para ello se pretende construir dos levitadores acústicos cuyo principio de funcionamiento difiera debido a



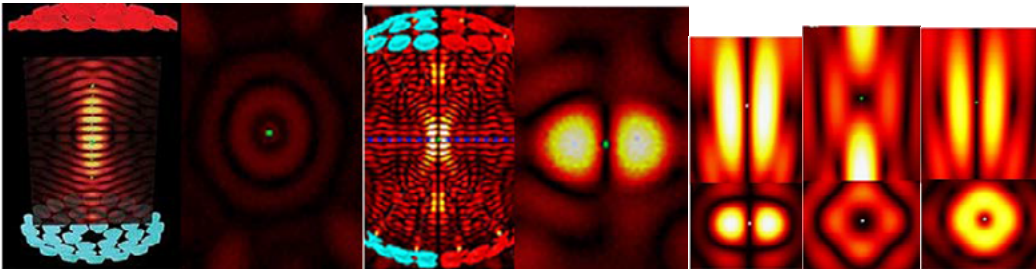
la disposición de los transductores. Esto permitirá analizar su capacidad para mantener muestras en suspensión, sometiéndolos a una serie de pruebas. La hipótesis de este trabajo consiste, en la realización de levitadores simples y efectivos, cuyo rendimiento sea independiente de las condiciones externas. Además, se pretende realizar una serie de experimentos físicos y químicos para visualizar las propiedades y posibilidades de la levitación acústica, así como analizar las aplicaciones actuales de esta tecnología en diferentes áreas de la ciencia.

## 4. MÉTODOS Y MATERIALES

### 4.1. ANÁLISIS TEÓRICO

#### 4.1.1. LEVITACIÓN CON DOS MATRICES

La levitación acústica de partículas en dispositivos con dos matrices provistas de transductores es posible gracias a la fuerza de radiación acústica producida por una onda estacionaria. Para que la levitación se produzca, necesitamos que la partícula a levitar esté a una distancia múltiplo de media longitud de onda, es decir  $L = n(\lambda/2) = n(c/2f)$  donde  $n = 1, 2, 3 \dots$  es un número entero,  $c$  es la velocidad de propagación de la onda,  $f$  es la frecuencia y  $\lambda$  es la longitud de onda. En este proyecto, concretamente, se presenta un levitador de un solo eje de levitación y compuesto por dos matrices con 72 transductores electroacústicos piezoeléctricos. Las partículas quedan atrapadas en los nodos de la onda



**Imagen 1:** Campo de amplitud. Los puntos verdes representan los nodos de la onda estacionaria.

**Imagen 2**

**Imág. 3, 4 y 5**

estacionaria. La imagen 2 muestra el campo de presión de una onda estacionaria, producida invirtiendo la polaridad en cada matriz. Es este tipo de campo de presión con el que se realizarán todos los experimentos y pruebas relacionados con el levitador de dos matrices. Sin embargo, si se invierte la polaridad en cada mitad de la matriz, como se representa en la imagen 3 (polaridades opuestas de los transductores marcadas en cada mitad de matriz, en azul y rojo) esta genera una trampa gemela (imagen 4) compuesta por dos regiones de alta presión con una región de baja presión entre ambas, creando unas “pinzas acústicas” que sujetan la partícula desde los lados. Las trampas acústicas serán explicadas más



a fondo en la levitación con una sola matriz, pues en este modelo se utilizará únicamente el campo de presión de la onda estacionaria. El punto verde indica la posición de los nodos de presión, y la línea azul discontinua en la imagen 3 indica el plano de las imágenes 2 y 4.

#### 4. 1. 2. LEVITACIÓN CON UNA MATRIZ

En los tractors de dos matrices, la partícula queda atrapada en los nodos de la onda estacionaria, formada por superposición de las ondas provenientes de los transductores de las matrices opuestas. Los sitios donde la muestra levita se denominan trampas. En el caso del levitador anterior, estas estaban dispuestas sobre el eje central del levitador, coincidiendo a su vez con los mínimos de presión de la onda estacionaria (nodos). Si el levitador es de una sola matriz, no se utilizan ondas estacionarias, y existen distintos tipos de trampas capaces de levantar muestras. Estas trampas acústicas se realizan ajustando la modulación de los transductores, y se pueden analizar en función del origen de las fuerzas ejercidas. Estas son las fuerzas de radiación, que se pueden generar por gradientes de presión (amplitud) y por gradientes de velocidad. Para analizar estas trampas, un equipo de investigadores de la Universidad Pública de Navarra (UPNA) dirigido por el Doctor en Informática Asier Marzo [1], desarrolló un novedoso método utilizando elementos acústicos holográficos. Esto es, obtener un holograma de la trampa, obteniendo una imagen de esta que es invariable a la posición de levitación, y se basa en los gradientes de velocidad y presión. Se ha conseguido representar los tres tipos de trampas realizados por este equipo mediante hologramas acústicos en forma de pinzas (*twin traps*), en forma de tornado o vórtice (*vortex traps*) y en forma de botella (*bottle traps*) (imágenes 5, 6 y 7). Las trampas transfieren el momento angular orbital a la partícula levitada en la misma dirección en la que son rotadas. Si la mitad de la matriz es excitada fuera de fase, se producen las trampas gemelas; si un círculo central es excitado fuera de fase, se produce una trampa en forma de botella; y si se impone una rampa de fase helicoidal (es decir, progresivamente recorrer todo el espectro de modulaciones de fase, desde  $-\pi$  hasta  $+\pi$  en todos los transductores de la matriz) resulta en una trampa de vórtice. En este levitador, excitando cada mitad de los transductores de la matriz en fases opuestas, se generan trampas gemelas, con las que se llevará a cabo todas las pruebas de rendimiento, fuerza de captura y resistencia a las condiciones de temperatura y humedad.

### 4. 2. CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS PRÁCTICO

#### 4. 2. 1. LEVITACIÓN CON DOS MATRICES

##### 4. 2. 1. 1. Circuito electrónico

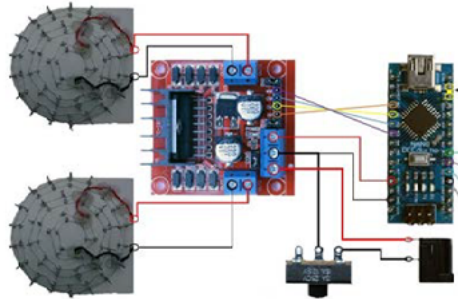
El sistema de levitación acústica con dos matrices (ANEXO I) está compuesto por un panel de control y un levitador de un solo eje con 72 transductores (Manorshi, MSO-A1640H10T) dispuestos en dos matrices, cada una con 36



transductores (imagen 8, primer diseño). En cada matriz, de 15'6 cm de radio hay 3 anillos de 6, 12 y 18 transductores. Para construir el panel de control se emplean elementos eléctricos de bajo precio y comercialmente disponibles. Se utiliza ondas cuadradas como la señal de excitación ya que son algo más fáciles de generar digitalmente en comparación con las ondas sinusoidales. Aplicar ondas cuadradas es una práctica común ya que los transductores tienen un comportamiento resonante, y por ello la salida es casi sinusoidal. Utilizando un voltaje de 9V de CC (corriente continua) controlado por un interruptor se alimenta un *Driver* (controlador) L297N Dual H-Bridge para suministrar una

Imagen 08

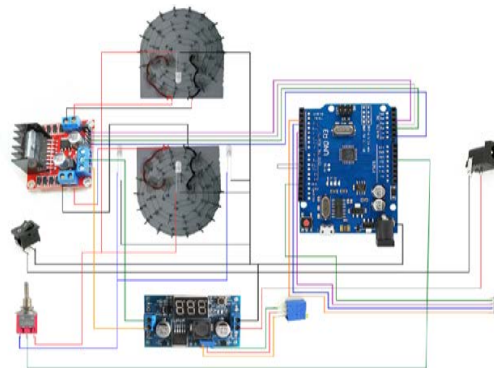
Mapa de conexiones del levitador de dos matrices con placa Arduino Nano.



tensión de 5V a una placa Arduino Nano. La placa Arduino Nano se programa (ANEXO II) para generar señales de onda cuadrada de 5 V y a continuación amplificarlas en el *Driver* para obtener 12 V que permitan que los transductores piezoeléctricos generen una frecuencia de 40 kHz. Uno de los dos canales que alimenta las matrices se mantiene en fase constante, mientras que la fase del otro canal (el de la matriz opuesta) se invierte con respecto a la primera para generar la onda estacionaria. Una vez finalizada la construcción del levitador, se procede a la construcción de una carcasa (ANEXO III), utilizando una lámina de aglomerado de madera de 5mm, entre cuyas funciones figuran la protección de los componentes electrónicos y el sostén del levitador. Además, utilizando un convertidor Boost CC-CC, 4 LEDs (2 de luz blanca y 2 de UV), otro interruptor de dos posiciones y un potenciómetro de 20 k $\Omega$  se consigue la efectiva regulación del voltaje con el que se alimenta el *Driver* (Imagen 9, diseño definitivo).

Imagen 09

Mapa de conexiones del levitador de dos matrices, tras el cambio de placa y montaje del potenciómetro y leds.





#### 4. 2. 1. 2. Fuerza de las trampas (rendimiento del levitador)

La principal medida de rendimiento del levitador es la densidad máxima de las partículas que puede levitar. Si las partículas están en el régimen de dispersión de Rayleigh (es decir, más pequeño que la mitad de la longitud de onda), entonces la fuerza de captura es proporcional al volumen, por lo que solo la densidad limita las muestras que pueden ser levitadas. Para medir el rendimiento del levitador experimentalmente se colocaron muestras de densidades variadas en el levitador, conectado a una fuente de alimentación de corriente continua (EP-613A DC) que permitía ajustar los voltajes de entrada. Partiendo de un voltaje de 9 V en cada muestra levitada, este se comenzaba a reducir paulatinamente hasta que la muestra caía fuera de la trampa. El gráfico (imagen 11) se ha realizado para visualizar la relación entre la densidad de las muestras y el voltaje

Imagen 11

Gráfica que relaciona la densidad de las muestras levitadas con el voltaje mínimo necesario para mantenerlas en suspensión.

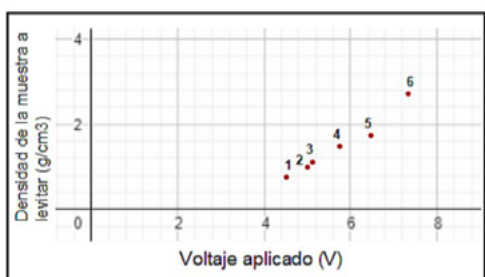


Imagen 16



mínimo necesario para que estas leviten. Se han representado 6 muestras de diferentes densidades junto a sus respectivos voltajes. Ordenadas de menor a mayor densidad son: Alcohol etílico 98% (nº1), agua (nº2), poliestireno (nº3), silicona (nº4), magnesio (nº5) y aluminio (nº6). Se ha probado la capacidad de levitación de una esfera de estaño de 1mm de diámetro, sin embargo, la suspensión no ha sido efectiva debido a la elevada densidad de este elemento ( $\rho=7,31 \text{ g/cm}^3$ ). Además, con 9V se ha conseguido levitar pequeños insectos, entre ellos la mosca de la fruta (*Drosophila Melanogaster*). (imagen 16).

#### 4. 2. 1. 3. Resistencia del levitador

Las pruebas con el levitador demostraron que funciona de manera efectiva desde el momento en que se enciende, y durante períodos prolongados, resistiendo de manera adecuada a cambios de temperatura en el ambiente. La levitación continua y estable de muestras durante más de 2 horas se midió mediante la suspensión de varias gotas de disoluciones de agua azucarada y su posterior evaporación. Su resistencia a cambios de temperatura en el ambiente se midió colocando un soldador (350°C) a 1 cm de la muestra durante 20 minutos, observando que la muestra permanecía atrapada establemente.

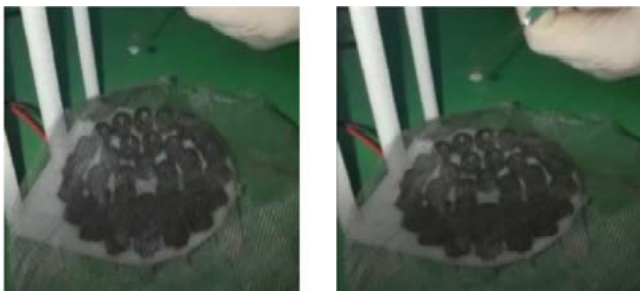


#### 4. 2. 1. 4. Fenómenos químicos

##### A) Oxidación de magnesio

En esta reacción se procedió a tomar trozos de entre 1 y 4 mm de cinta de magnesio, para posteriormente colocarlos en el eje de la onda estacionaria. Una vez que estos se hallaban levitando establemente, se aplicó con una jeringuilla una gota de ácido clorhídrico de concentración 37 % en peso, obteniendo cloruro de magnesio e hidrógeno. Dado que la energía de las moléculas de los productos es inferior a la energía de las moléculas de los reactivos, la reacción llevada a cabo fue una reacción exotérmica. Al producirse la reacción en el interior de un nodo de presión, este ejercía fuerzas sobre la muestra de magnesio con ácido para mantenerla en su interior. Sin embargo, a medida que la reacción avanzaba, comenzaba a liberar energía, ejerciendo una fuerza sobre el medio circundante. Esta fuerza era inferior a la que aplicaban todos los transductores del levitador, por lo que la muestra de magnesio comenzó a girar dentro de uno de los nodos de la onda estacionaria. De este modo, girando a elevada velocidad y siendo frenada por el campo de presión acústico, se podía apreciar una figura en forma de circunferencia en el eje del levitador (ANEXO IV) (imágenes 14 y 15).

Imágenes 14 y 15



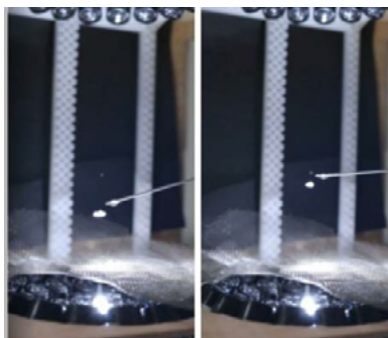
##### B) Disminución del volumen del poliestireno con acetona

En este experimento se procedió a añadir gotas de acetona pura a una esfera de poliestireno, previamente depositada en uno de los nodos de la onda estacionaria. Lo que se pudo observar (ANEXO V) es que esta disminuía su tamaño visiblemente, pues se disolvía en la acetona. Dado que tanto la acetona como el poliestireno expandido (EPS) son derivados del petróleo, cuya polaridad es muy reducida, ambos reactivos son poco polares y por tanto, miscibles entre sí. Al mezclarse, la acetona disuelve el poliestireno, y sobre la esfera de EPS se forman burbujas, generadas a partir del hidrógeno que se encuentra dentro de la espuma de poliestireno (imágenes 12 y 13).





Imágenes 12 y 13



#### 4. 2. 1. 5. Fenómenos físicos

##### A) Reflexión

Dado que los transductores emiten a una frecuencia de 40 kHz, su sonido debería resultar inaudible para el oído humano. Sin embargo, al acercarse al levitador se puede apreciar un sonido característico de frecuencia muy elevada. Esto se debe a que las ondas acústicas se reflejan en las matrices del transductor y en los objetos cercanos, lo que disminuye su frecuencia hasta el rango audible. Este efecto se percibe introduciendo papel de aluminio entre las dos matrices, puesto que es el punto de mayor intensidad del campo acústico (ANEXO VI).

##### B) Extinción del fuego

El campo de presión acústica generado por las ondas de ultrasonidos crea una diferencia de presión con respecto a la presión atmosférica. En el caso del levitador construido, la presión acústica generada durante la rarefacción de las ondas dependerá de la intensidad aplicada a los transductores. La presión acústica generada por el levitador es lo suficientemente elevada como para apagar pequeños fuegos (ANEXO VII), lo que podría resultar muy interesante a la hora de patentar sistemas de extintores que funcionen basándose en el principio de la presión acústica.

### 4. 2. 2. LEVITACIÓN CON UNA MATRIZ

#### 4. 2. 2. 1. Circuito electrónico

El sistema de levitación acústica con una matriz (imagen 10) consta de una plato hemisférico impreso en 3D con 24 transductores piezoeléctricos (MSO-A1640H10T), además de una pieza de PVC sobre la que está montado el circuito. El plato tiene 110 mm de diámetro, y una altura de 41,5 mm. En el interior del plato hemisférico hay, en total, 4 filas de transductores, dos en cada mitad, con 24 transductores y 4 señales independientes en total. Se utiliza una placa Arduino Nano, programada (ANEXO VII) para generar una señal de 40 kHz y

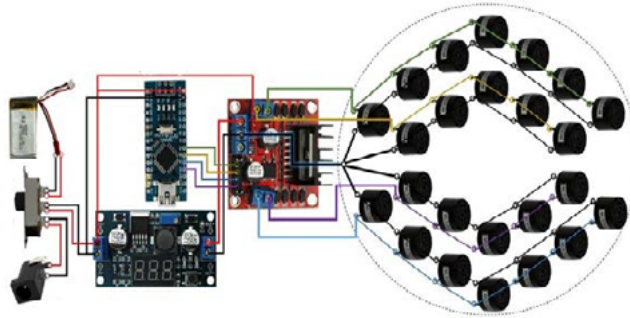




5 Vpp, que a su vez se envía a un *Driver* L298N para amplificarla hasta 25 Vpp. Esta placa Arduino está alimentada por una batería de 7,3 V. Esta misma batería alimenta el *Driver*, aumentando previamente el voltaje de 7,3V a 25V a través de un convertidor Boost CC-CC. Los 24 transductores tienen de 16 mm de diámetro y una frecuencia de 40 kHz. Al estar distribuidos en la superficie interna del plato, las ondas emitidas por cada uno de ellos confluyen en un único punto, situado a 1,8 cm por encima de la parte superior del plato.

Imagen 10

Mapa de conexiones del levitador de una matriz.



#### 4. 2. 2. 2. Fuerza de las trampas (Rendimiento del levitador)

El rendimiento del dispositivo se midió experimentalmente mediante la levitación de una esfera de poliestireno de 1 mm con una trampa en forma de pinza. La fuerza de atrapamiento de los levitadores con una matriz es inferior a la fuerza de los de onda estacionaria (dos matrices), por lo que con este levitador sólo se ha conseguido levitar poliestireno. Disminuyendo progresivamente el voltaje, se llegó a la conclusión que la señal mínima de activación para levitar la esfera es de 14 V, pues, aunque la frecuencia permanezca constante, la presión acústica generada por un emisor (transductor) es proporcional al voltaje de la señal de conducción. Si disminuye la presión acústica generada, disminuye la fuerza de las ondas acústicas emitidas por los transductores y por ello la muestra levitada cae.

#### 4. 2. 2. 3. Resistencia del levitador

Dada la menor fuerza del levitador a la hora de mantener en suspensión materiales de densidades superiores a la del poliestireno, no se ha podido levitar disoluciones o mantener un soldador caliente cerca, pues el poliestireno no era capaz de aguantar elevadas temperaturas sin quemarse. Sin embargo se ha comprobado su capacidad de levitar partículas durante periodos prolongados de tiempo. Al igual que en el levitador con dos matrices, se ha depositado una partícula de poliestireno y se ha dejado en suspensión. La muestra ha podido ser levitada ininterrumpidamente durante dos horas.



