

# Encuentros en la **b**iología



La filosofía de la Biología

Volando hacia la  
supervivencia

Lo que el ojo no ve. ¿o sí?

Vol XVIII | Nº 194 | MARZO | 2026

ENCUENTROS EN LA BIOLOGÍA  
Revista de divulgación científica  
Indexada en *Dialnet*

**Periodicidad:**  
4 NÚMEROS ORDINARIOS (TRIMESTRALES) Y AL MENOS  
1 NÚMERO EXTRAORDINARIO MONOGRÁFICO AL AÑO

**Entidad editora:**

Universidad de Málaga. EDITADA CON LA COLABORACIÓN  
DEL DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

Depósito legal: MA-1.133/94

ISSN (versión electrónica): 2254-0296

ISSN (versión impresa): 1134-8496

**Correspondencia a:**

JUAN ANTONIO PÉREZ CLAROS  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA  
29071 - MÁLAGA  
[JOHNNY@UMA.ES](mailto:JOHNNY@UMA.ES)

COMITÉ EDITORIAL

DIRECCIÓN

- Juan A. Pérez Claros  
[johnny@uma.es](mailto:johnny@uma.es)  
Paleontología  
Edición Digital

EDITORES

- Victoria de Andrés  
Fernández  
[deandres@uma.es](mailto:deandres@uma.es)  
Biología animal aplicada  
*Directora de Ciencia Sin  
Límites*
- Tahía Diana Fernández  
Duarte  
[tahiadfd@uma.es](mailto:tahiadfd@uma.es)  
Biología celular, genética  
y fisiología. *Biocómic.*  
*Diseño y maquetación*
- Rafael Antonio Cañas  
Pendón  
[rcanas@uma.es](mailto:rcanas@uma.es)  
Biología celular,  
molecular y genética

- José Córdoba Caballero  
[jcordoba@cnio.es](mailto:jcordoba@cnio.es)  
Genómica del cáncer.  
*Diseño y maquetación*

- Miguel Ángel Farfán  
Aguilar  
[mafarfan@uma.es](mailto:mafarfan@uma.es)  
Biología animal

- Ana Grande Pérez  
[agrande@uma.es](mailto:agrande@uma.es)  
Biología celular,  
molecular y genética  
*Jóvenes científicos*  
*Mujeres STEM UMA*

- Paul Palmquist Gomes  
[paulpg21@gmail.com](mailto:paulpg21@gmail.com)  
Biología animal

COMITÉ CIENTÍFICO

- Antonio Diéguez  
[dieguez@uma.es](mailto:dieguez@uma.es)  
Filosofía de la ciencia  
*Epistemología*

- Enrique Viguera  
[eviguera@uma.es](mailto:eviguera@uma.es)  
Biología celular,  
molecular y genética
- M. Gonzalo Claros  
[claros@uma.es](mailto:claros@uma.es)  
Bioquímica, biología  
molecular y  
bioinformática.  
*Escribir bien no cuesta  
trabajo*  
*Anecdotario científico*
- Miguel Á. Medina Torres  
[medina@uma.es](mailto:medina@uma.es)  
Biología celular,  
molecular y genética
- Juan Carlos Codina  
[jccodina@uma.es](mailto:jccodina@uma.es)  
Microbiología  
Coordinación y difusión  
(educación secundaria)
- Elena Rojano Rivera  
[elenarojano@uma.es](mailto:elenarojano@uma.es)  
Bioinformática y  
biología de sistemas.
- Juan José Borrego  
García

[jjborrego@uma.es](mailto:jjborrego@uma.es)

- Microbiología
- Elena Bañares España  
[elbaes@uma.es](mailto:elbaes@uma.es)  
Biología vegetal
- María Rosa López  
Ramírez Aguilar  
[mrlopez@uma.es](mailto:mrlopez@uma.es)  
Astrobiología
- Conrado González  
Ferreira  
[konreid0@gmail.com](mailto:konreid0@gmail.com)  
Coordinación y difusión  
(alumnos)

COMITÉ EDITORIAL DE HONOR

- Salvador Guirado  
Hidalgo  
[guirado@uma.es](mailto:guirado@uma.es)  
Biología Celular  
Fundador *Encuentros en  
la Biología*
- Esteban Domingo  
[edomingo@cbm.uam.es](mailto:edomingo@cbm.uam.es)  
Evolución de virus
- Gonzalo Álvarez Jurado  
[g.alvarez@usc.es](mailto:g.alvarez@usc.es)  
Genética

## La portada

---



Tras finalizar el Posgrado de Ilustración Científica de la UPV/EHU, realicé esta ilustración específicamente para el III Concurso de Ilustración Científica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga. Elegí al cuco común (*Cuculus canorus*) como protagonista por sus peculiares estrategias reproductivas, basadas en el parasitismo de puesta. Este comportamiento, junto con el inconfundible canto del macho, del que deriva el nombre común de la especie, constituye una de sus señas de identidad más características. Se trata de un ave migradora ampliamente distribuida por Europa, Asia y el norte de África, donde se reproduce, y que pasa el invierno en el África subsahariana y el sudeste asiático. Por este motivo, en la tradición europea el canto del cuco común se ha asociado históricamente con la llegada de la primavera.