## 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Mediante este proyecto de investigación, se ha logrado construir un par de levitadores resistentes, realizados utilizando componentes electrónicos económicos, y un circuito electrónico sencillo. El resultado de la investigación sobre la construcción y funcionamiento de los levitadores acústicos ha permitido analizar de forma práctica y teórica los principios físicos en los que se basan estos dispositivos, así como comparar distintos aspectos y características entre los levitadores acústicos de una y dos matrices. A partir de esta comparativa, se dedujo que los levitadores de dos matrices (onda estacionaria) son mucho más efectivos a la hora de levantar diferentes tipos de muestras. El análisis teórico y práctico de estos dispositivos ha permitido obtener una visión general de la levitación acústica, así como de sus aplicaciones y su enorme potencial en prácticamente todas las áreas de la ciencia. La versatilidad de esta técnica tiene varios aspectos. Por una parte, permite la manipulación de partículas independientemente de su forma y propiedades físico-químicas, y de longitudes desde el micrómetro hasta varios milímetros. Su precisión, versatilidad y biocompatibilidad convierten esta técnica en una excelente plataforma para estudios en áreas que van desde la química, la medicina o la biología, hasta campos como la ingeniería o la física. Además de su actual éxito en innovadoras y complejas técnicas de laboratorio, y de su enorme potencial aún sin explorar, se ha conseguido demostrar de un modo visual y tangible, mediante sencillas experimentos físicos, el carácter práctico de estos dispositivos. Gracias a su sencillez en comparación con otras técnicas de levitación, estos pequeños dispositivos podrían servir de herramienta didáctica para explicar de forma menos abstracta las propiedades de las ondas y los campos acústicos en colegios e institutos. Esto facilitaría el aprendizaje de los alumnos, y el acceso a la tecnología a un mayor número de personas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Marzo, A., Seah, S., Drinkwater, B., Sahoo, D., Long, B. and Subramanian, S. (2015). Holographic acoustic elements for manipulation of levitated objects. *Nature Communications*, 6(1).
- Spruce, G. and Pringle, R. (1992). Polymer dispersed liquid crystal (PDLC) films. *Electronics & Communications Engineering Journal*, 4(2), p.91.
- King, L. (1934). On the acoustic radiation pressure on spheres. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A- Mathematical and Physical Sciences*, 147(861), pp.212-240.



- Bucks, K. and Muller, H. (1933). ber einige Beobachtungen an schwingenden Piezoquarzen und ihrem Schallfeld. *Zeitschrift fur Physik*, 84(1-2), pp.75-86.
- Fuchs, N., Daisley, R., Fuchs, M., Davies, C. and Straumanis, M. (1965). The Mechanics of Aerosols. *Physics Today*, 18(4), pp.73-73.
- Gor'kov, L. (2019). *On the Forces Acting on a Small Particle in an Acoustical Field in an Ideal Fluid*. [online] Available at: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1962SPhD....6..773G> [Accessed 13 Jan. 2019].
- Trinh, E. (1985). Compact acoustic levitation device for studies in fluid dynamics and material science in the laboratory and microgravity. *Review of Scientific Instruments*, 56(11), pp.2059-2065.
- Xie, W. and Wei, B. (2001). Parametric study of single-axis acoustic levitation. *Applied Physics*
- Berry, M. and Geim, A. (1997). Of flying frogs and levitrons. *European Journal of Physics*, 18(4), pp.307-313.
- Physical Review Letters. 2018. Phys. Rev. Lett. 89, 104304 (2002) - Levitation of Iridium and Liquid Mercury by Ultrasound. [ONLINE] Available at: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.89.104304> [Accessed 20 Jul. 2018].
- Rayleigh (1902). XXXIV. *On the pressure of vibrations*. [online] Taylor & Francis. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786440209462769> [Accessed 1 Aug 2018].
- Xie, W., Cao, C., Lü, Y., Hong, Z. and Wei, B. (2006). Acoustic method for levitation of small living animals. *Applied Physics Letters*, 89(21), p.214102.
- Li, S., Ma, F., Bachman, H., Cameron, C., Zeng, X. and Huang, T. (2017). *Acoustofluidic bacteria separation*.
- NASA Technical Reports Server (NTRS) - Microgravity Science and Applications Program Tasks, 1984 Revision. 2018. NASA Technical Reports Server (NTRS) - Microgravity Science and Applications Program Tasks, 1984 Revision. [ONLINE] Available at: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19860000586> [Accessed 23 Jul. 2018]
- Ding, X., Lin, S., Kiraly, B., Yue, H., Li, S., Chiang, I., Shi, J., Benkovic, S. and Huang, T. (2012). On-chip manipulation of single microparticles, cells, and organisms using surface acoustic waves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28), pp.11105-11109.
- Imágenes 1-7: <https://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/1.4972407>  
Última consulta: septiembre 2018.8-9, Imágenes 11-16: Autoría propia.
- Imagen 10: <https://www.instructables.com/id/Acoustic-Tractor-Beam/>



## Construcción de un detector de muones cósmicos

---

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTORES** | MIGUEL MARTÍN GONZÁLEZ, DANIEL MONTESINOS CAPACETE Y ADRIÁN FERNÁNDEZ TORRES.

**COORDINADORA** | CAROLINA AUMONT AUMONT

**CENTRO** | IES ÍTACA e IES MARTÍN RIVERO

**CIUDAD** | TOMARES-SEVILLA y RONDA-MÁLAGA

### RESUMEN |

La idea general del proyecto es crear un *detector de muones* portátil para poder transportarlo e ir con él a distintos lugares con el objetivo de ir analizando a diferentes alturas el flujo de *muones*. Los *muones* son unas *partículas* que se generan en las capas exteriores de la Tierra debido al choque de los protones que vienen de los rayos cósmicos contra los núcleos de los átomos de nitrógeno o de oxígeno de la atmósfera. De esta forma se pueden encontrar diferentes concentraciones de *muones* dependiendo de la altitud, cuanto mayor es la altitud, mayor es la cantidad de radiación y *muones* que se pueden observar. El *detector de muones* funciona en primer lugar con un plástico centelleador llamado Bicrón que emitirá *fotones* azules al pasar *muones* sobre él. Los fotones son dirigidos a un fotocátodo que, gracias al efecto fotoeléctrico, liberan electrones. Estos electrones son propulsados por una placa con polaridad negativa y pasan por el fotomultiplicador para generar una avalancha de electrones y amplificar la señal. (Se usó un fotomultiplicador de Silicio, SiPM, en vez de uno de vacío porque son más seguros y necesitan voltajes menores para funcionar). El detector detectará los pulsos de electrones y generará gráficas que señalarán la presencia de un muón.



## ABSTRACT |

The main idea of the project is to build a portable muon detector in order to carry it to several places with the objective of analyzing the muon flux at different heights. The muons are particles that are generated in the exterior layers of the atmosphere because of the collision between high energy protons (which have arrived from cosmic rays) and the nucleuses of oxygen or nitrogen atoms in the atmosphere. This way different concentrations of muons can be found depending on the height, the higher the height, the bigger the amount of muons and radiation that can be seen. Firstly, the muon detector works with a plastic scintillator called "bicrón" which will emit blue photons when muons pass through it. Photons are led to a photocathode, where they release electrons thanks to the photoelectric effect. These electrons are propelled by a plate with negative polarity and they pass through the silicon photomultiplier in order to create an electron avalanche and amplify the signal. (A silicon photomultiplier, SiPM, was used instead of vacuum ones because they are safer and they need fewer voltage for working). The detector will detect electron pulses and it will generate graphics which will show us the presence of a muon.



## 1. INTRODUCCIÓN

La física de partículas no es un campo de especulaciones alejadas de la realidad, sino que está muy presente en la vida cotidiana. A diario son observables los efectos que las partículas causan en la naturaleza y que se explican desde la física de partículas. La famosa Aurora Boreal no es más que el resultado de la interacción de partículas con la atmósfera. Esta investigación se centra en un tipo de partículas elementales, los muones.

## 2. ANTECEDENTES

Los muones se detectaron por primera vez con el experimento de Victor Hess en 1912 con sus ascensos en globo, con tres medidas (1911, 1912, 1913) con un electrómetro. Es importante señalar que una de las medidas (7 abril 1912) se realizó durante un eclipse solar, los rayos ionizantes no podían venir del Sol. Usó un globo aerostático y subió hasta los 5,5km de altitud. Al ir subiendo, subía cada vez más la radiactividad que medía, confirmando que la radiación también proviene del espacio y no solamente de la tierra, como se creía hasta entonces. El aumento de la radiactividad se debía a los rayos cósmicos.

En el espacio exterior, sin embargo, los niveles de radiación son mucho mayores, ya que no hay “escudos” como la atmósfera o el campo magnético terrestre. Ejemplo de esto es la experiencia de los astronautas, que ven manchas blancas y destellos en el interior de sus ojos al cerrar los párpados. Producidas por la radiación a la que estaban expuestos, transformando sus propios ojos en detectores de rayos cósmicos.

Pero fue Carl David Anderson en 1936 mientras estudiaba las radiaciones cósmicas quien descubrió el muón. Observó que existían unas partículas que al pasar por un campo electromagnético se curvaban de manera distinta que el protón y el electrón, el muón.

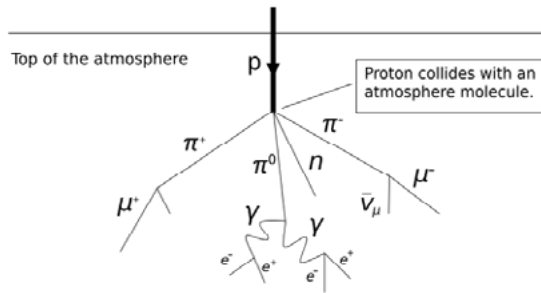
Del espacio, las estrellas, las supernovas, los agujeros negros, provienen enormes cantidades de radiación en forma de rayos cósmicos. Afortunadamente la atmósfera y los campos magnéticos terrestre y solar protegen la superficie de sus efectos, que pueden ser dañinos para la vida, al igual que esenciales para su existencia.

Debido a que los rayos cósmicos poseen carga eléctrica son desviados hacia las regiones polares debido a la fuerza de Lorentz. El choque de estas partículas cargadas con los átomos del aire origina las auroras boreales.

Los muones son partículas elementales, en concreto leptones de segunda generación, 200 veces más pesados que los electrones. Por eso son muy inestables y tienden a desintegrarse en partículas más estables. Además, su gran densidad les permite penetrar metros de roca antes de detenerse, pudiendo ser detec-



tados hasta a 700 metros de profundidad. Los muones interaccionan con las cuatro fuerzas fundamentales



Cuando los rayos cósmicos (normalmente protones) entran en la atmósfera a unos 50-60 km de altitud impactan principalmente con núcleos de Nitrógeno y Oxígeno, desintegrándose en kaones y piones. Que durante su descenso se desintegran a su vez en muones, cuya vida media es de  $2,2\mu\text{s}$ , sin embargo, debido a las elevadas velocidades a las que viajan, la dilatación relativista del tiempo prolonga su vida y contrae su recorrido, pudiendo llegar a la superficie, donde se detectarán. Finalmente los muones dan lugar a electrones, neutrinos y antineutrinos al desintegrarse.

Se ha estudiado que existe una relación entre los rayos cósmicos y la formación de nubes por la creación de núcleos de condensación para el agua con la ionización del aire. Confirmando que la actividad magnética solar es un factor importante en los cambios climáticos de la Tierra, afectando a la cantidad de rayos cósmicos que llegan al planeta. Y aunque aún se está estudiando, los rayos cósmicos también podrían tener un papel en las tormentas eléctricas.

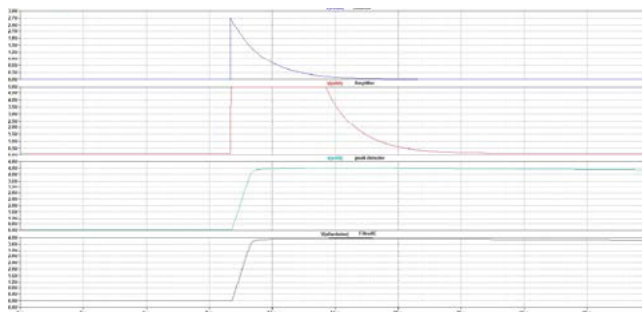
### 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos del proyecto son:

- - Construcción de un detector de muones cósmicos.
- - Diseño de los componentes que forman el detector.
- - Análisis de los datos obtenidos.

Se construirá primero una Cámara de nubes que permitirá ver rastros de partículas cargadas en niebla de isopropanol, como introducción a detectores de partículas.

Y luego, se construirá el detector de muones, que debe indicar la presencia de muones con pulsos parecidos a los mostrados en la figura, generados por simulación.



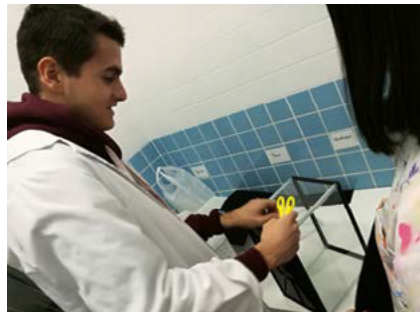
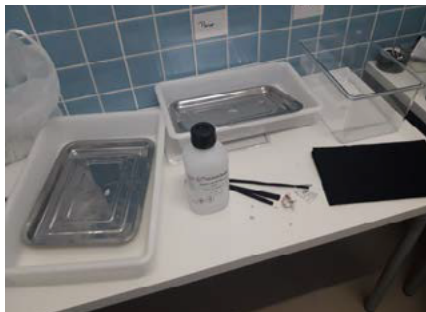
## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. DISEÑO DEL UTILLAJE EXPERIMENTAL Y DE LOS INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

#### 4.1.1. PARTES DE LA CÁMARA DE NIEBLA:

Materiales: bandeja inferior de plástico con hielo seco ( $\text{CO}_2$  en estado sólido), pecera de plástico, láminas de fieltro, bandeja de acero inoxidable, isopropanol.

La pecera con el fieltro empapado en isopropanol se coloca junto a un calefactor enfocando hacia su interior durante unos minutos. Luego se coloca la pecera boca abajo sobre la bandeja de acero inoxidable, que a su vez está sobre la bandeja de plástico con el hielo seco. El frío del hielo seco se transmite hacia el interior de la cámara, a su vez más caliente que el ambiente por el calefactor. El gradiente térmico es el que genera la niebla que hará de detector de partículas cargadas.



#### 4.1.2. COMPONENTES DEL DETECTOR DE MUONES:

- Plástico Centelleador: BC412, bicrón; un policarbonato dopado de flúor. Al pasar radiación ionizante, (en este caso, muones) a través de él, emite fotones a 480 nm, de luz azul, detectable por el fotorreceptor. Con forma de prisma trapezoidal y forrado de papel de aluminio para reflejar y canalizar la luz hasta la cara más pequeña donde se encontrará el SiPM. El material centelleador es

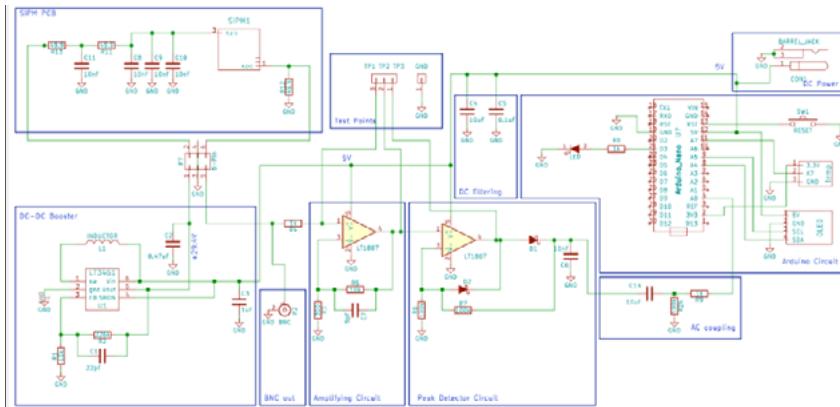




sensible a la energía y de respuesta rápida, debe ser eficiente convirtiendo energía en fluorescencia, y transparente para transmitir la luz.



- Placa electrónica del detector, con los diferentes circuitos:



- SPM, fotomultiplicador de silicio. Detecta los fotones producidos por el centelleador y los transforma en una cascada de electrones. Por cada fotón que recibe el fotomultiplicador, se liberarán 1000000 de electrones.

- DC-DC booster: El fotomultiplicador es un componente muy sensible, funciona a 70V. El DC-DC booster se encargará de aumentar el voltaje y alimentar el SPM.

- Circuito Amplificador: Amplifica la señal emitida por fotomultiplicador para ser detectable por la placa Arduino, de los 3V a los 5V.

- Circuito Detector de Picos: Detecta cuándo se produce un pico y lo dilata en el tiempo para ser detectable.

- Placa Arduino Nano: Procesará la información recibida por el detector y enviarla a la Raspberry Pi 3.



- Raspberry Pi 3: Recibe la información procesada por la placa Arduino Nano para mostrar los datos y gráficas.



La placa del detector se fabrica mediante ataque químico y posterior soldadura.



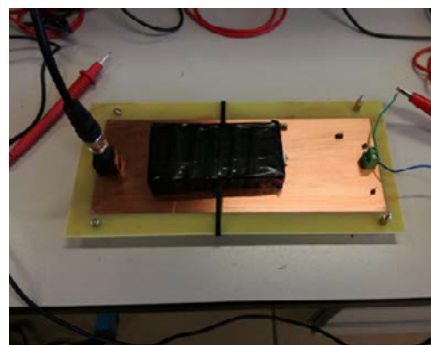
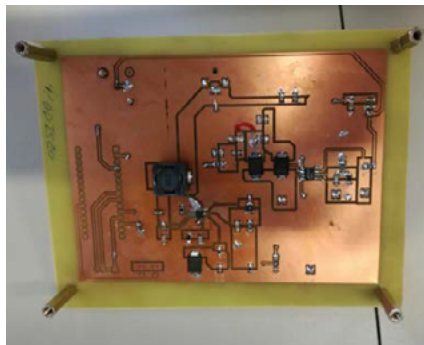
Vista del prisma de plástico Bicon forrado al completo. En la mitad de cara derecha del prisma se encuentra el SiPM.

**Imagen 01**

La placa del detector se fabrica mediante ataque químico y posterior soldadura.

**Imagen 02**

Vista del prisma de plástico Bicon forrado al completo. En la mitad de cara derecha del prisma se encuentra el SiPM.



**4.2. RECOGIDA DE DATOS**

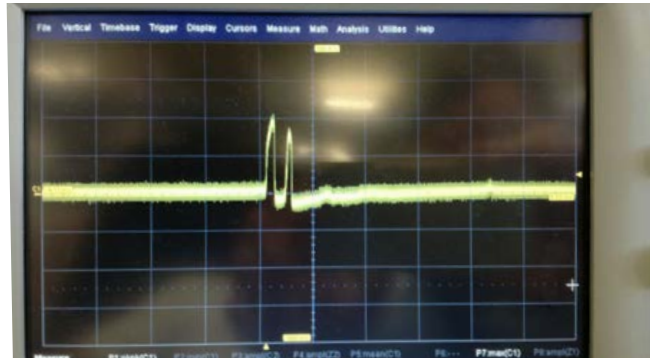
Tras subir el código al arduino proporcionado por la web del Cosmic Watch a la placa, se analizan los resultados. Los pulsos detectados por el Arduino y enviados a la Raspberry Pi 3 se obtienen cada 5.8  $\mu$ s. Se pueden analizar los datos sincronizando el detector con la página de Cosmic Watch o a través de los programas de análisis de señal. Otra alternativa es utilizar un osciloscopio.



## 5. RESULTADOS

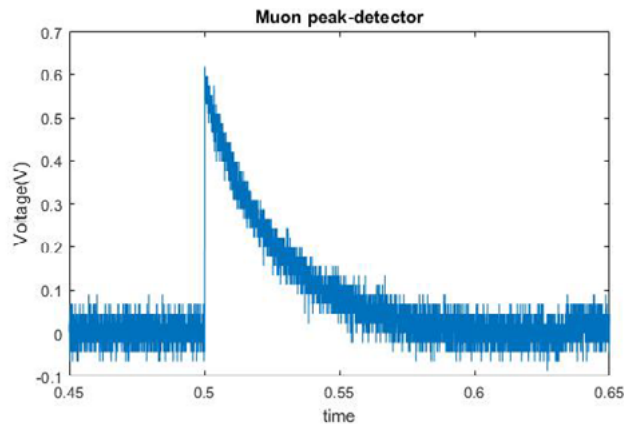
### PRIMEROS RESULTADOS

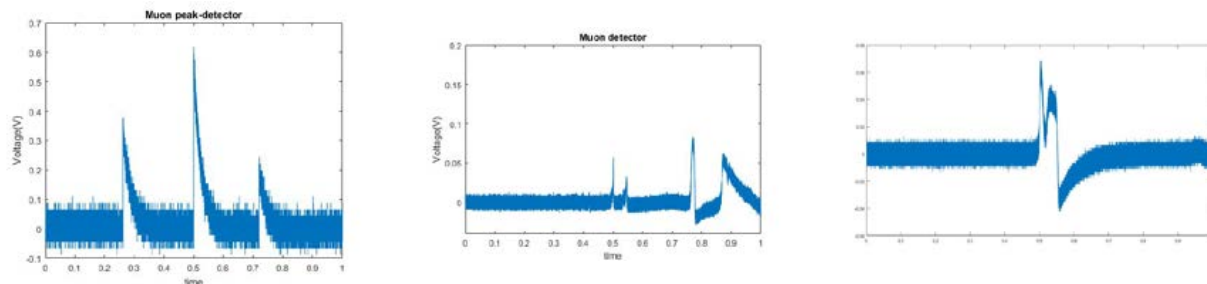
Obtenidos conectando el fotomultiplicador directamente a un osciloscopio, es posible ver dos picos, correspondiéndose con dos muones.



### GRÁFICAS PROCESADAS

En esta gráfica se puede apreciar lo que se espera tras el paso del muón. Un pico de señal que alcanza un valor de voltaje apreciable (0.6V) que se extiende a lo largo de un tiempo apreciable también (10ms) y la detección de una señal cada 45 segundos o 1 minuto, ajustada a la media a nivel del mar aproximadamente, de 1 muón por centímetro cuadrado cada minuto. Sin embargo, como en toda investigación científica, no todos los resultados obtenidos tienen por qué tener este aspecto (y no lo hacen). Es aquí donde debe actuar el investigador y analizar los resultados adecuadamente.





## 6. CONCLUSIONES

En general la realización del proyecto ha sido muy compleja por la dificultad que supone la construcción de un detector de este tipo. Surgieron problemas tanto en la construcción como la programación del detector. Resultó muy complicado soldar el DC-DC booster por ser una pieza muy pequeña, teniendo que soldar a mano. Además, hubo que depurar el código descargado de la página de Cosmicwatch, y adaptarlo para utilizar una Raspberry Pi como salida de datos, con la que también se superaron ciertas dificultades con el software. Todos los problemas se solucionaron aplicando el método científico.

Es posible concluir que este proyecto ha sido realmente interesante en el campo de la física, ya que gracias a él se puede observar el rastro que deja tras él un muón, una partícula de tamaño más que microscópico. No solo la ejecución del proyecto ha aumentado nuestra conciencia de la importancia de la investigación científica, sino que también ha levantado más interés en nosotros por el ámbito de la física de partículas.

## 7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer al investigador Rogelio Palomo por su labor de divulgación de la ciencia y por haber diseñado este proyecto y habernos guiado y a Luis Tovar Muniz por su colaboración. A Jose Manuel Sanchez por la valiosa ayuda prestada. Gracias también a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla por hacer posible la realización de este proyecto y cedernos sus instalaciones. Al CERN por ceder material utilizado en el proyecto ya que de otra forma no hubiese sido factible su realización. A la organización de Jóvenes con Investigadores de Sevilla, destacando a la coordinadora Carolina Clavijo por su gran trabajo a la hora de organizar todos estos proyectos y por habernos dado la oportunidad de pertenecer a ellos. A la página web de Cosmicwatch, por habernos servido como fuente de información para documentarnos sobre la detección de muones y guiarnos en la construcción del detector.



## BIBLIOGRAFÍA

- Przewłocki, P., Frankiewicz, K. (2017). CosmicWatch:  
<http://www.cosmicwatch.lns.mit.edu/about>
- Ladrón de Guevara, P. (2012, Junio). Principios de los detectores de partículas, Cern Talk II: [https://indico.cern.ch/event/195014/contributions/361287/attachments/283538/396485/talk\\_1\\_25\\_06\\_12.pdf](https://indico.cern.ch/event/195014/contributions/361287/attachments/283538/396485/talk_1_25_06_12.pdf)
- Ladrón de Guevara, P. (2013, Febrero). Principios de los detectores de partículas. CERN Talk II:  
[http://teorica.fis.ucm.es/ft11/PARTICULAS.DIR/Detectores\\_2.pdf](http://teorica.fis.ucm.es/ft11/PARTICULAS.DIR/Detectores_2.pdf)
- Musienko, Y. (2017, Junio 30). Recent progress and perspectives in solid state photomultipliers [Archivo PDF]. Recuperado de:  
[https://seaquest-docdb.fnal.gov/cgi-bin/RetrieveFile?docid=2291&filename=Musienko-SiPMs-CERN-seminar\\_30.06.2017.pdf&version=1](https://seaquest-docdb.fnal.gov/cgi-bin/RetrieveFile?docid=2291&filename=Musienko-SiPMs-CERN-seminar_30.06.2017.pdf&version=1)
- Geeky Theory. Arduino + Raspberry Pi Lectura de datos. (s.f.). Recuperado de  
<https://geekytheory.com/arduino-raspberry-pi-lectura-de-datos>
- CERN. Cloud (s.f.). Recuperado de  
<https://home.cern/about/experiments/cloud>
- Chodos, A. (2010, Enero). This Month in Physics History. APS Physics. Volumen 19, número 1:  
<https://www.aps.org/publications/apsnews/201001/physicshistory.cfm>
- Johnson, A. (2015, Abril 29). Cosmic rays illuminate the fields that cause lightning physicsworld: <http://physicsworld.com/cws/article/news/2015/apr/29/cosmic-rays-illuminate-the-electric-fields-that-cause-lightning>
- Svensmark, H., Enghoff, M. B., Shaviv, N. J. & Svensmark, J. (2017, Diciembre 19). Increased Ionisation supports growth of aerosols into cloud condensation nuclei. Nature:  
<https://www.nature.com/articles/s41467-017-02082-2>
- Svensmark, H. Cosmic rays, clouds and climate [Archivo PDF]. Recuperado de:  
[https://wattsupwiththat.files.wordpress.com/2017/12/svensmarkepn\\_46-2-2\\_2015.pdf](https://wattsupwiththat.files.wordpress.com/2017/12/svensmarkepn_46-2-2_2015.pdf)
- Cartlidge, E. (2013, Septiembre 9). Physicists claim further evidence of link between cosmic rays and cloud formation. physics world:  
<http://physicsworld.com/cws/article/news/2013/sep/09/physicists-claim-further-evidence-of-link-between-cosmic-rays-and-cloud-formation>
- Aberrón. (2009, Junio 27). ¿Qué ven los astronautas cuando cierran los ojos? Fogonazos:  
<http://www.fogonazos.es/2009/06/que-ven-los-astronautas-cuando-cierran.html>



# Cálculo del mínimo número de cuadrados que teselan un rectángulo de lados enteros

---

/ SEGUNDO PREMIO

**AUTOR** | PABLO SOTO MARTÍN

**COORDINADORA** | MARÍA GASPAS ALONSO-VEGA

**CENTRO** | IES SAN MATEO

**CIUDAD** | MADRID

## RESUMEN |

Estudio de investigación sobre el problema abierto del cálculo del número mínimo de cuadrados de lado entero que teselan un rectángulo de lados también enteros. Se planteará el problema con criterios que ya otros investigadores han establecido. Al tratarse de un problema NP-completo, se intenta llegar a la solución mediante algoritmos de aproximación. Los algoritmos en los que nos hemos centrado en este estudio han sido el algoritmo de Euclides, un algoritmo clásico que se utiliza para calcular el máximo común divisor de dos números, y un algoritmo propio al que se le ha llamado Algoritmo Simplificado Recursivo (ASR). Estos algoritmos se han implementado en lenguaje Python, se han estudiado las soluciones que aportan, así como su error comparado con los resultados ya conocidos (Massimo Ortolano y otros investigadores han calculado hasta el rectángulo de dimensiones 388x388). El objetivo ha sido obtener patrones para extrapolarlos con la finalidad de obtener las soluciones a los casos todavía no conocidos. Tras analizar los resultados que el algoritmo de Euclides da para el problema plantado hemos visto que no era muy exacto, pero tras estudiar su error hemos podido crear una mejor aproximación. Al contrario, el ASR presentó una notable mejora y ha resultado más exacto que el algoritmo de Euclides. Por ello, se extrapolaron hasta valores mucho mayores de los conocidos. Además, se ha procedido a hacer una comparación de ambos algoritmos.



## ABSTRACT |

Research study on the open problem of calculating the minimum number of integer-side squares that tessellate a rectangle of also integer size. The problem will be set out with the criteria that other researchers have already established. As the problem is NP-complete, we try to arrive at the solution by the means of approximation algorithms. The algorithms that we have focused on in this study have been the Euclid's Algorithm, an algorithm that is used to calculate the greatest common divisor of two numbers, and an own-created algorithm called the Simplified Recursive Algorithm (ASR). These algorithms have been implemented in Python language, the solutions that they provide have been studied, as well as their error compared with the already known results (Massimo Ortolano and other researchers have computed up to the rectangle of dimensions 388x388). The objective has been to obtain patterns to extrapolate them in order to obtain the solutions to cases not known yet. After implementing Euclid's algorithm, we have seen that it was not very accurate, but after studying its error we have been able to create a better approximation. On the other hand, the Simplified Recursive Algorithm presented a remarkable improvement and has been more accurate than the Euclid's Algorithm. Therefore, it was extrapolated to values much higher than the ones known. In addition, we have proceeded to make a comparison of both algorithms.



## INTRODUCCIÓN

Las teselaciones han sido utilizadas por los humanos desde hace muchos años. Por ejemplo, en la construcción de la Alhambra ya se emplearon los 17 tipos básicos de teselaciones que se ha demostrado que existen [1]. Las teselaciones forman parte de nuestro día a día. Estas, no solo tienen aplicaciones en el arte, sino también las tienen en muchos campos más como en la construcción y la fabricación para optimizar costes; en computación y programación; en diseños 3D, en topografía, etcétera.

Toda teselación debe cumplir dos propiedades: tiene que cubrir la totalidad del espacio que ocupe el objeto al que tesele y no puede haber superposiciones entre las teselas.

Un problema interesante es encontrar la teselación que utiliza el menor número de teselas que cumplan una determinada propiedad. Por ejemplo, si queremos teselar un cuadrado con triángulos, utilizando el mínimo número de estos, necesitaremos dos triángulos. En este proyecto, nos centraremos en un problema de teselaciones de este tipo, el de teselar un rectángulo utilizando cuadrados, pero usando el mínimo número de estos.

## ANTECEDENTES

Llamaremos  $h(m,n)$  a la función que expresa el número mínimo de cuadrados de lado entero necesarios para teselar un rectángulo de dimensiones  $m \times n$ . Se clasifican las soluciones en cuatro casos distintos [3]:

- **Caso cuadrado:** Se dice de un rectángulo que tiene los lados iguales. Por lo tanto,  $h(m,n) = 1$  ya que con un cuadrado se tesele este rectángulo y no existe ninguna teselación que utilice menos de un cuadrado.
- **Caso reducción:** Se dice de un rectángulo de lados  $(dm, dn)$  cuya solución se puede reducir a la solución de un rectángulo de lados  $(m, n)$  (no se sabe si esta reducción se puede hacer para todo  $m$  y  $n$ ).
- **Caso división:** Se dice de un rectángulo cuando la teselación que da la solución se puede dividir mediante un corte vertical u horizontal en dos rectángulos sin romper ningún cuadrado.
- **Caso básico:** Se dice de un rectángulo que no se puede expresar como ninguno de los casos anteriores. El primer rectángulo de caso básico es el  $11 \times 13$ .

Aunque actualmente no se haya conseguido expresar  $h(m,n)$  de forma general, sí que hay estudios matemáticos que demuestran la existencia de ciertas cotas para la función.

- Teorema 1:  $h(m,n) \leq \max(m,n)$  [3]
- Teorema 2: Si  $3m \geq n^2$  entonces  $h(m+n,n) = h(m,n) + 1$  [3]





- Diferentes investigadores han propuesto varias conjeturas que podrían ayudar en la resolución del problema:

- **Conjetura 1:** En conexión con el Teorema 2, una conjetura era que  $\forall m \geq n, h(m, n) + 1 = h(m+n, n)$ . Esta conjetura se demostró falsa con el contraejemplo:  $h(112, 53) = h(59, 53) = 11$  [11].

- **Conjetura 2:**  $\forall m, n; h(m, n) = h(km, kn)$ . Aún no se ha encontrado ningún contraejemplo de ella, pero se cree que es falsa ya que existe una base de datos en la que se exponen muchos posibles contraejemplos, aunque ninguno de ellos ha sido demostrado todavía [10].

- **Conjetura 3:**  $\forall m, n$  tal que  $2n \geq m \geq n$  con  $m, n$  coprimos;

$$\lfloor g(m) \rfloor - 1 \leq h(m, n) \leq \lceil g(m) \rceil + 1, \text{ donde } g(m) = \frac{\log m \sqrt{5}}{\log \phi}.$$

## HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

En este proyecto de investigación se quiere dar respuesta a esta cuestión: ¿Cuál es el mínimo número de cuadrados de lado entero que se necesitarán para teselar un rectángulo también de lado entero? Dar solución a esta pregunta puede ser útil para distintos ámbitos: se puede aplicar a técnicas de integración de circuitos eléctricos (de hecho, hay físicos que actualmente están estudiando el problema [9]) y también para resolver el problema de asignación de subtramas de enlace en la tecnología WiMAX [7] (una gran red Wifi que suele abarcar grandes territorios como ciudades), entre otros.

Por los estudios previos publicados por distintos investigadores entre los que destacan Monaci y Santos [8], conocemos que el problema del cálculo del mínimo número de cuadrados es NP-completo, por lo que será imprescindible abordarlo con otro tipo de algoritmos que no sea el de fuerza bruta. De todos modos, Massimo Ortolano y otros investigadores han aplicado este algoritmo hasta el rectángulo de dimensiones 388x388 [9].

Debido a la complejidad que presenta, la metodología seguida para resolver este problema ha sido la de buscar otros algoritmos que, aunque no den la solución exacta, se acerquen lo más posible a ella sin requerir demasiada capacidad de cálculo.

En una primera fase de la investigación hemos realizado una búsqueda de posibles algoritmos que dieran una solución aceptable al problema, para en una segunda fase, centrarnos en algunos de ellos y realizar un estudio más profundo de las soluciones aportadas. Principalmente nos hemos centrado en el estudio del algoritmo de Euclides y de un algoritmo propio llamado Algoritmo Simplificado Recursivo (ASR).

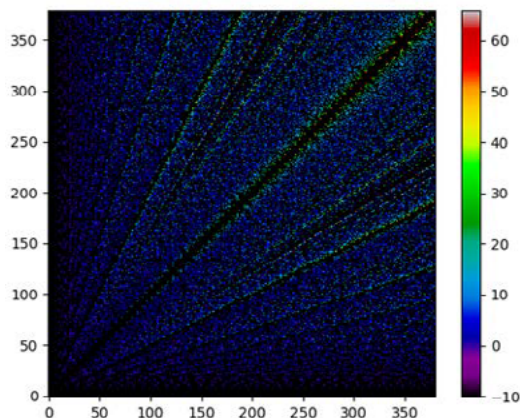


## RESULTADOS

El primer algoritmo que se ha implementado ha sido el algoritmo de Euclides. Este es un conocido algoritmo que se utiliza para calcular el máximo común divisor de dos números. Este algoritmo se puede aplicar también a distancias geométricas, que es de hecho como lo formula Euclides originalmente, y como se va a utilizar en este proyecto [2]. Así, el valor que dará el algoritmo de Euclides para  $h(m,n)$  será el de la suma de los coeficientes de la fracción continua del lado mayor entre el lado menor. Este algoritmo es muy eficiente, tiene una complejidad de  $O(\log(n))$  [12]. Por ello, es muy fácil llegar

Figura 01

Error absoluto del algoritmo de Euclides.



a resultados de rectángulos con lados muy grandes. Este algoritmo no da la solución exacta al problema, así que vamos a analizar su error comparándolo con los resultados ya existentes. En la figura 1 se muestra la diferencia entre los datos generados por el algoritmo de Euclides y los datos de las soluciones ya calculados por [9]. Si analizamos valores estadísticos generales como la media de error absoluto, la media de error relativo y la desviación típica, que son 8.8912, 73.931% y 21.13857 respectivamente, vemos que el error cometido por

Tabla 01

Error algoritmo de Euclides.

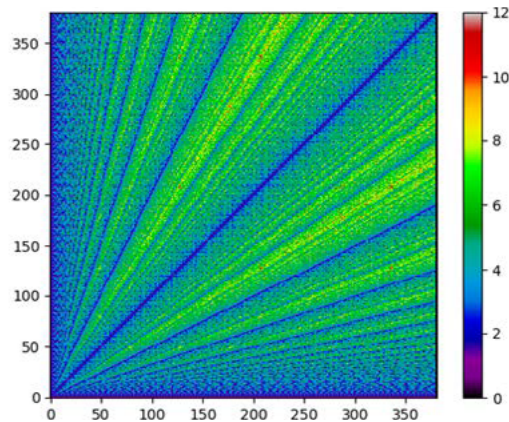
Error	0	1	2	3	4
Número	75408	124870	139464	142250	143258
Porcentaje	52.22 %	86.48 %	96.58 %	98.51 %	99.21 %
Error	5	6	7	8	9
Número	143634	143838	143938	144008	144074
Porcentaje	99.47 %	99.60 %	99.68 %	99.73 %	99.77 %



el algoritmo es bastante grande. En la tabla 1 podemos ver con más detalle el error que comete. En esta tabla, se expresa el número de puntos en los cuales el algoritmo comete un error menor o igual al valor dado. Además, muestra el porcentaje que representa ese número sobre el total. Podemos ver que solo un quinto de los valores calculados no tiene error. Además, la mitad de los datos tiene un error mayor o igual que tres. Por lo tanto, este algoritmo por sí solo no consigue hacer una aproximación eficaz al problema. En la figura 1 podemos observar que existe una mayor densidad de error alrededor de ciertas rectas de pendiente entera que se cortan en el origen. El patrón que parece seguir el error hace que sea más fácil un estudio con la intención de conseguir eliminarlo. La distribución de este error absoluto se asemeja mucho a la figura 2 donde se representan el número de divisiones u operaciones necesarias para llevar a cabo el algoritmo de Euclides. Ahora procederemos a estudiar cada gráfico y a compararlos para buscar patrones en común.

Figura 02

Número de operaciones hechas por el algoritmo de Euclides.