A pesar de no ser una rapaz, el cuco puede confundirse con el gavilán debido a su silueta y patrón de plumaje. Además, emite llamadas que imitan las de esta ave de presa, lo que provoca que pequeños pájaros abandonen momentáneamente sus nidos y le permite depositar sus huevos sin ser detectado. Cada hembra produce huevos con un patrón de color específico y suele especializarse en parasitar especies hospedadoras cuyos huevos presentan una mayor similitud. La eclosión del polluelo de cuco suele adelantarse a la de los pollos legítimos, lo que le permite eliminar los huevos o crías restantes, arrojándolos fuera del nido. De este modo, el joven cuco recibe en exclusiva el cuidado parental de los hospedadores.

Alais Sorzu Agirre

[alatoragi6@gmail.com](mailto:alatoragi6@gmail.com)

Mención honorífica de la tercera edición del Concurso de Ilustración Científica de la facultad de Ciencias de la UMA

## Índice

Editorial	4
La imagen comentada	5
IGEM UMA 2022: La experiencia de la UMA en la competición mundial en biología sintética.	6
La filosofía de la biología. Historia y perspectivas para el siglo XXI	14
La expulsión de Río Hortega del laboratorio de Cajal. Una carta de Lorente de Nó	17
Volando hacia la supervivencia: la fascinante migración de la mariposa monarca	23
Lo que el ojo no ve. ¿o sí?	27

---

---

## Editorial

---

Con la llegada de la primavera se anuncia la despedida del invierno y el despertar de innumerables procesos biológicos que empiezan a manifestarse alrededor de nuestros campus universitarios. Brotes que se abren paso, una explosión de colores florales, insectos que reanudan su actividad y aves que vuelven a llenar el aire con sus cantos. Esta transformación del entorno nos renueva y anima en el transcurso del año académico. No obstante, no olvidamos que en el hemisferio sur —donde esperamos contar también con lectores de nuestra revista— es el otoño quien hace su entrada.

La vida, objeto último de *Encuentros en la Biología*, ha estado sometida a las estaciones desde sus primeros pasos en el eón Arcaico. Las estaciones existen gracias a la inclinación de aproximadamente  $23^\circ$  del eje de rotación terrestre respecto al plano de la eclíptica, una característica cuyo origen se remonta a hace unos 4.500 millones de años, cuando colisiones entre protoplanetas y la proto Tierra alteraron la orientación del joven planeta. Entre ellas, destaca el impacto que dio lugar a la formación de la Luna, protagonizado por un cuerpo del tamaño de Marte conocido como *Theia*. A partir de

entonces, la presencia de nuestro satélite ha contribuido a estabilizar la inclinación del eje terrestre, que de otro modo habría oscilado de manera caótica entre valores extremos. Resulta difícil imaginar un fenómeno más antiguo, persistente y regular que el regreso periódico de la primavera a lo largo de la historia de la Tierra. Reconforta pensar que, tras cada invierno, siempre vuelve la estación del renacimiento.

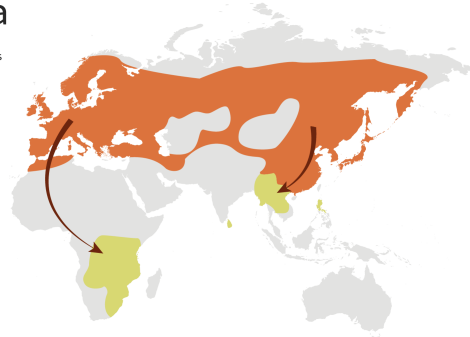
Esa misma idea queremos aplicarla metafóricamente a nuestra publicación. Con cada nuevo número que este equipo editorial prepara con ilusión —y pese a las inevitables vicisitudes que acompañan a cualquier proyecto altruista— confiamos en ofrecer a nuestra comunidad lectora un pequeño renacer. Que, como las estaciones, *Encuentros en la Biología* siga regresando con constancia, aportando perspectivas nuevas, inspiración y el conocimiento que nuestros generadores de contenidos generosamente comparten.

Juan Antonio Pérez Claros

# La imagen comentada

## Anunciante de la primavera

El inconfundible canto del macho, que da nombre a esta especie, y sus peculiares hábitos reproductores, basados en el parasitismo, constituyen la principal señal de identidad de este pájaro migrador. Tradicionalmente en Europa, se creía que el canto del cuco común anunciaba la llegada de la primavera. La especie se distribuye por gran parte de Europa, Asia y el norte de África, donde cría, y migra al África subtropical y al sudeste asiático en invierno.