Por lo general, parece que existe una correlación entre ambos gráficos, ya que comparten algunas propiedades como se desarrolla en más detalle en el artículo completo. Definamos el número necesario de operaciones del algoritmo de Euclides para dos números  $a$  y  $b$  como  $D(a,b)$ . Para un estudio más profundo se ha procedido a separar los puntos de coordenadas  $(a,b)$  que tengan distinto valor para  $D(a,b)$ . El valor máximo para  $D(a,b)$  en el gráfico va a ser 12. Así pues, el gráfico del error se subdividirá en 12 gráficos de detalle. En estas imágenes vemos dos ejemplos, con el valor 7 y 8. Si se analizan más detenidamente, podemos observar que si partimos uno de los gráficos con valor de  $D(a,b) = n$  de forma que contenga a todos los puntos con coordenadas menores a  $F_m$ , donde  $F_m$  es el  $m$ -ésimo número de Fibonacci, el siguiente gráfico con dimensiones  $F_{m+1} \times F_{m+1}$  tiene una distribución muy parecida y valores bastante parecidos al anterior. Por lo tanto, sería interesante aproximar un gráfico en el que por cada punto sus coordenadas  $(a,b)$  cumplan que  $D(a,b) = n$  y tenga dimensiones  $F_m \times F_m$  mediante un gráfico que cumpla que  $D(a,b) = n-1$  y que tenga dimensiones  $F_{m-1} \times F_{m-1}$ . Para la aproximación cada punto del nuevo gráfico puede tomar el valor del punto más cercano del gráfico anterior. Debido



Figura 03

Error absoluto del algoritmo de Euclides con  $D(a,b)=7$

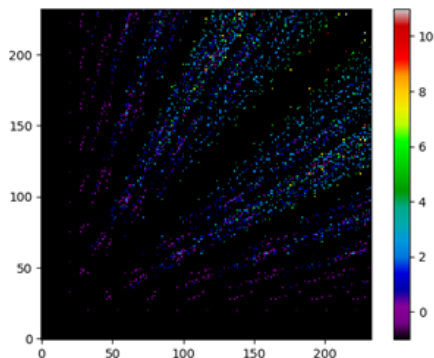
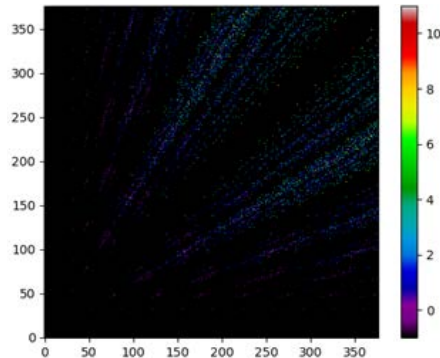


Figura 04

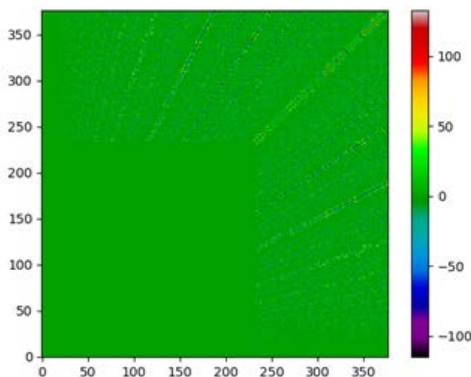
Error absoluto del algoritmo de Euclides con  $D(a,b)=8$



a que ambos gráficos tienen tamaños diferentes, para conseguir la aproximación se puede dividir cada coordenada entre las dimensiones del gráfico. Así se consigue la fracción sobre el total a la que está cada coordenada. Así se haría posible aproximar, a partir de un gráfico inicial, el gráfico siguiente. Si se hace este proceso individualmente para cada gráfico de detalle, se podría obtener una aproximación completa desde un gráfico de dimensiones  $F_m \times F_m$  a otro de dimensiones  $F_{m+1} \times F_{m+1}$ . Este método sirve para todos los valores de  $n$  tal que  $D(a,b) = n$  excepto para el 1 y para el 2. No sirve para el 1 ya que no existe una solución a  $D(a,b) = 0$ . El error que comete el algoritmo de Euclides en los rectángulos de lados  $a, b$  tales que  $D(a,b)=1$  siempre es cero. Como consecuencia este método tampoco sirve para el 2 (ya que estos puntos no tienen error 0 en la realidad). La medida que se ha tomado para arreglar este desajuste en el método ha sido suponer el valor de  $h(m,n)$  siguiendo la conjetura 3 para estos valores. Esta medida no puede evitar generar un pequeño error, pero así quedaría completo el método de aproximación. Se hará una implementación de este método desde el gráfico  $233 \times 233 = F_{14} \times F_{14}$  a uno de  $377 \times 377 = F_{14} \times F_{14}$  para comprobar la efectividad de la aproximación; y una aproximación desde el gráfico  $377 \times 377$  hasta el  $610 \times 610 = F_{15} \times F_{15}$  siguiendo con los objetivos del

Figura 05

Comparación del error absoluto tras aproximación al 377.





proyecto. Tras la implementación, se han obtenido los siguientes resultados. Si analizamos valores estadísticos generales, la aproximación tiene un error absoluto medio de 8.078, un error relativo medio de 67.74 % y una desviación típica de 20.872. En cambio, hasta el 377x377 el algoritmo de Euclides tiene un error absoluto medio de 8.863, un error relativo medio de 73.77 % y una desviación típica de 21.045. En comparación, esta aproximación no es del todo exacta, pero se parece bastante. La siguiente figura muestra la diferencia entre los datos de la aproximación y los datos del error absoluto conocidos. El color predominante es el verde, que corresponde a un error nulo o pequeño. Además, podemos observar que en las zonas donde se acumula mayor error son otra vez las mismas zonas rectilíneas donde el algoritmo de Euclides producía mayor error. En la tabla 2 se puede observar el número total de puntos para los cuales la aproximación comete un error menor o igual al indicado (en valor absoluto). Además, se muestra el porcentaje de los puntos totales que repre-

Tabla 02

<b>Error</b>	<b>0</b>	<b>±1</b>	<b>±2</b>	<b>±3</b>	<b>±4</b>
<b>Número</b>	99417	110333	117335	121945	125386
<b>Porcentaje Total</b>	69.95 %	77.63 %	82.56 %	85.80 %	88.22 %
<b>Error</b>	<b>±5</b>	<b>±6</b>	<b>±7</b>	<b>±8</b>	<b>±9</b>
<b>Número</b>	127906	129680	131241	132453	133436
<b>Porcentaje Total</b>	89.99 %	91.21 %	92.34 %	93.19 %	93.88 %

senta ese número de puntos. Podemos ver que alrededor del 70% de los datos tiene un error 0. Esto supone un gran avance en comparación con el algoritmo de Euclides que acierta sin errores solo el 19.5% de los rectángulos (Tabla 1). Los porcentajes de acierto, aunque no son perfectos, mejoran notablemente la actuación del algoritmo de Euclides. Sin embargo, el método tiene errores positivos o negativos, lo que provoca que la incertidumbre de la solución sea más grande. El 90 % de los datos se encuentran en un intervalo de longitud 11 (exactamente el [-5,5]). Además, al querer aproximar el error del algoritmo de Euclides a valores bastante más altos, el error se volvería cada vez más grande ya que al tener que hacerse la aproximación de forma escalonada (se pasa de dimensiones  $F_m \times F_m$  a dimensiones  $F_{m+1} \times F_{m+1}$ ) el error se acumula y arrastra. Esto se debe a que no siempre se puede partir de un gráfico con error 0 como es este caso. El método de aproximación, además de para este caso, también se ha implementado para aproximar el gráfico del error absoluto cometido por el algoritmo de Euclides hasta dimensiones 610x610 utilizando los datos del gráfico de dimensiones 377x377.

Con objeto de mejorar los resultados obtenidos por el algoritmo de Euclides, he diseñado un nuevo algoritmo, basado en los casos de división, al que he denominado Algoritmo Simplificado Recursivo (ASR). Como indica su nombre, es simplificado ya que no calcula todas las distintas teselaciones para sacar la aproximación de  $h(m,n)$ , y es recursivo ya que basa su respuesta en las soluciones que ha calculado previamente. El algoritmo funciona de la siguiente



manera: dado un rectángulo del que se quiere conocer la teselación mínima, se distinguen dos casos:

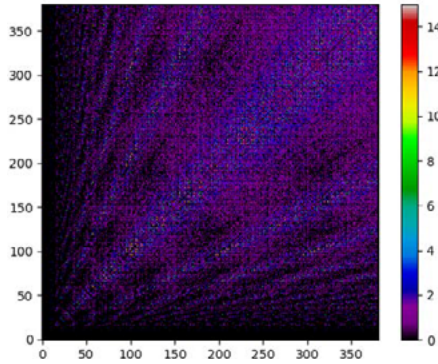
- El primer caso ocurriría cuando el lado menor del rectángulo divide al lado mayor. Entonces el algoritmo devuelve el cociente de ambos lados (esto se demostró cierto anteriormente).

- El segundo caso es para las demás posibilidades. Dado un rectángulo que no cumpla la condición del primer caso:

1. Se hace un corte vertical separando al rectángulo en dos rectángulos con uno de los lados más pequeños. Al ser los dos rectángulos más pequeños, sus soluciones ya se habrían calculado previamente.
2. Después, ambas soluciones se suman.
3. Análogamente, esto se repite con todos los posibles cortes verticales y horizontales.

Figura 06

Error absoluto del algoritmode ASR.



Entonces el algoritmo devuelve la menor suma de las obtenidas. Este algoritmo es bastante eficiente, ya que para cada rectángulo de lados  $m$  y  $n$  se necesitan  $[m2]+[n2]$  operaciones. Por ello, es fácil obtener resultados de rectángulos con lados muy grandes. Como ocurría con el algoritmo de Euclides, este algoritmo no da la solución exacta al problema, así que analizaremos su error comparándolo con las soluciones ya conocidas. En la figura 6 podemos observar el gráfico que muestra el error absoluto que da este algoritmo hasta el rectángulo de lados  $380 \times 380$ . Estadísticamente, el error cometido por este algoritmo es pe-

Tabla 03

<b>Error</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Número</b>	28184	43878	62374	73478	83468
<b>Porcentaje</b>	19.52 %	30.39 %	43.2 %	50.89 %	57.8 %
<b>Error</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Número</b>	92672	99188	104362	108438	112848
<b>Porcentaje</b>	64.18 %	68.69 %	72.27 %	75.1 %	78.15 %

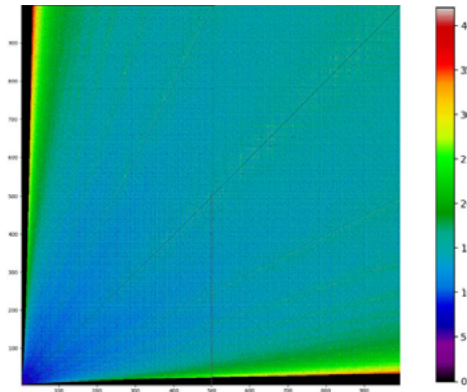




queño: su media de error absoluto es de 0.691662, su media de error relativo es de 5.832 % y su desviación típica es de 1.0457. La distribución de error es bastante dispersa y no se aprecia a primera vista un patrón claro. Aun así, se aprecia una mayor densidad de error alrededor de las rectas con pendiente entera, como en el algoritmo de Euclides. Al igual que con los demás algoritmos, procederemos a analizar su error mediante la tabla 3. En esta tabla se puede observar el número de puntos en los que la aproximación ha cometido un error menor o igual al indicado. También se muestran los porcentajes sobre el total de datos. Podemos observar que con este algoritmo calculamos correctamente más del 50 % de los resultados (frente al 20 % del algoritmo de Euclides), lo que supone una mejora importante, aunque sigue estando lejos del 100 %. Lo destacado de este algoritmo es que más del 95 % de los datos tienen un error menor o igual que dos, lo que hace que sea bastante preciso y con una incertidumbre baja. Además, el número de datos que tienen un error grande o mayor

Figura 07

Extrapolación hasta  
1000x1000



que 4 es ínfimo (menor que el 0.8 %). Podemos concluir que este algoritmo es muy eficaz y nos permite hallar las soluciones sin demasiado error. Siguiendo con los objetivos del proyecto procedemos a realizar una extrapolación de los resultados para todos los rectángulos que tengan lados menores a 1000. La figura 7 es el resultado de esta implementación. En ella, se han suprimido los valores que cumplían el Teorema 2 para una mejor visión de los resultados. En la zona central, se puede apreciar en color verde, que según la leyenda indica un error ligeramente mayor al de color azul, los puntos que tienen mayor error absoluto.

Tras estudiar el error de los algoritmos propuestos, analizar los patrones que este sigue y hacer una extrapolación a los resultados no conocidos, procedemos a comparar todos estos datos. En cuanto al error, hemos observado que el ASR es bastante más exacto que el algoritmo de Euclides. Esto es así ya que, por definición del algoritmo, el ASR engloba todas las soluciones que el algoritmo de Euclides y muchas más. Para ver que esto se cumple no solo en los rectángulos de lados menores que 380, se ha calculado esta misma media de error en función de las dimensiones de los gráficos conocidos (desde dimensiones 1x1



Figura 08

Error medio del algoritmo ASR.

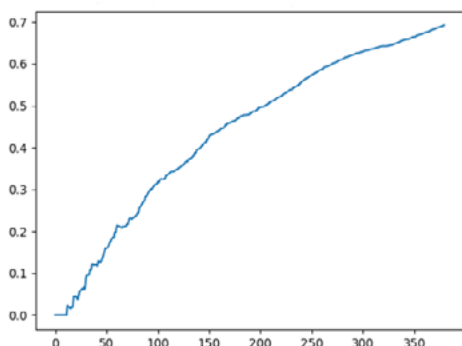
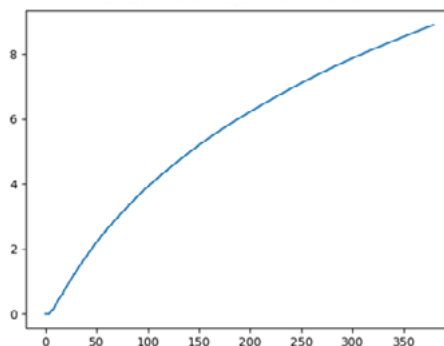


Figura 09

Error medio del algoritmo de Euclides.



hasta  $380 \times 380$ ). Los resultados se pueden visualizar en la figura 9 y la figura 8, que corresponden al algoritmo de Euclides y al ASR respectivamente. Podemos ver como la evolución del error medio sigue una forma parecida, pero si se observan las escalas de los gráficos, se puede ver que el del ASR siempre es mucho más exacto que el del algoritmo de Euclides. Destaca la suavidad que presenta la función de la figura 9, que podría ser objeto de un estudio más detallado. En cuanto a la eficiencia computacional, ambos algoritmos son bastante eficientes. El algoritmo de Euclides es un poco más eficiente (complejidad logarítmica) ya que debe calcular menos casos, pero ambos son viables para su ejecución. Finalmente, cabe destacar que el ASR, al ser recursivo, cuando comete error lo acumula y lo arrastra. Por ejemplo, en el gráfico de dimensiones  $380 \times 380$  el 52.22 % de los puntos tenían error 0 y un 34.26 % de los puntos tenían error 1 (tabla 3). Debido a esto, se esperará que el error se incremente conforme aumentan las dimensiones del rectángulo.

## CONCLUSIONES

Por los estudios previos publicados por distintos investigadores entre los que destacan Monaci y Santos [8], conocemos que el problema del cálculo del mínimo número de cuadrados es NP-completo, por lo que sería imprescindible abordarlo con otro tipo de algoritmos que no sea el algoritmo de fuerza bruta. Por ello, la estrategia seguida para resolver este problema ha sido la de buscar otros algoritmos que, aunque no den la solución exacta, se acerquen lo más posible a ella sin requerir demasiada capacidad de cálculo. Nos hemos centrado en el estudio del algoritmo de Euclides y de un algoritmo propio llamado Algoritmo Simplificado Recursivo (ASR).

Después del estudio detallado de estos algoritmos, podemos concluir que:

- El algoritmo de Euclides ha resultado no ser demasiado exacto, aunque sí muy eficiente computacionalmente. Sin embargo, su error se distribuye de una forma muy característica, lo que nos ha permitido realizar un estudio sobre su error, y





aproximarlo de forma que podamos tener una solución más exacta que la que da el algoritmo inicialmente.

- El ASR, ha resultado ser un algoritmo bastante exacto y, aunque no tanto como el algoritmo de Euclides, es también eficiente computacionalmente. Sin embargo, su error se distribuye de una forma más caótica y no se han podido identificar patrones claros.

No se ha conseguido encontrar la solución exacta al problema, pero sí que hemos conseguido aproximarnos a ella cometiendo un pequeño error y sin la necesidad de disponer de demasiada capacidad de cálculo, como era el objetivo del proyecto. Con vistas al futuro, sería interesante seguir investigando en incorporar mejoras al algoritmo ASR, especialmente para mejorar los casos donde se produce mayor error, así como ver cómo evitar la propagación del error que se produce por la recursividad. Solventados estos problemas se podría dar una solución más precisa al problema planteado.



## BIBLIOGRAFÍA

- ARDILA, F. y STANLEY, R. P. Tilings, 2005.  
URL: <https://arxiv.org/abs/math/0501170v3>
- EUCLIDES. *The thirteen books of Euclid's elements*. Dover books explaining science and mathematics. Dover Publications Cambridge University Press, New York London, 2nd ed. rev. with additions. Edición, 1956. ISBN: 0486600882.
- FELGENHAUER, B. Filling rectangles with integer-sided squares, 2017.  
URL: <http://int-e.eu/~bf3/squares/>
- KENYON, R. A note on tiling with integer-sided rectangles. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 74(2):321-332, 1996. DOI: 10.1006/jcta.1996.0053  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097316596900539>
- KENYON, R. Tiling a rectangle with the fewest squares. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 76(2):272-291, 1996. DOI: 10.1006/jcta.1996.0104  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097316596901041>
- KURZ, S. Squaring the square with integer linear programming. *Journal of Information Processing*, 20(3):680-685, 2012. DOI: 10.2197/ipsjjip.20.680.
- LODI, A., MARTELLO, S., MONACI, M., CICCONE, C., LENZINI, L., MINGOZZI, E., EKLUND, C. y MOILANEN, J. Efficient two-dimensional packing algorithms for mobile wimax. *Management Science*, 57:2130-2144, dic. de 2011. DOI: 10.2307/41406337
- MONACI, M. y SANTOS, A. G. dos. Minimum tiling of a rectangle by squares. *Annals of Operations Research*, 2018. DOI: 10.1007/s10479-017-2746-2  
URL: <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2746-2>
- ORTOLANO, M., ABRATE, M. y CALLEGARO, L. On the synthesis of quantum hall array resistance standards. *Metrologia*, 52(1):31-39, feb. de 2015. DOI: 10.1088/0026-1394/52/1/31
- PEGG, E. Possible counterexamples to the minimal squaring conjecture, Jul, 2017.  
URL: <https://goo.gl/Mvurme>
- PEGG, E. Minimally squared rectangles, 2013.  
URL: <http://demonstrations.wolfram.com/MinimallySquaredRectangles/>
- WALTERS, M. Rectangles as sums of squares. *Discrete mathematics*, Volume 309, Issue 9:2913-2921, 2009. DOI://doi.org/10.1016/j.disc.2008.07.028







# Estudio espectrofotométrico de fuentes de luz artificiales y de la luz solar

---

/ TERCER PREMIO

**AUTORES** | JAVIER SÁNCHEZ-BONILLA MARTÍNEZ Y JUAN ÁLVAREZ ORDINAS

**COORDINADOR** | JOSÉ FRANCISCO ROMERO GARCÍA

**CENTRO** | CC RETAMAR

**CIUDAD** | POZUELO DE ALARCÓN-MADRID

## RESUMEN |

Este trabajo consiste en un estudio espectrofotométrico de diversas fuentes de luz del laboratorio y un estudio del espectro de la luz recibida del Sol. Para ello, construimos un espectrofotómetro y escribimos un programa informático para analizar los datos obtenidos y calibrar la longitud de onda. El espectrómetro está compuesto por una webcam y un DVD actuando como red de difracción. Gracias a este instrumento hemos podido obtener datos de calidad científica sin tener que pagar miles de euros. El estudio de la luz que pasa a través de la atmósfera nos permite obtener mucha información sobre su composición.

## ABSTRACT |

This paper consists of a spectrometric study of many light sources found in our laboratory as well as of the spectrum of sunlight received at ground level. To do so, we built a spectrometer and coded a program to analyse data obtained and calibrate the wavelength. The spectrometer is composed of a webcam and a DVD used as a diffraction grating. Thanks to this instrument we have been able to obtain scientific quality data without having to pay thousands of euros. The study of the light that passes through the atmosphere allows us to obtain a lot of information about its composition.



## 1. INTRODUCCIÓN

La primera vez que aprendimos sobre los espectros de las sustancias fue en una clase sobre el modelo atómico de Bohr. Allí nos explicaron que este permitía entender el espectro discontinuo del átomo de hidrógeno. Desde entonces nos sentimos intrigados por el tema de la espectroscopía y lo que nos permite estudiar sobre las propiedades de la materia.

La creciente importancia del cuidado del medio ambiente nos hizo querer estudiar la atmósfera de Madrid y ver si la contaminación atmosférica u otros factores afectan al espectro solar recibido desde el nivel del suelo. Para ello, elaboramos un espectrofotómetro “casero” utilizando una red de difracción (un DVD) y una webcam normal a la que se le quitó el filtro de infrarrojos. Se utilizó este instrumento para medir el espectro solar bajo diferentes condiciones.

## 2. ANTECEDENTES Y BASE TEÓRICA

Antes de describir el experimento realizado, explicaremos la base teórica necesaria en la que se basa.

### 2.1 EL ESPECTRO SOLAR

Hay fundamentalmente dos tipos de dispersión de la luz: la de Rayleigh y la de Mie. La dispersión de Rayleigh se produce cuando la luz choca en su camino con partículas mucho menores a su longitud de onda. Estas son principalmente partículas de gases. La luz es absorbida por la partícula y emitida en todas direcciones. La intensidad de la luz dispersada es inversamente proporcional a la longitud de onda a la cuarta. Esto quiere decir que la luz de menor longitud de onda, como el azul y el violeta es dispersada con mayor intensidad.

Por otro lado, la dispersión de Mie está causada por partículas mucho más grandes que la longitud de onda, los aerosoles. Los aerosoles son coloides formados por partículas líquidas o sólidas suspendidas en un gas. Estas partículas tienen orígenes muy distintos: polvo del desierto, cenizas de incendios forestales, volcanes... La contaminación antropogénica también crea aerosoles, ya que el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno producidos por combustión se convierten en sulfatos y nitratos (aerosoles) al estar en la atmósfera. Las nubes son gotas de agua suspendidas en la atmósfera, por lo tanto también son aerosoles.

La dispersión de Mie ocurre cuando la luz se choca contra una de estas partículas grandes. La mayor parte de la luz reflejada se dirige hacia delante (en el sentido del rayo) (Nave, 2010) y una parte es absorbida por la partícula. Según el tipo de partícula el espectro de absorción varía. La intensidad de la luz reflejada es prácticamente independiente de la longitud de onda (AstroMía, n.d.).

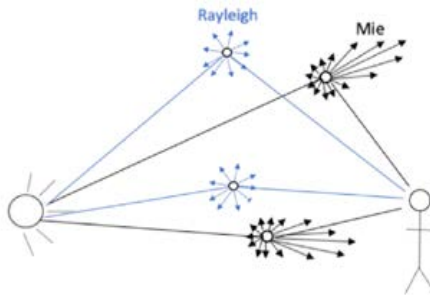


Estos dos fenómenos explican la composición espectral de la luz que nos llega del Sol. Cuando nos llega la luz de forma indirecta, la dispersión de Rayleigh tiene lugar y predomina el color azul (el violeta no lo vemos tanto por los fotorreceptores de nuestra retina, es un tema biológico). Al mirar a una nube, vemos luz de color blanco ya que predomina la dispersión de Mie y todas las longitudes de onda la sufren por igual. Durante el atardecer el cielo se vuelve de color rojizo debido a los dos fenómenos. El recorrido que recorre la luz a través de la atmósfera es más largo que en el resto del día. La luz de color azul se dispersa más que la roja según Rayleigh y pierde más energía.

La dispersión de Mie acrecienta el color rojizo de la luz, debido a la acumulación de aerosoles que deja pasar en mayor medida la luz rojiza. Por eso el cielo del atardecer es rojizo o anaranjado.

**Imagen 01**

Dispersión de la luz que llega de manera directa e indirecta.  
Elaboración propia.



**2.2 DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UN ESPECTROFOTÓMETRO CON UNA WEBCAM**

El espectrómetro que utilizamos tiene dos componentes principales: la red de difracción (un DVD) y la webcam. La luz entra en una caja oscura (forrada por dentro con cartulina negra para evitar reflejos) por una estrecha rendija. El haz de luz que entra llega a la red de difracción. La red de difracción dispersa la luz en sus diferentes longitudes de onda creando un espectro. Cuando la luz del espectro llega a la webcam, esta toma una fotografía.

Una red de difracción está compuesta de muchas ranuras muy juntas. La luz sale de la red de difracción en un determinado ángulo dependiendo del ángulo de incidencia y de la longitud de onda según la ecuación

$$d(\text{sen } \alpha - \text{sen } \beta) = n\lambda$$

donde  $d$  es la distancia entre las ranuras,  $\alpha$  es el ángulo de incidencia respecto a la normal del plano de la red,  $\beta$  es el ángulo con el que sale la luz difractada,  $\lambda$  es la longitud de onda del rayo y  $n$  es el orden de difracción.  $n$  puede tomar cualquier valor entero positivo o negativo.



El DVD tiene unos surcos circulares conceptualmente similares a los de un disco de vinilo. Estas líneas circulares actúan como una red de difracción. El espectro producido es ligeramente curvo pero este efecto es despreciable. Usar un DVD de 4,7 GB es preferible a un CD ya que tiene más líneas por mm (1351 frente a 625 líneas por mm). Una separación menor entre las líneas, según la ecuación de las redes de difracción, hace que el espectro se disperse más y tengamos una mayor resolución espectral, ya que las líneas estarán más separadas.

Los datos del espectro se recogen en una fotografía. La imagen se utiliza para obtener dos datos: la posición de la luz (longitud de onda) y su intensidad. Primero hay que realizar una calibración que se explica más adelante.

Cada píxel contiene tres números entre el 0 y el 255 según el sistema RGB (*Red Green Blue*). Corresponden a la intensidad del color rojo, verde y azul de cada píxel. La intensidad que debemos tomar es el máximo de esos tres.

### 3. OBJETIVOS

- Los objetivos de este trabajo de investigación son:
- Construir un espectrofotómetro funcional
- Calibrarlo y analizar espectros de diferentes fuentes de luz
- Creación de un *software* de análisis de los datos propio
- Comprobar el efecto de la dispersión de Rayleigh y de Mie
- Estudiar la evolución de la contaminación en Madrid

Nuestra hipótesis es que la contaminación y otros aerosoles en el aire influyen en el espectro solar volviéndolo más rojizo. Para tratar de demostrarla haremos un análisis espectrofotométrico.

### 4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 4.1 MATERIALES

Los materiales utilizados además de aquellos necesarios para la infraestructura son:

- Para la construcción del espectrofotómetro:
  - Una webcam Trust Exis 640p
  - Un DVD de 4,7 GB
  - Etanol





- Para el análisis de los datos y la calibración del instrumento:
  - Anaconda (distribución de Python para uso científico)
  - Programa informático de elaboración propia (escrito en Python)
  - Lámpara fluorescente como fuente de luz conocida
  - Espectrofotómetro profesional Ocean Optics Red Tide (ofrecido por la Universidad Complutense de Madrid)
- Fuentes de luz estudiadas:
  - Láseres: verde (532 nm), violeta, rojo de Helio-Neón.
  - LED blanco y rojo.
  - Lámpara de sodio.

## 4.2 METODOLOGÍA

Este experimento tiene cuatro fases: construir el espectrofotómetro, calibrarlo, estudiar las fuentes de luz artificiales y estudiar el espectro de la luz solar.

### 4.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO

Lo primero que hicimos fue hacer una caja de madera pegando varias tablas de contrachapado de madera previamente cortadas. Como ya hemos indicado antes, revestimos el interior de las tablas con cartulina negra para evitar reflejos dentro de la caja oscura. En la parte frontal de la caja hay una rendija formada por dos cuchillas para espátula ligeramente separadas entre sí para permitir que entre la luz.

Las cuchillas de espátula son una gran opción para esta rendija. La separación entre las dos debía ser muy pequeña para aumentar la precisión del instrumento. Al ser más fina la rendija aumenta la precisión, pero disminuye la cantidad de luz que entra. Para evitar que entre la luz exterior y produzca alteraciones en las medidas se pone cinta americana en las partes en las que la madera no tapa bien.



Para poder utilizar la webcam y el DVD debemos prepararlos primero. A la webcam le quitamos la carcasa de plástico decorativa para que no ocupe tanto espacio dentro de la caja oscura. Desenroscamos la lente (es una lente manual) para poder quitarle el filtro de infrarrojos. Es un pequeño vidrio de color verdoso que se encuentra en la parte trasera. Al hacer esto, podremos hacer mediciones en el infrarrojo cercano. Después volvemos a enroscar la lente.



La preparación del DVD es sencilla. Con ayuda de un cúter separamos las dos capas del DVD. Nos quedamos con la parte que no tiene espejo y desechamos la otra. El trozo con el que nos hemos quedado tiene un tinte orgánico fotosensible morado que debemos quitar para que no afecta a las medidas tomadas. Se desprende fácilmente al lavarlo con etanol y dejarlo escurrir. El etanol es un disolvente orgánico que disuelve con facilidad el tinte orgánico morado. Para esto también sirve la acetona. Luego cortamos un trozo de la parte exterior del disco, donde los surcos son menos curvos, para usarlo como red de difracción.

#### 4.2.2 CALIBRACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA Y MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS



La fuente de luz que utilizamos para calibrar el instrumento es una lámpara fluorescente. Este tipo de lámparas presenta varios picos característicos de longitud de onda conocida. En concreto, usaremos dos de ellos, el de 546,5 nm y el de 611,6 nm. Conociendo la posición de dos píxeles y sus longitudes de onda correspondientes podemos hacer un modelo de regresión lineal que relaciona la columna en la que se encuentra cada píxel con la longitud de onda que le corresponde.

Utilizamos como medida de la intensidad relativa el valor máximo del píxel según el sistema RGB dividido entre 255 (el máximo valor posible para un píxel) y expresamos la intensidad en porcentaje.

El programa informático lo escribimos en Python por su flexibilidad. Utilizamos la librería OpenCV para analizar las imágenes píxel a píxel, NumPy para trabajar con grandes cantidades de números y Matplotlib para mostrar los resultados de manera visual. El modelo de regresión lineal (recta de calibración) también lo implementamos en Python.



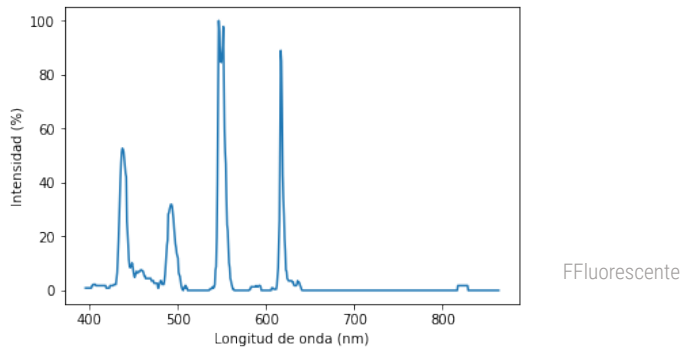
Como parte de nuestro estudio, tomamos datos de fuentes de luz como bombillas fluorescentes, un láser verde, un láser violeta, un láser rojo de Helio-Neón, una lámpara de sodio, la linterna de un móvil (LED blanco) y un LED rojo.

### 4.2.3 ESTUDIO DEL ESPECTRO DE LA LUZ SOLAR

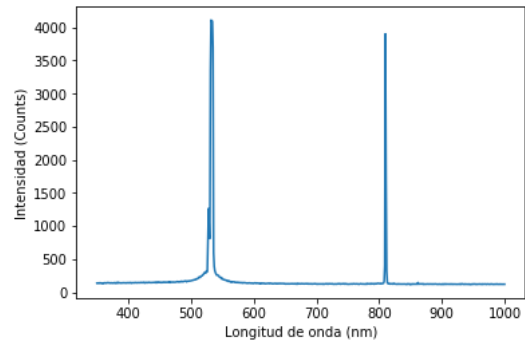
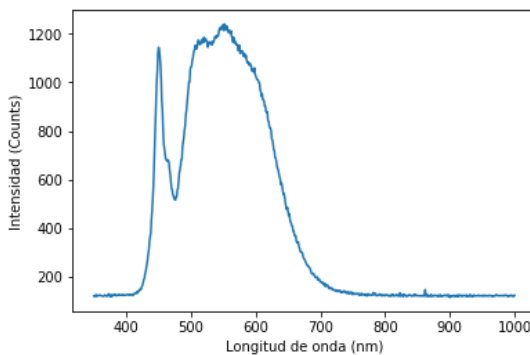
Se tomaron medidas variando las condiciones. También se apuntó el instrumento en distintas inclinaciones con respecto al horizonte, para comprobar el efecto de la dispersión de Mie y de Rayleigh. Además, al hacer mediciones a lo largo de varios días, se observó el efecto de la meteorología (cielo nublado o despejado).

## 5. RESULTADOS

La calibración utilizando una lámpara fluorescente fue muy satisfactoria. Se pudo comprobar que el instrumento tiene una precisión muy buena. Gracias a la Universidad Complutense de Madrid, pudimos utilizar un espectrofotómetro con el que mejorar la calibración. Lo utilizamos para analizar ciertas fuentes de luz para la calibración y para comparar los resultados obtenidos con los nuestros.



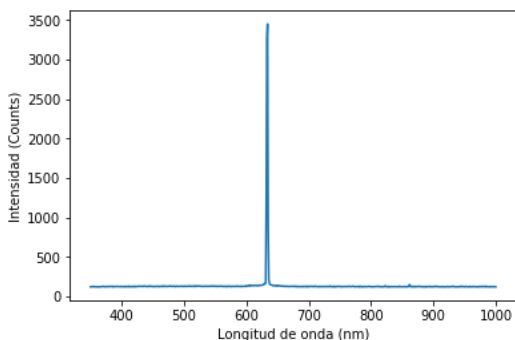
La imagen obtenida del LED blanco es un espectro continuo. Esto tiene sentido ya que la luz que emite está formada por todos los colores. Pudimos observar un interesante fenómeno al analizar el espectro del láser verde y del violeta.



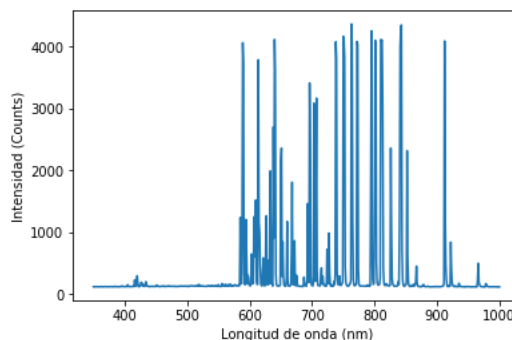


En lugar de presentar un único pico como cabía esperar, se veían pico de intensidad un poco menor correspondiente a una longitud de onda más alta, en el rango infrarrojo. En el caso del láser verde, por ejemplo, además de la línea de 532-533 nm, había una línea en los 808 nm. La línea secundaria del láser violeta está justo en el límite de nuestro rango de medición (es el orden 2 de la red de difracción). La observación que realizamos del láser verde se debe al mecanismo de funcionamiento del láser, que primero genera una radiación infrarroja y luego transforma su frecuencia. Los láseres pueden ser usados para calibrar el espectrofotómetro, mientras que los LEDs no sirven ya que no tienen una longitud de onda concreta.

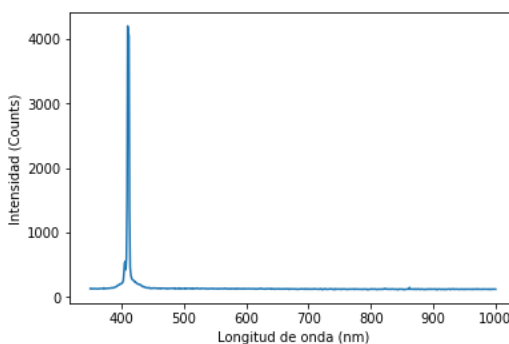
Cuando tomamos los datos de la luz solar, pudimos observar que es mucho más variable de lo que imaginábamos previamente.



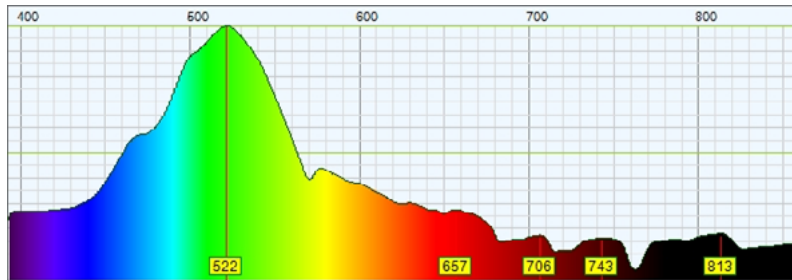
Láser He-Ne rojo



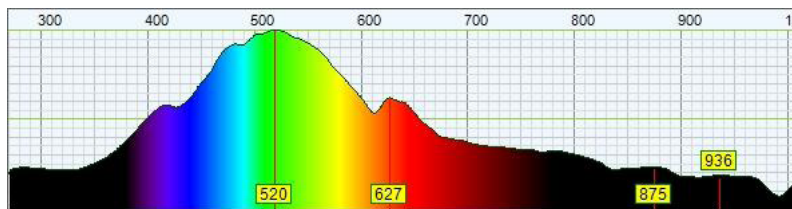
Neón (lámpara de sodio fría)



Láser violeta



Día nublado (analizado con Theremino)



Día nublado (analizado con Theremino)

## 6. CONCLUSIONES

Hemos sido capaces de construir un espectrofotómetro funcional, calibrarlo con una lámpara fluorescente y utilizarlo para medir el espectro de emisión de varias fuentes de luz del laboratorio. El programa que creamos en Python funcionó como se esperaba y se obtuvieron resultados satisfactorios. Cabe resaltar que al estudiar los láseres hallamos una línea de emisión secundaria en el rango infrarrojo, debida a un fallo de fabricación. Esto no se puede ver a simple vista ya que esa línea secundaria está fuera del espectro visible por el ojo humano.

En el estudio de la luz solar nos dimos cuenta de que son muchos los factores que afectan a la luz que recibimos. Algunos de los que identificamos fueron el momento del día (amanecer, mediodía, atardecer...), la presencia de nubes y apuntar directamente al Sol o a otro lugar del cielo. Al apuntar a las nubes en lugar de al cielo azul pudimos comprobar el efecto de la dispersión de Rayleigh (en el cielo) y de Mie (en las nubes).



## BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

AstroMía (n.d.) “Efecto Rayleigh y efecto Mie”. Disponible en:

<https://www.astromia.com/astronomia/rayleighmie.htm>

(Consultado el 15/04/2019)

Ford, A. y Roberts, A. (1998) “Colour space conversions”, Westminster, Universidad de Westminster. Disponible en:

<http://www.photo-lovers.org/pdf/coloureq.pdf> (Consultado el 16/04/2019)

Nave, R. (2010) “Rayleigh and Mie dispersion”, *Hyperphysics*. Disponible en:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/atmos/blusky.html#c4>

(Consultado el 15/04/2019)

Nave, R. (2010) “Diffraction gratings”, *Hyperphysics*. Disponible en:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/grating.html>

(Consultado el 15/04/2019)





## ¿En qué medida la geometría de los imanes y la separación entre ellos afecta a la velocidad de salida de un acelerador magnético (cañón de Gauss)?

---

/ TERCER PREMIO

**AUTORA** | ESTHER REVENGA VILLAGRA

**COORDINADOR** | ENRIQUE CAO RODRÍGUEZ

**CENTRO** | IES ROSALÍA DE CASTRO

**CIUDAD** | SANTIAGO DE COMPOSTELA-A CORUÑA

### RESUMEN |

En este trabajo se ha comprobado como varía la velocidad de salida de un Cañón de Gauss dependiendo de la geometría de los imanes utilizados (rectangulares o cilíndricos) y como afecta la separación entre ellos a lo largo del raíl. Para ello, se dispusieron en primer lugar los imanes rectangulares sobre el raíl, y se midió el alcance horizontal de la última bola para distintas separaciones. Posteriormente, se hizo lo mismo con los imanes cilíndricos.