**Cuco**  
*Cuculus canorus* Linnaeus, 1758

<b>Phylum</b>	Chordata		32-36 cm
<b>Clase</b>	Aves		54-60 cm
<b>Orden</b>	Cuculiformes		110-130 g
<b>Familia</b>	Cuculidae		
<b>Genero</b>	Cuculus		

Se alimenta, sobre todo, de insectos y otros invertebrados



**Migración**  
Los cucos viajan en solitario y poseen un sentido innato de navegación.



**Mimetismo**  
Se puede confundir con el gavilán por su apariencia, pero, además, el cuco imita el canto de esta rapaz. De esta forma, asusta a los pájaros pequeños y gana tiempo para poner sus huevos.

**Huevos**  
Puede poner hasta 25 huevos, de uno en uno, en nidos previamente seleccionados, y se lleva un huevo de la especie parasitada del nido. Cada hembra pone huevos de un patrón de color y se especializa en parasitar a aquellas especies con los huevos más parecidos.



**Eclosión**  
La eclosión del cuco suele anticiparse a la de los pollos legítimos, lo que le permite deshacerse del resto de los huevos o de los polluelos recién nacidos, arrojándolos fuera del nido.



Se han registrado más de 188 especies hospedadoras

**Petirrojo europeo**  
(*Erithacus rubecula*)  
14-16,5 cm  
20-22 cm

**Alimentación**  
El joven cuco recibe en exclusiva las atenciones de los hospedadores, a los que puede superar en volumen.



Alais Sorzu Agirre - [alasaragi6@gmail.com](mailto:alasaragi6@gmail.com)

Mención honorífica de la tercera edición del Concurso de Ilustración Científica de la facultad de Ciencias de la UMA

## IGEM UMA 2022: LA EXPERIENCIA DE LA UMA EN LA COMPETICIÓN MUNDIAL EN BIOLOGÍA SINTÉTICA.

por MOLINA-CALVO A.<sup>1,2</sup>, ZARZA-HERRERO P.<sup>1,2,4</sup>, MORALES P.<sup>1,3</sup>, VALVERDE-GUILLÉN P.<sup>1,2,4</sup>,  
BERNAL M.<sup>1,2,\*</sup>, RODRÍGUEZ-CASO C.<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, ANDALUCÍA TECH, FACULTAD DE CIENCIAS, DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA MOLECULAR Y BIOQUÍMICA, 29071 MÁLAGA, ESPAÑA.

<sup>2</sup>INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA DE MÁLAGA Y PLATAFORMA EN NANOMEDICINA (IBIMA PLATAFORMA BIONAND), 29010, MÁLAGA, ESPAÑA.

<sup>3</sup>UNIVERSIDAD POMPEU FABRA, DEPARTAMENTO DE MEDICINA Y CIENCIAS DE LA VIDA, PARC DE RECERCA BIOMÈDICA DE BARCELONA, 08003, BARCELONA, ESPAÑA.

<sup>4</sup>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, ANDALUCÍA TECH, FACULTAD DE CIENCIAS, DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA CELULAR, GENÉTICA Y FISIOLÓGICA, ÁREA DE BIOLOGÍA CELULAR, 29071 MÁLAGA, ESPAÑA.

[MBERNAL@UMA.ES](mailto:MBERNAL@UMA.ES); [CARLOS.RODRIGUEZ@UMA.ES](mailto:CARLOS.RODRIGUEZ@UMA.ES)

*Palabras clave: iGEM, biología sintética, liderazgo, innovación, emprendimiento.*

**Resumen:** En Andalucía se producen más de 8 millones de toneladas de residuos vegetales al año. Los agricultores deben sopesar el gasto que les produce la eliminación de estos productos, por ello muchos optan por quemar estos desechos, produciendo a su vez subproductos contaminantes de la combustión. Así, el equipo *iGEM\_UMA 2022* con el proyecto *StarchSTEM* pretende dar una segunda vida a estos residuos vegetales convirtiéndolos en un producto de valor añadido, el almidón.

Para hacer frente a esta competición, el equipo *iGEM\_UMA* ha creado un novedoso sistema de organización orgánica en la competición iGEM que permite una visión global y multidisciplinar del problema a la vez que se trabaja en un ambiente sano y comunicativo en el que el sistema de líderes rotatorios fue muy apreciado por iGEM y también en la sección de jueces.

La participación en la competición iGEM supone un impulso para el desarrollo de herramientas biotecnológicas orientadas a la investigación y la innovación educativa, permitiendo a los estudiantes experimentar el proceso de ejecución de un proyecto de investigación a la vez que se forman en biología sintética. Además, el sistema orgánico de organización fue destacado por el grupo de jueces como sobresaliente siendo marcado como una innovación nunca