Se pudo comprobar casi de forma inmediata que los cilíndricos proporcionaban una mayor velocidad de salida, sin embargo, no había una relación lógica entre las velocidades que se obtenían al ir aumentando la distancia entre ellos. Por ello, se buscó la fuente del error, que resultó ser que, a pequeñas distancias entre imanes, sus campos magnéticos interactúan entre sí cuando no estaban orientados de la misma forma, alterando la geometría del mismo. Una vez identificado el error, se realizaron nuevas medidas, llegando a la conclusión de que existe una distancia óptima entre imanes, para la cual la velocidad de salida es máxima. También se ha teorizado sobre el hecho de que, a partir de esa distancia ideal, la velocidad de salida descienda de un modo exponencial hasta el punto en el que los imanes no proporcionan suficiente energía cinética a las bolas como para romper la barrera de potencial.





## ABSTRACT |

In this study it has been checked how the final speed in a Gaussian Cannon varies according to the geometry of the magnets used (rectangular or cylindrical) and the separation between them along the rail. To do so, firstly, the rectangular magnets were placed on the rail and the horizontal displacement of the last metallic ball was measured for several different separations. Then, the same procedure was carried out with the cylindrical magnets.

Almost instantly it could be seen that these last magnets produced a larger final speed, however, there was no logical relation between the speeds that were obtained as the separation between them was increased. Therefore, the error was searched and ended up being observed that it was related with the orientation of the magnets when they were at very short distances between each other. In this situation, the magnetic field of the magnets interact with each other and alter the geometry of it. Once the error was identified, new measures were taken, reaching the conclusion that there is an optimal separation between magnets, at which the final speed is greatest. It has also been guessed that beyond that ideal separation, the final speed decreases exponentially up to the point in which the magnets cannot transmit to the balls enough kinetic energy so as to break the potential barrier.



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 MOTIVACIÓN

La motivación para la realización de este trabajo deriva de la intención de combinar dos áreas de la física: el momento lineal y el magnetismo. Para ello, se decidió llevar a cabo el diseño y montaje de un Cañón de Gauss, pues el funcionamiento de este se basa en la conservación de dicho momento y en la aceleración producida por imanes. Se intentó diseñar un sistema suficientemente versátil como para poder hacer variaciones con el fin de encontrar el diseño óptimo.

### 1.2 OBJETIVO<sup>1</sup>

El objetivo de este trabajo es comprobar las condiciones en las que un Cañón de Gauss (acelerador magnético) es más eficiente (significando que produce una mayor aceleración), comparando distintas geometrías de imanes y distintas distancias entre ellos. Todo esto se puede resumir en que se intentará responder a la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las condiciones óptimas para que la bola lanzada desde un acelerador magnético adquiera una mayor velocidad?

### 1.3 HIPÓTESIS INICIAL

Inicialmente se supuso que, cuanto mayor fuera la separación entre los imanes, menor sería la velocidad de salida de la última bola metálica, pues la fuerza de rozamiento actuaría durante más tiempo, provocando así una mayor pérdida de energía cinética antes de llegar al último imán. Por ello, se pensó que las condiciones óptimas se darían cuando los imanes se encontraran a la menor distancia posible unos de otros.

Por otro lado, se percibió que los imanes con una geometría cilíndrica serían más adecuados, pues las líneas de campo de estos propician que las bolas colisionen justo en el centro del imán, donde se encuentran los polos. Los imanes rectangulares parecían tener los polos distribuidos a lo largo de sus caras.

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 MOMENTO LINEAL

El momento lineal se define como la cantidad de movimiento que tiene un cuerpo con masa. Es una magnitud vectorial expresada de la forma:  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$  donde  $\vec{p}$  es el vector del momento lineal (cuya dirección y sentido son los mismos que los de  $\vec{v}$ ),  $m$  es la masa del cuerpo y  $\vec{v}$  es el vector de la velocidad

<sup>1</sup> Puede ser conveniente leer primero el apartado 3.2.1 en el cual se describe el acelerador magnético que se va a construir



instantánea del objeto. La unidad de momento lineal en el Sistema Internacional es el **kg·m·s<sup>-1</sup>**. Cabe mencionar que, si una fuerza neta se aplica sobre un sistema, dicho sistema se verá acelerado, lo que provocará una variación en la velocidad del cuerpo y consecuentemente también cambiará su momento

lineal, de acuerdo con la siguiente fórmula:  $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$ .

### 2.1.1. COLISIONES

Se considera una colisión cualquier interacción que conlleva una transferencia de momento lineal. Como dicta el **Principio de Conservación del Momento Lineal**, mientras no haya una fuerza externa al sistema que haga trabajo, el momento lineal permanece constante. Muchas colisiones cumplen con este Principio, y se pueden clasificar dependiendo de su conservación de la energía cinética en colisiones elásticas y colisiones inelásticas (estas últimas no serán tratadas en este trabajo pues no son de relevancia para el mismo).

#### 2.1.1.1. Colisiones Elásticas

Para que una colisión elástica tenga lugar, no debe haber una deformación permanente en los objetos que colisionan, no debe haber variaciones de energía y el momento lineal debe conservarse. Esto puede resumirse en forma de las siguientes ecuaciones:

$$\vec{p}_0 = \vec{p} \quad \vec{p} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots$$

Estas ecuaciones serán las que explican parte de lo que sucederá en este experimento. Otra parte será explicada por el **Principio de Conservación de la Energía**. La energía cinética debe conservarse tras la colisión de modo que:

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2 \quad E_{C_0} = E_C$$

## 2.2. MAGNETISMO

En lo que respecta al magnetismo, para este trabajo los únicos puntos teóricos que hay que tener en cuenta son: funcionamiento de imanes, líneas de campo e intensidad del campo magnético.

### 2.2.1 IMANES

Los imanes permanentes son materiales que generan campos magnéticos. Esta característica se debe principalmente a motivos cuánticos relacionados con el ordenamiento de los electrones de los átomos que forman dicho material.



Todos los átomos tienen un **momento dipolar magnético** generado por los espines de las partículas cargadas. Esto significa que los electrones de los átomos generan un momento dipolar magnético neto, que, en la mayoría de los compuestos, se cancela con el de los átomos vecinos. Sin embargo, en algunos materiales, se alinea con el momento dipolar magnético del resto de átomos, reforzándolos y creando de este modo un dominio magnético.

Figura 01

Representación de los dominios magnéticos y de los momentos dipolares magnéticos.

Fuente: elaboración propia.



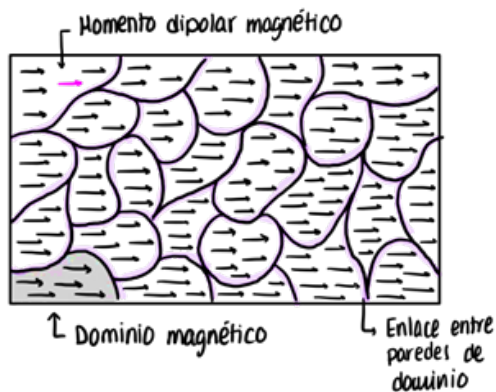
Los dominios magnéticos son zonas del material en las que el momento dipolar magnético de sus átomos está alineado (Figura 1). En metales ferromagnéticos, los distintos dominios se encuentran enfrentados de manera aleatoria, lo que hace que, desde un punto de vista macroscópico, se cancelen. Por ello, metales como el hierro no generan campos magnéticos, sino que reaccionan a ellos porque al ser expuestos a ellos, sus dominios se alinean, reforzándose y convirtiéndose en un imán temporal, dado que cuando el campo externo se suprime, sus dominios vuelven a desalinearse.

Para que exista un imán permanente, sus dominios magnéticos deben encontrarse alineados permanentemente (Figura 2). Este caso se da al enlazarse fuertemente las paredes de los dominios con las del dominio contiguo, de modo que no cambian de posición en ningún momento, haciendo que se refuerce de manera constante el campo magnético.

Figura 02

Representación de los dominios magnéticos y de los momentos dipolares magnéticos en un imán permanente.

Fuente: elaboración propia.



¿En qué medida la geometría de los imanes y la separación entre ellos afecta a la velocidad de salida de un acelerador magnético (cañón de Gauss)?



### 2.2.3 LÍNEAS DE CAMPO MAGNÉTICO

Las líneas de campo magnético se definen de la siguiente forma: si se colocara una brújula ideal (que pudiera apuntar en cualquier dirección del espacio), esta apuntaría a lo largo de unas líneas imaginarias que se denominan líneas de campo magnético. Cuanto más juntas se encuentren las líneas, mayor es la intensidad del campo. Todos los imanes forman un dipolo magnético. Esto quiere decir que existe un punto del que salen las líneas de campo y otro en el que entran. Cada punto del dipolo en el que convergen las líneas de campo magnético se llama polo. La fuerza magnética o la intensidad del campo magnético es más fuerte cuanto menor es la distancia a un polo.

## 3. MONTAJE EXPERIMENTAL

El proceso de selección de materiales para este trabajo fue de extrema importancia, al igual que la determinación del montaje más conveniente de los mismos, para medir del modo más preciso posible la velocidad de la última bola metálica.

### 3.2 MATERIALES

MATERIAL	DESCRIPCIÓN
Raíl de madera	Formado por dos barras de madera unidas con gomas elásticas.
Gomas elásticas	Gomas anchas y fuertes.
Bolas de metal	4 bolas de metal del tamaño de una canica. Deben pesar todas lo mismo.
Canicas	3 canicas de cristal o plástico.
Imanes	12 imanes cilíndricos de neodimio (agrupar de 4 en 4) 12 imanes rectangulares de neodimio (agrupar de 4 en 4)
Plomada	Formada por una varilla de madera y un peso atada a una cuerda. En este caso, el peso fue una bola de plastilina
Nivel	
Balanza	Se usó una balanza con una precisión de 0.01 g
Tiza de colores	Recomendable usar tiza roja, pero azul también vale.
Cinta métrica	Es necesario poder medir con una precisión de 0.001 m. No vale una regla, pues hay que medir distancias del orden de 0.5 – 1 m
Cartón	Recomendable su uso para evitar que las bolas metálicas y las canicas rueden por el suelo y reboten.



### 3.1.1. SELECCIÓN DE MATERIALES

Se propuso el montaje del raíl con dos barras de madera idénticas que se unieron una al lado de la otra con gomas elásticas. Esta superficie proporcionaba un rozamiento mínimo y ambos tipos de imanes se podían colocar de manera sencilla sobre el raíl.

Por otro lado, se disponía de dos tamaños de bolas metálicas y de canicas. En un inicio se planteó la idea de analizar que ocurría cuando se variaba la masa de las esferas. Sin embargo, tras un par de intentos, se pudo comprobar que las bolas de mayor tamaño no llegaban con suficiente impulso al segundo paquete de imanes, por lo que la siguiente bola no salía despedida hacia delante.

### 3.2. DISPOSICIÓN DE LOS MATERIALES

#### 3.2.1 DESCRIPCIÓN DEL ACELERADOR MAGNÉTICO

Un acelerador magnético consiste en lo que se conoce como una reacción en cadena. Un primer evento desencadena otro, y este desencadena otro diferente, y así sucesivamente (ver Figura 3 para seguir la explicación).

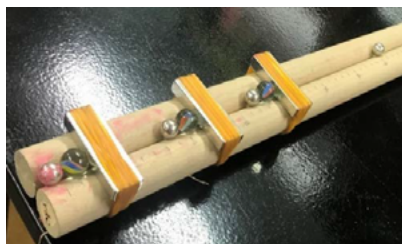
Figura 03

Esquema lateral del acelerador magnético.  
Fuente: elaboración propia.



Figura 04

Montaje del acelerador magnético.  
Fuente: elaboración propia.



El primer evento es el hecho de soltar una bola metálica cerca de un imán, que tiene al otro lado una canica y otra bola metálica. El imán atrae a la bola inicial, transformando energía potencial magnética en energía cinética. La bola colisiona entonces con el imán, transmitiéndole toda su energía cinética a la bola metálica del otro lado. Si la energía es suficiente como para romper la barrera de potencial (energía necesaria para librarse de la atracción del imán en ese punto), la bola metálica se libera de la atracción del primer imán y se ve atraída por el siguiente imán en el raíl, desencadenando la siguiente reacción (que es la misma que la que se acaba de describir).

Se realizó el montaje de un acelerador magnético tal y como se indica en el proyecto OSCAR de la Universidad Complutense de Madrid (Figura 4):

¿En qué medida la geometría de los imanes y la separación entre ellos afecta a la velocidad de salida de un acelerador magnético (cañón de Gauss)?



- Un raíl sobre el que se anclan imanes de gran potencia.
  - Para este trabajo, los imanes se separaron homogéneamente.
- Detrás de cada imán se coloca una bola de metal, separada del mismo por una canica de cristal.
  - El objetivo de colocar una canica en medio de la bola y del imán es evitar que la bola sea atraída con tanta fuerza que la energía cinética que se le transmita no sea capaz de romper la barrera de potencial del imán.
  - Atendiendo a la Figura 6, el imán número 3 debe colocarse de modo que la última bola de metal esté justo al final del raíl, de manera que lo abandone en cuanto salga despedida. Por lo tanto, el último imán debe colocarse a unos centímetros del final, y mantenerse fijo durante el transcurso del experimento.
- La bola de metal que se encuentra en la posición 0 (ver Figura 3) no debe recibir ningún tipo de impulso por parte del experimentador, pues de ser así, se le otorgaría una velocidad inicial incapaz de controlar. En su lugar, debe situarse en el punto en el que el imán la comienza a atraer y dejar que parta desde una velocidad inicial nula.

### 3.2.2. ¿CÓMO MEDIR LA VELOCIDAD DE SALIDA?

La disposición de los materiales está íntimamente ligada con cómo se midió la velocidad de salida de la última bola. Tras un análisis de distintos sistemas de medida se propuso el siguiente, dada su habilidad para medir únicamente el desplazamiento de la bola metálica (otros sistemas habían demostrado ser menos fiables, dadas las interferencias que produce la última canica, que también suele salir despedida del cañón).

Se optó por la colocación del raíl en el borde de una mesa, de manera que la bola cayera hacia el suelo al salir del raíl. El objetivo fue entonces medir el desplazamiento horizontal de la bola de metal y, dada la altura de la mesa y el valor de la gravedad terrestre, podría obtenerse la velocidad de salida de la bola.

Figura 05

Montaje del sistema de toma de medidas.  
Fuente: elaboración propia.



Figura 06

Imagen de la tiza triturada y mezclada con agua.  
Fuente: elaboración propia.





Para llevar esto a cabo, se colocó un papel blanco en el suelo sobre el que se tomaron las medidas de la distancia recorrida (Figura 5). Con el objetivo de determinar dónde caía la bola metálica, se cubrió la misma con tiza líquida (Figura 6). De este modo, al caer, sería la única marca sobre el papel.

#### 4. TOMA DE DATOS

Inicialmente se comprobó con un nivel que la mesa donde se iba a realizar el experimento fuera horizontal y se midió su altura (0.955 m +/- 0.001 m). Tras determinar que se usarían las bolas de metal pequeñas, se pesaron con una balanza para comprobar que tuvieran la misma masa (8.44 g +/- 0.01 g). Posteriormente, se colocó una plomada en el borde de la mesa para marcar el punto de desplazamiento nulo en el suelo.

A continuación, se anclaron los imanes rectangulares al raíl con gomas elásticas. Dado que no se disponía de un imán grande y potente, se juntaron 4 imanes de neodimio suficientemente potentes en distintos “paquetes” (se asumirá que cada paquete equivale a un único imán). Se midieron 7 disparos en 9 separaciones de imanes (de 5 cm a 14 cm, avanzando 1 cm por cada tanda de medidas). Se procedió a la repetición del proceso con los imanes cilíndricos, pero dado que estos imanes eran más potentes, hubo que comenzar desde los 7 cm.

Una vez obtenidos los datos, se procedió al tratamiento de estos.

#### 5. TRATAMIENTO DE DATOS

Tabla 5: Imanes Rectangulares								INCERTIDUMBRES			
SEPARACIÓN (cm)	ALCANCE DE LA BOLA (CM)							MEDIA (cm)	EST. (cm)	ABS. (cm)	REL. (%)
5,0	36,1	39,8	40,5	40,7	45,4	36,7	37,8	39,57	3,15	3,15	7,96
6,0	40,6	34,3	38,2	37,8	37,5	36,2	36,9	37,36	1,93	1,93	5,16
7,0	37,7	38,9	39,3	37,6	38,1	39,2	40,0	38,69	0,90	0,90	2,34
8,0	37,6	36,3	34,3	32,5	33,4	31,3	31,9	33,90	2,33	2,33	6,87
9,0	38,0	36,1	34,4	35,2	35,9	36,4	34,5	35,79	1,25	1,25	3,48
10,0	32,5	33,1	33,9	34,9	32,5	34,6	31,6	33,30	1,21	1,21	3,64
11,0	31,7	32,9	34,1	36,5	35,5	36,3	34,9	34,56	1,78	1,78	5,14
12,0	39,4	39,8	35,4	39,8	36,7	34,8	35,1	37,29	2,31	2,31	6,19
13,0	39,9	38,5	35,6	32,9	40,6	32,3	37,7	36,79	3,28	3,28	8,92
14,0	37,4	38,5	37,4	32,2	36,8	35,8	34,4	36,07	2,15	2,15	5,97



¿En qué medida la geometría de los imanes y la separación entre ellos afecta a la velocidad de salida de un acelerador magnético (cañón de Gauss)?



También se calculó la incertidumbre (desviación) estándar de las medidas, la incertidumbre absoluta (considerado el valor máximo entre la desviación estándar y la incertidumbre asociada a la precisión, que en este caso era de 0.1 cm) y la incertidumbre relativa. Todo ello se muestra en las Tablas 5 y 6.

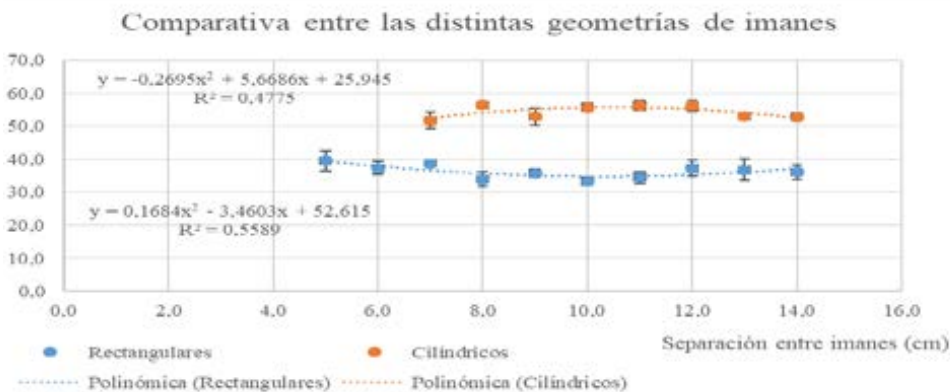
Tabla 6: Imanes cilíndricos								INCERTIDUMBRES			
SEPARACIÓN (cm)	ALCANCE DE LA BOLA (CM)							MEDIA (cm)	EST. (cm)	ABS. (cm)	REL. (%)
7,0	55,0	50,9	49,5	48,4	53,5	54,0	50,9	51,74	2,46	2,46	4,76
8,0	55,4	56,2	56,3	56,6	57,0	57,1	55,8	56,34	0,62	0,62	1,09
9,0	49,6	55,3	55,9	50,6	51,0	54,9	52,6	52,84	2,54	2,54	4,80
10,0	55,2	56,3	55,5	57,4	56,7	53,8	55,2	55,73	1,18	1,18	2,12
11,0	54,3	57,4	56,4	57,2	56,8	53,9	57,5	56,21	1,50	1,50	2,66
12,0	54,9	57,5	57,9	56,8	55,7	56,3	53,3	56,06	1,59	1,59	2,84
13,0	52,7	52,1	54,7	54,1	51,8	53,0	52,6	53,00	1,05	1,05	1,98
14,0	52,3	52,9	55,2	51,5	52,9	52,5	52,3	52,80	1,16	1,16	2,20

## 5.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS OBTENIDOS

A continuación, se representaron los datos en una gráfica comparativa entre los imanes rectangulares y los cilíndricos (Gráfica 1). En ella se añadieron las barras de error correspondientes a la incertidumbre absoluta y líneas de tendencia para cada geometría, indicando sendas ecuaciones de mejor ajuste a dicha línea y su coeficiente de aproximación ( $R^2$ ).

Gráfica 01

Comparativa entre las distintas geometrías de imanes.  
Fuente: elaboración propia.





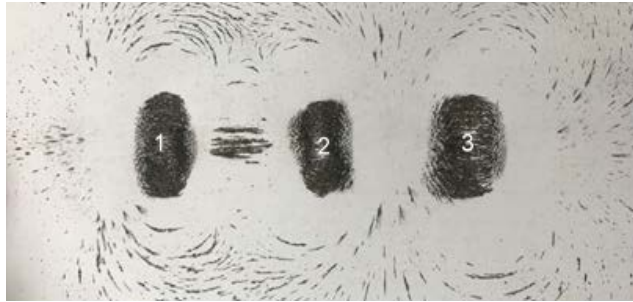
### 5.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

De acuerdo con la hipótesis inicial, se puede apreciar que la distancia recorrida es mayor cuando se utilizan los imanes cilíndricos. Esto se deba a que su geometría y localización de los polos magnéticos hace que tanto la energía cinética como el momento lineal se transmitan con mayor eficacia.

Sin embargo, podemos observar en la Gráfica 1 que el coeficiente de aproximación dista mucho de ser el idóneo, lo que hace pensar que muy probablemente, las funciones que vemos en la gráfica no sean las de mejor ajuste. Evidentemente, aumentar el orden de la función hace que esta se ajuste mejor, pero dicha mejoría apenas es perceptible y, a pesar de todo, sigue estando muy lejos de un coeficiente de aproximación aceptable.

Figura 10

Hierro en polvo esparcido por un papel blanco encima de los imanes colocados con los polos enfrentados.  
Fuente: elaboración propia.



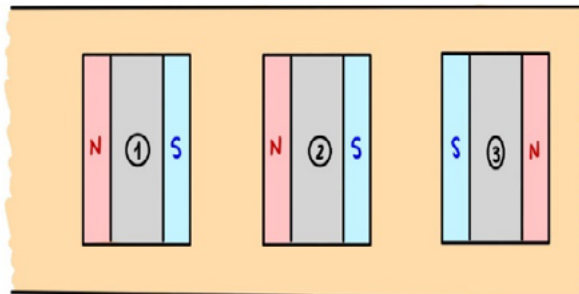
### 4.2 CAUSA DE ERRORES

Dado que los datos obtenidos no mostraban una correlación lógica, se dedujo que probablemente se hubiera cometido algún tipo de error. Se planteó la hipótesis de que la orientación de los imanes en el propio raíl fuera algo relevante, algo que no se mencionaba en ninguna de las fuentes.

Se planteó que tal vez la cercanía entre los imanes afectara al campo magnético, y para comprobar si era así se utilizaron limaduras de hierro sobre un folio blanco para poder ver las líneas de campo magnético. Se esperaba encontrar

Figura 11

Esquema de la colocación incorrecta de los imanes.  
Fuente: elaboración propia.





que los tres imanes generaban sus propias líneas de campo independientes entre sí, sin embargo, lo que se descubrió fue lo que se muestra en la Figura 10.

En dicha figura se puede apreciar claramente como el campo magnético entre los imanes no es homogéneo. La orientación de los polos en ese momento se muestra en el esquema de la Figura 11.

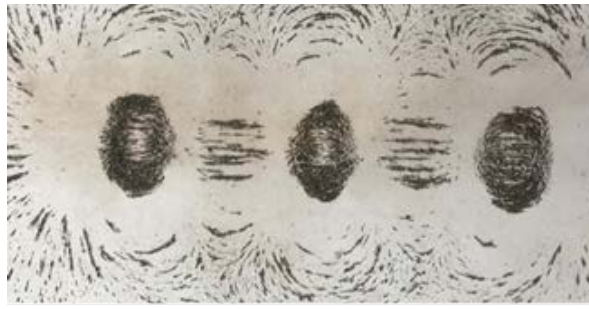
Esto provocaba que las líneas de campo que entraban en el polo sur del primer imán no fueran sólo las de su propio polo norte, sino también las del polo norte del segundo. Lógicamente, esto estaba afectando a las medidas, pues cada vez que se ampliaba la distancia entre imanes había que desmontarlos y volverlos a montar, lo que se estaba haciendo sin ningún tipo de control sobre la orientación de estos. De modo que, ante la evidencia de que el campo magnético se estaba viendo afectado, se decidió repetir las medidas con los imanes cilíndricos antes de continuar con la investigación, pues eran los que previamente habían demostrado ser más aptos para la eficiencia del acelerador.

#### 5.4.1. NUEVA TOMA DE DATOS Y TRATAMIENTO DE LOS MISMOS

Habiendo colocado los imanes cilíndricos correctamente, es decir, con todos los polos norte en el mismo sentido, y tras comprobar que el campo magnético intermedio era homogéneo (Figura 12), se procedió a volver a tomar las medidas anteriores, sobre las que se calculó la media y sus respectivas incertidumbres. Todo siguiendo el procedimiento indicado previamente. Los datos, con todas las medidas e incertidumbres se muestran en la Tabla 8.

Figura 12

Hierro en polvo esparcido por un papel blanco encima de los imanes colocados con los polos enfrentados.  
Fuente: elaboración propia.



Seguidamente, se procedió a calcular la velocidad de salida de las bolas metálicas para esta configuración de imanes (recordemos que ya se comprobó que los imanes rectangulares no eran los idóneos para este análisis). Para ello, se convirtieron todas las medidas a la misma unidad (metros).



Tabla 8: Imanes cilíndricos								INCERTIDUMBRES			
SEPARACIÓN (cm)	ALCANCE DE LA BOLA (CM)							MEDIA (cm)	EST. (cm)	ABS. (cm)	REL. (%)
7,0	47,6	51,3	50,6	50,1	48,7	49,8	51,3	49,91	1,37	1,37	2,74
8,0	53,6	52,0	52,6	53,4	53,6	51,9	50,8	52,56	1,06	1,06	2,01
9,0	54,7	54,1	53,6	54,6	55,2	56,5	53,3	54,57	1,07	1,07	1,97
10,0	54,8	53,3	52,4	50,5	54,9	54,8	54,2	53,56	1,64	1,64	3,05
12,0	52,4	54,0	54,4	52,0	53,1	52,5	50,9	52,76	1,20	1,20	2,27
14,0	50,6	50,3	50,8	51,2	48,5	51,3	49,0	50,24	1,08	1,08	2,16

Para calcular la velocidad, se utilizaron las fórmulas de caída libre  $(y = y_0 + v_0 t + \frac{gt^2}{2})$  y de movimiento rectilíneo uniforme  $(x = x_0 + vt)$ .

Dado que la velocidad inicial tiene como única componente la horizontal, se despejó  $t$  en la segunda ecuación y se sustituyó en la primera. Entonces se despejó la velocidad en la ecuación resultante y se aplicó en la Tabla 9. También se calcularon las incertidumbres relativas y absolutas de las velocidades.

Tabla 9						
IMANES CILÍNDRICOS	MEDIDAS					
Separación (m)	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14
Alcance medio (m)	0,499	0,526	0,546	0,536	0,528	0,502
abs. (m)	0,014	0,011	0,011	0,016	0,012	0,011
Rel. (%)	2,74	2,01	1,97	3,05	2,27	2,16
Velocidad (m/s)	1,131	1,191	1,237	1,214	1,196	1,139
abs. (m/s)	0,070	0,054	0,055	0,084	0,061	0,056
rel. (%)	6,18	4,57	4,47	6,88	5,14	4,90

#### 5.4.2. NUEVA REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Estos nuevos datos se representaron en una gráfica, añadiendo la línea de tendencia y su coeficiente de aproximación, así como la ecuación de dicha línea. Como se puede comprobar, en este caso la función de mejor ajuste tiene un

¿En qué medida la geometría de los imanes y la separación entre ellos afecta a la velocidad de salida de un acelerador magnético (cañón de Gauss)?



coeficiente de aproximación más aceptable, por lo que se deduce que efectivamente la orientación de los polos era un factor relevante.



### 5.4.3. NUEVO ANÁLISIS DE DATOS

Tal y como se puede apreciar en la gráfica previa, los datos se ajustan a una función polinómica de orden 3. Esto fue una sorpresa, dado que se esperaba que tuvieran una correlación lineal, o cuando menos, exponencial. Podría discutirse elevar el orden para conseguir mejor ajuste, pero entonces la correlación entre separación y velocidad sería demasiado complicada como para predecirla. Si se presta suficiente atención a la forma de la línea de tendencia de la última gráfica, se puede apreciar como tiene un cierto parecido con la forma indicada en la figura 13. Inicialmente se comporta como una parábola, pero una vez pasado el vértice de esta, comienza a decaer exponencialmente.

Consecuentemente, se puede formular la siguiente hipótesis (ver Figura 13): tal vez existe una separación óptima en la que la velocidad de salida es máxima (máximo absoluto: punto A) y después de esa separación entre imanes la velocidad va disminuyendo (zona B) según una función potencial. Evidentemente, la separación no puede ser infinita, pero, aunque pudiera, el rozamiento entre

Figura 13

Esquema de la función de la hipótesis.  
Fuente: elaboración propia.





las bolas de metal y el raíl haría que estas se fueran frenando y por lo tanto no llegarían al siguiente imán con la velocidad suficiente como para romper la barrera de potencial y liberar la siguiente bola. Por ello, habría un punto C en el que se contraría la función, pues habría demasiada pérdida de energía cinética y la bola final no saldría del cañón.

## 6. CONCLUSIONES

Finalmente, se concluyó que, ante la evidencia, debía haber una separación idónea entre imanes que permitiera una mayor aceleración de la última bola. También se observó que, una vez sobrepasado esa separación, la velocidad de salida disminuye (se cree que de manera exponencial) dado que la fuerza de rozamiento actúa durante más tiempo, haciendo que se pierda energía cinética en forma de calor. Ello conllevará que, a grandes separaciones entre imanes, llegue un punto en el que se pierda tanta energía cinética que la que se transmite a la siguiente bola metálica no sea suficiente para romper la barrera de potencial generada por el imán.

Se ha podido comprobar que la geometría cilíndrica es de mayor eficacia y se descubrió que la orientación de los imanes es de especial relevancia, pues altera completamente el resultado del trabajo.

Posibles mejoras a la investigación incluyen el uso de imanes de neodimio de mayor tamaño, de modo que no hubiera la necesidad de juntar cuatro para formar cada “paquete”, y la posibilidad de usar distintas intensidades. Se intentó tomar medidas con tres imanes por “paquete” en vez de cuatro, pero el agarre de los imanes al raíl no era el adecuado dado que eran demasiado finos.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Bleaney, B. y Kashy, E., Magnetism: Induced and permanent atomic magnetic dipoles. *Encyclopædia Britannica*. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/magnetism/Induced-and-permanent-atomic-magnetic-dipoles> [Consultado el 28 Dec. 2018].
- Homer, D. y Bowen-Jones, M., 2014. *Physics: Course Companion*. Oxford University Press.
- Hubert, A. y Schäfer, R., 2008. *Magnetic domains: the analysis of magnetic microstructures*. Springer Science & Business Media.
- Souza, J.A. y Jardim, R.F., 2009. Electrical transport in disordered and ordered magnetic domains under pressures and magnetic fields. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42(3), p.032006.
- Stern, David P., 2004. *Líneas Del Campo Magnético*. NASA. Disponible en: <https://www.spof.gsfc.nasa.gov/Education/Mfidline.html> [Consultado el 3 Ene. 2019]
- Anon, OSCAR, física visual a un click. *Universidad Complutense de Madrid*. Disponible en: <https://www.ucm.es/theoscarlab/canon-de-Gauss> [Consultado el 22 Dec. 2018].
- Anon, Q & A: How do magnets work? *Q & A: How do magnets work? | Department of Physics | University of Illinois at Urbana-Champaign*. Disponible en: <https://van.physics.illinois.edu/qa/listing.php?id=434> [Consultado el 28 Dec. 2018].







## Estudio del tratamiento tradicional del caqui “rojo brillante”: ¿Cuál es la relación entre la graduación del alcohol utilizado para el tratamiento y el tiempo requerido para eliminar la astringencia?

---

/ TERCER PREMIO

**AUTORA** | SOFÍA LLÀCER CARO

**COORDINADORA** | MARÍA ROSA MONTSERRAT JOVER

**CENTRO** | IES PERE BOÏL

**CIUDAD** | MANISES-VALENCIA

### RESUMEN |

Mi familia es originaria de Alcàsser, un pequeño pueblo ubicado en la Huerta Valenciana, y se ha dedicado tradicionalmente a las actividades agrícolas. Hace cerca de 15 años, mi abuelo supo por otros compañeros del oficio de la existencia de una variedad de caqui de nueva plantación denominada “Rojo Brillante”. Se interesó entonces por este fruto e hizo crecer un árbol para consumo doméstico. Sin embargo, la variedad requería de un tratamiento tras la cosecha para poder ser consumido con normalidad, ya que, de lo contrario, su gusto resulta astringente.

El método tradicional consiste en introducir en un recipiente grande cerrado herméticamente un vaso pequeño con alrededor de 0,15 dm<sup>3</sup> de alcohol junto con unos 8 caquis. A continuación, debe dejarse reposar de 3 a 8 días.

Recientemente, mi padre y yo comenzamos a realizar el tratamiento. Fue así como decidí darle una razón científica al proceso que había visto hacer a mi familia desde que soy pequeña. Además, he orientado también mi investigación a conocer si la graduación del alcohol utilizado para el tratamiento tradicional del caqui guarda algún tipo de relación con tiempo de tratamiento necesario para eliminar su astringencia

### ABSTRACT |

My family comes from Alcàsser, a small village located in the valencian county side, and has been traditionally dedicated to agricultural activities. About 15 years ago, my grandfather got to know about the existence of a new variety of kaki named “Rojo Brillante” and grew a tree for the household consumption of this fruit. For the purpose of making it edible, the fruit has to overcome a treatment that was carried in the traditional way for years in my family. This treatment consists of putting a small glass of alcohol (around 0,15 dm<sup>3</sup>) as well as about 8 kakis into a sealed container between 3 and 8 days. The aim of this research is to study the chemical processes behind this traditional treatment.



## 1. INTRODUCCIÓN

Mi familia es originaria de Alcàsser, un pequeño pueblo ubicado en la Huerta Valenciana (España), y se ha dedicado tradicionalmente a las actividades agrícolas, como el cultivo de la naranja. Hace cerca de 15 años, mi abuelo supo por otros compañeros del oficio de la existencia de una variedad de caqui de nueva plantación denominada “Rojo Brillante”. Esta variedad, que todavía no era cultivada en grandes extensiones, comenzó a plantarse en los márgenes de los campos de naranjos. Mi abuelo se interesó por este fruto e hizo crecer un árbol para consumo doméstico. Sin embargo, el fruto requería de un tratamiento tras la cosecha para poder ser consumido con normalidad, ya que, de lo contrario, su gusto resulta astringente. Junto a las semillas, mi abuelo recibió varios consejos para el tratamiento poscosecha del caqui. El principal método utilizado era su tratamiento con alcohol.

El método consiste en introducir en un recipiente grande cerrado herméticamente un vaso pequeño con alrededor de  $0,15 \text{ dm}^3$  de alcohol, junto con unos 8 caquis. A continuación, debe dejarse reposar de 3 a 8 días.

Al principio tuvimos varios problemas a la hora de elegir el alcohol con el que proceder al tratamiento. Primero, utilizamos alcohol sanitario, puesto que era más puro. Sin embargo, los caquis no tenían buen sabor y no pudieron ser consumidos. A continuación, probamos con diversos alcoholes etílicos de diferente graduación, como la cazalla o el ron, con los que obtuvimos pequeños matices de sabor. En general, se suele utilizar el licor destilado que se encuentre disponible sin necesidad de adquirir una botella con este propósito específico.

Con el paso del tiempo, se ha plantado cada vez más cantidad de árboles. En la actualidad, la mayor parte de la producción va destinada a la cooperativa agrícola del pueblo, donde el tratamiento poscosecha se lleva a cabo mediante otros métodos a nivel industrial (Besada, Navarro, Vendrell, & Salvador, 2015, pág. 313). Aun así, una pequeña parte de la producción todavía es destinada al consumo doméstico. Recientemente, mi padre y yo comenzamos a realizar el tratamiento. Fue así como decidí darle una razón científica al proceso que había visto hacer a mi familia desde que soy pequeña. Además, he orientado también mi investigación a conocer si la graduación del alcohol utilizado para el tratamiento tradicional del caqui guarda algún tipo de relación con tiempo de tratamiento necesario para eliminar su astringencia.

**Preguntas previas a la investigación:** ¿Cuál es la sustancia que provoca la astringencia del caqui?, ¿cuál es la reacción que tiene lugar entre estas sustancias y el alcohol para que el fruto deje de ser astringente?

**Pregunta de investigación:** ¿Cuál es la relación entre la graduación del alcohol utilizado para el tratamiento y el tiempo requerido para eliminar la astringencia del caqui “Rojo Brillante”?



**Hipótesis:** La hipótesis inicial fue que ambas variables sí que estaban relacionadas. En principio, se propuso que una mayor graduación del alcohol contribuiría a que el tratamiento se produjese en un menor tiempo.

## 2. CUERPO

### 2.1 CONTEXTO CIENTÍFICO

En primer lugar, se realizó una investigación en el contexto científico con tal de conocer cuál es la sustancia que provoca la astringencia del caqui “Rojo Brillante” (*Dyospyros Kaki*), para poder responder a la primera pregunta previa a la investigación. El resultado encontrado fue que los agentes químicos que provocan la astringencia del fruto son los “taninos”, compuestos polifenólicos que se encuentran presentes en numerosas especies del reino vegetal (Álvarez & Lock de Ugaz, 1992).

En concreto, se trata de taninos solubles o hidrolizables (principalmente ácido gálico), que se encuentran en las vacuolas de las células tánicas presentes en la pulpa del fruto. Estos compuestos, en contacto con las proteínas salivares, forman complejos insolubles. Son dichos complejos los que disminuyen la lubricación salivar y provocan una sensación de astringencia (Besada, et al., 2015, p. 307).

El tratamiento tradicional se basa en la receptividad del fruto al ser expuesto a etanol exógeno tras la recolección (Besada, et al., 2010, p. 301). Esta exposición induce la maduración del fruto, ya que provoca una reacción química entre los taninos y el alcohol etílico.

A continuación, nos dispusimos a responder a la segunda pregunta previa a la investigación: ¿Cuál es la reacción que tiene lugar entre los taninos y el alcohol para que el fruto deje de ser astringente?

Desgraciadamente, tras realizar una búsqueda de información para conocer la reacción, no se encontró bibliografía al respecto por dos motivos principales: la gran variedad de taninos existente y la falta de contexto relacionado con el tema tratado.

Con lo cual, se asumió que la mayor parte de los taninos que provocan la astringencia en el caso del caqui estaban conformados por ácido gálico (Besada, et al., 2015, p. 305), para poder así expresar en rasgos generales la reacción química que tiene lugar: al tratarse de un ácido carboxílico y un alcohol, deduje que podría tratarse de una reacción de esterificación (Talbot, et al., 2015, p. 340):

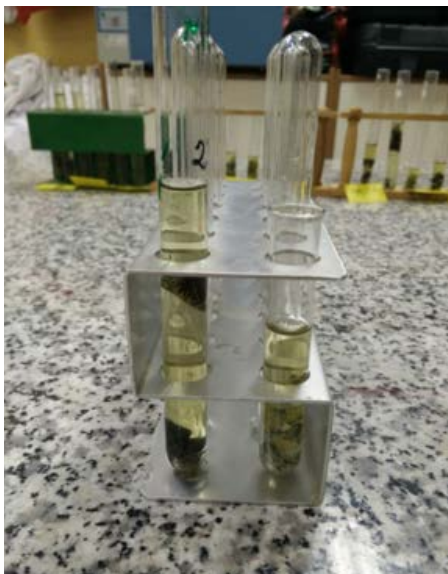


## 2.2. COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL PREVIA

Antes de seguir adelante con la investigación a nivel cuantitativo, se decidió llevar a cabo una valoración cualitativa con tal de confirmar si los taninos hidrolizables eran los que provocaban la astringencia.

Según indicaba el contexto científico, los caquis más astringentes (fases iniciales o previa al tratamiento) deberían de contar con una mayor concentración de taninos que los que habían sido sometido al tratamiento.

Teniendo en cuenta que los taninos hidrolizables toman un color azul oscuro al entrar en contacto con sales férricas (Álvarez & Lock de Ugaz, 1992) (Muñoz Pinto, 2016, p. 7), se llevó a cabo una titulación con  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  al 5% para comprobar si se cumplía la relación expuesta anteriormente. Los resultados fueron los esperados, lo que permitió llevar adelante la investigación, tal y como se muestra en la figura (izquierda, caqui sin tratar; derecha, caqui sometido a tratamiento).



## 2.3. DESARROLLO

### 2.3.1. MÉTODO EXPERIMENTAL

Tras haber comprobado de forma cualitativa lo anterior, nos propusimos responder a la pregunta central de investigación: ¿Cuál es la relación matemática entre la graduación del alcohol utilizado para el tratamiento y el tiempo requerido para eliminar la astringencia del fruto?



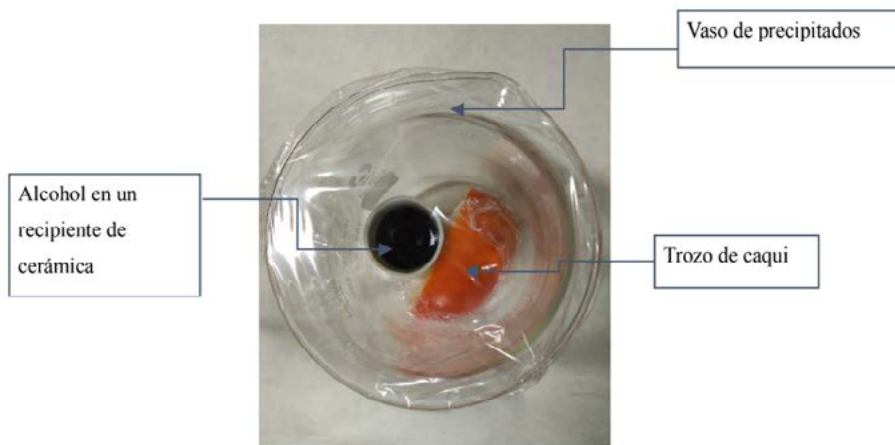
El método de investigación se desarrolló en base a la siguiente relación estequiométrica obtenida en el contexto científico (Hart & Fisher, 1984):

$$4'2 \cdot 10^{-3} \text{ g taninos} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ de KMnO}_4; 0'1N$$

Esto indicaba que podía realizarse un seguimiento de la concentración de taninos en los caquis a lo largo del tiempo para alcoholes de diferente graduación llevando a cabo una reacción redox entre los taninos solubles (asumimos que conformados en su mayoría por ácido gálico) (Besada, et al., 2015, p. 305) y el  $\text{KMnO}_4$  para responder a la pregunta de investigación.

La primera parte del método experimental consistió en someter los caquis al tratamiento. Para ello, se recolectaron los frutos directamente de los campos de mi familia.

A continuación, ya en el laboratorio, se llevó a cabo un montaje mediante el cual se pretendía imitar el modo tradicional de realizar el tratamiento, tal y como se muestra en la figura a continuación (se utilizó alcohol etílico a concentraciones del 30%, 50%, 70% y 85%).



El montaje consistió en introducir una cuarta parte de un caqui junto con  $5 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3$  de alcohol en un vaso de precipitados de  $0'600 \text{ dm}^3$  de capacidad.

Sin embargo, se modificaron algunos aspectos con respecto al método tradicional con tal de llevar a cabo un estudio más riguroso:

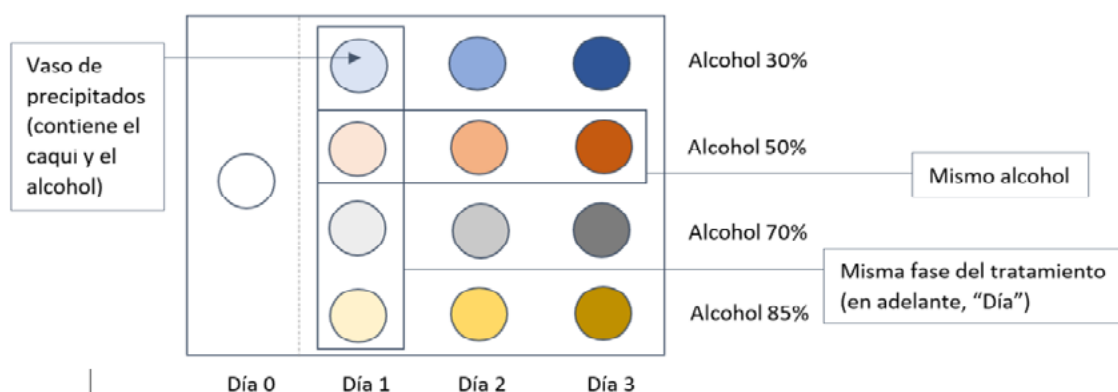
- Se trató cada muestra por separado para no alterar la concentración de alcohol en el ambiente con la apertura del recipiente en cada valoración.
- No se introdujo el caqui entero para el tratamiento, sino que se cortó el caqui en 4 trozos para utilizar el mínimo número posible de frutos y reducir la variabili-



dad genética. Se cubrió la superficie cortada con papel de film, dejando al descubierto la superficie que mantenía la piel.

- Se selló herméticamente el recipiente usando papel de film. Puesto que no se consiguió ningún tipo de “tapa” para los vasos de precipitados, se utilizó este medio para mantener el sistema químico cerrado.

Con tal de responder a la pregunta de investigación, debía realizarse un seguimiento de la concentración de taninos en diferentes etapas del tratamiento para diferentes alcoholes:



Como punto de partida, se determinó la concentración de taninos de un caqui que no había sido sometido a tratamiento (en adelante, “Día 0”).

El tiempo transcurrido entre cada fase fue de 24h. El primer día, se determinó la cantidad de taninos para cada uno de los alcoholes (de 30%, 50%, 70% y 85%) con el objetivo de realizar un seguimiento de la concentración de taninos. Lo mismo se hizo en los días 2 y 3. Cabe apuntar que el tratamiento se detuvo el día 3 (incluyendo este último) porque en este día, los valores de concentración de taninos ya rondaban el 0 % en masa, y eran muy parecidos en cada una de las muestras. A partir de lo anterior, se dedujo que se había terminado el tratamiento, y se decidió dejar de realizar las valoraciones.

La determinación de la concentración de taninos para realizar un seguimiento del efecto de cada alcohol se llevó a cabo mediante una valoración volumétrica, la segunda parte del método experimental. Esta determinación cuantitativa se desarrolló mediante el método volumétrico de Lowenthal (Diaz Yanevich, et al., s.f., p. 2 y 3), basado en una reacción redox entre los taninos y el  $\text{KMnO}_4$  (disolución preparada anteriormente).

En la reacción, uno de los grupos alcoholes del ácido gálico se oxidaban por la acción del permanganato de potasio, mientras este segundo experimentaba la



reducción, obedeciendo a la relación estequiométrica expresada en la ecuación de la pág. 3.

Los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

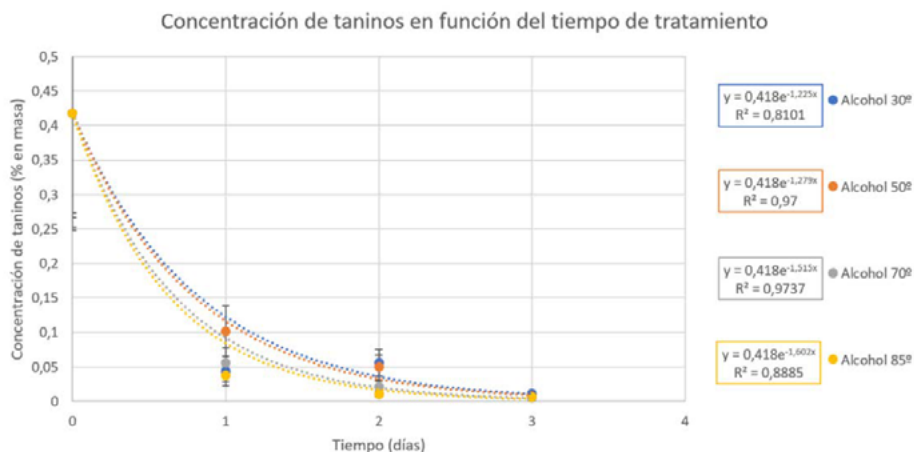
1. Se pesaron  $2'500 \pm 0'001$  g de caqui.
2. Se trituraron en  $0'200 \pm 0'001$  dm<sup>3</sup> de agua destilada para elaborar la muestra.
3. Se llevó a ebullición la muestra durante 30 minutos.
4. Se introdujo la muestra en un matraz aforado de 0,250 dm<sup>3</sup> y se enrasó con agua destilada.
5. Se tomaron  $0'025 \pm 0'002$  dm<sup>3</sup> de la muestra y se le añadieron 3 gotas de indicador universal de pH.
6. Se valoraron las muestras dejando caer desde la bureta el KMnO<sub>4</sub> tomando los datos de los volúmenes necesarios para hacer virar las muestras del verde claro al amarillo.

Cabe apuntar que se usó indicador universal de pH por lo siguiente: En primer lugar, no se contaba con azul índigo en el laboratorio (indicador usado en la investigación que se tomó como ejemplo de la valoración de Lowenthal. En un principio se pensó en no utilizar indicador, porque el KMnO<sub>4</sub> cambia de un color púrpura a incoloro al cambiar su estado de oxidación en la reacción (Muñoz Pinto, 2016). Sin embargo, las muestras ya contaban con una cierta coloración, con lo que se pensó que lo mejor sería utilizar un indicador. El elegido fue el indicador universal de pH porque se pensó que en la oxidación del grupo alcohol del ácido gálico (carácter ácido) a una cetona (carácter neutro), el pH cambiaría, y sería fácil apreciar el cambio de color.

Se pretendía obtener los datos para el estudio de la concentración de taninos (variable dependiente) en función del tiempo (variable independiente). Además, se estudiaron las diferencias en el proceso al someter los caquis al tratamiento con alcoholes de diferente graduación. Con el objetivo de realizar un estudio más riguroso, se controlaron determinadas variables como el volumen de alcohol, la temperatura, etc.

### 2.3.2. DATOS Y ANÁLISIS

Tras ajustar la fórmula original de equivalencia de taninos a nuestro caso concreto, se calculó el porcentaje en masa de taninos en la muestra. Se realizó asimismo una propagación de errores mediante los errores relativos de los instrumentos utilizados en el laboratorio. Los resultados se muestran en la siguiente gráfica:



### 3. CONCLUSIÓN Y EVALUACIÓN

En la anterior gráfica se puede observar una tendencia al descenso en la concentración de taninos a medida que aumenta el tiempo de tratamiento (como se había comprobado también en la comprobación experimental previa).

La pendiente de la recta tangente a la gráfica es menor a medida que disminuye la concentración del alcohol etílico. Es decir, que el tratamiento se completa en un menor tiempo a medida que aumentamos la graduación, ya que aumenta la velocidad de la reacción. En todos los casos partimos de un 0'418 % en masa para el caqui sin tratar. Sin embargo, el ritmo de disminución de la concentración de taninos varía en cada caso: el primer día de tratamiento, la concentración de taninos para el alcohol al 30% se sigue manteniendo relativamente alta en comparación con el resto (0,044% en masa), seguido por el de 50% (0,101% en masa), y luego por el de 70% (0,056% en masa), teniendo una concentración menor el de 85% (0,038% en masa). Esto ocurre de manera paralela en el segundo día de tratamiento: un 0,056% en masa para el alcohol al 30%, un 0,050% en masa para el alcohol al 50%, un 0,021% en masa para el alcohol al 70%, un 0,011% en masa para el alcohol al 85%.

Por último, al tercer día de tratamiento todas las muestras rondan valores muy cercanos al 0% en masa de taninos, lo que demuestra que el tratamiento aplicado fue efectivo en todos los casos. Es decir, que la astringencia de los frutos había sido prácticamente eliminada tras tres días de tratamiento en el laboratorio.

Cabe destacar que la disminución de la concentración de taninos fue especialmente acusada el primer día en todos los casos, y el ritmo se fue reduciendo a medida que transcurrieron los días de tratamiento. Tras llevar a cabo una evaluación del coeficiente de correlación con diferentes tipos de funciones, se ha concluido que podemos modelizar la relación entre ambas variables





mediante una función exponencial de exponente negativo, como muestran las ecuaciones presentes de la gráfica. Se ha deducido que la ecuación asociada a la línea de tendencia debería ser la misma en todos los casos. El ajuste matemático mediante una función exponencial cuenta con un coeficiente de correlación entre ambas variables cuyo mínimo valor es 0'8101 (en el caso del alcohol 30%) y cuyo máximo valor alcanza el 0'9736 (en el caso del alcohol de 70%), lo que indicaría una correlación significativa entre ambas variables. Sin embargo, resulta arriesgado afirmar de forma tajante esta relación, puesto que no se ha podido contrastar la información por falta de fuentes bibliográficas al respecto.

En resumen, los datos obtenidos ponen de manifiesto que la relación planteada en la hipótesis se cumple a priori. Sin embargo, resulta muy difícil concluir de forma absoluta por dos razones principales: el error asociado al método experimental y la falta de bibliografía que respalde los resultados obtenidos.

Si bien los datos del volumen de permanganato de potasio requerido en la volumetría son bastante precisos (un bajo error de semidispersión del orden de  $10^{-4}$  dm<sup>3</sup> en la mayoría de los casos), no es posible conocer la exactitud del método ni su desviación, ya que no se han encontrado datos comparables en el contexto científico.

Asimismo, el error de semidispersión presente podría deberse a alguna irregularidad durante el procedimiento experimental. Por ejemplo, podría no haberse triturado bien la muestra antes de realizar la valoración, lo que implicaría que la concentración de taninos en esta presentaría una distribución desigual, pudiendo haber afectado a los resultados.

En todo caso, debemos subrayar que algunas de las valoraciones tuvieron asociado error de semidispersión de 0, lo cual podría deberse a un sesgo de la experimentadora (Shuttleworth, 2019).

Es decir, que la hipótesis de la experimentadora podría haber afectado a las mediciones, al escoger los datos válidos o repetir determinadas pruebas que no se ajustasen al modelo esperado. En este sentido, podemos afirmar que en el método de la valoración existe un mayor riesgo de que tenga lugar este fenómeno. Por lo tanto, sería recomendable utilizar otros métodos a la hora de determinar la concentración de taninos en las muestras en los que el peso de las apreciaciones del experimentador o experimentadora fuese menor, como por ejemplo el espectrómetro de masas.

En cuanto al error relativo, se observa una tendencia al aumento a medida que avanza el día. Esto tiene su explicación en que, en estas fases del tratamiento, se requería de una menor cantidad de  $\text{KMnO}_4$  para hacer virar la muestra. Con lo cual, al calcular la propagación de errores asociada a la valoración, el cociente resultaba en un valor mayor.



Sin embargo, resulta evidente que los valores de error relativo son mucho mayores a los del error de semidispersión. Esto se debe en gran medida a que, cuando se realizó el experimento, se desconocían los factores que podían afectar al cálculo de los errores, como, por ejemplo, en lo referente al uso de instrumentos de laboratorio (ver nota al pie 4). Esto se tendrá en cuenta en futuras investigaciones. Además, la gran cantidad de pasos y mediciones contribuyó de forma muy importante al aumento de este error relativo. En futuras investigaciones, sería conveniente desarrollar un método experimental que implicase un menor número de pasos en el procedimiento para minimizar su impacto en la fiabilidad de los datos obtenidos.

Además de esto, existen numerosos factores durante el procedimiento experimental que podrían haber contribuido al aumento de los errores y la incertidumbre con respecto a los resultados finales. En el caso de algunos factores, como por ejemplo en el de la variabilidad genética (a pesar de haberse considerado variable controlada) resulta inevitable que la influencia de éstos sea alta, ya que el presente estudio está basado en seres vivos. Sin embargo, el impacto de otros factores vinculados al método experimental podría reducirse introduciendo algunas mejoras en el procedimiento para la determinación. Algunas de ellas son las siguientes: por un lado, podría haberse controlado de forma más exhaustiva la temperatura y presión ambientales mediante una campana de gases y un termostato, para garantizar que se mantuviesen constantes durante el tratamiento de los caquis. De este modo, se podría realizar una investigación más completa acerca de la velocidad o la cinética de la reacción que se produce entre los taninos y el alcohol.

Por otro lado, debería utilizarse el mismo tipo de alcohol con diferentes concentraciones (se utilizaron diferentes alcoholes: cazalla, licor herbal y absenta en dos concentraciones diferentes), para así garantizar que ésta fuese una variable controlada, y que no interviniesen otras sustancias que pudiesen variar la concentración de taninos y alterar la comparabilidad de los datos.

En definitiva, aunque aparentemente podamos confirmar la hipótesis, sería necesario realizar un estudio más riguroso y contrastado con tal de concluir de forma certera.



## BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Álvarez, C. & Lock de Ugaz, O., 1992. *Taninos*. Revista de Química, Junio, VI(1), p.17.
- Besada, C., Jackman, R., Olsson, S. & Woolf, A., 2010. *Response of "Fuyu" persimmons to ethylene exposure before and during storage*. Postharvest Biology Technology.
- Besada, C., Navarro, P., Vendrell, M. & Salvador, A., 2015. Tecnología poscosecha del caqui. En: M. L. Badenes Català, D. S. Intrigliolo Molina, A. Salvador Pérez & A. Vicent Civera, edits. *El cultivo del caqui*. Valencia(Valencia): Generalitat Valenciana, p. 339.
- Diaz Yanevich, C., Sánchez, D. & Prokopiuk, D. G. G. S., s.f. *Avances en la determinación de la composición química y nutricional de las harinas de los frutos del Prosopis alba*, Santa Fe, Argentina: s.n.
- Hart, F. L. & Fisher, H. J., 1984. *Análisis moderno de los alimentos*. Ilustrada ed. s.l.:Acribia.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2004. Fichas Internacionales de Seguridad Química. Cloruro Ferrico (Anhidro), Madrid: s.n.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2003. Ficha Técnica del Permanganato de Potasio, Madrid: s.n.
- Muñoz Pinto, F., 2016. Práctica no8. Identificación de grupos funcionales y taninos naturales, Mérida: Laboratorio de química. Ingeniería forestal-Régimen anual.
- Shuttleworth, M., 2019. Sesgo de investigación. [En línea] Available at: <https://explorable.com/es/sesgo-de-investigacion> [Último acceso: 9 Enero 2019].
- Talbot, C., Hardwood, R. & Coates, C., 2015. Chemistry. s.l.:Vicens Vives.

# ACTAS DEL 31<sup>º</sup> CONGRESO DE JÓVENES INVESTIGADORES



Colaboran:

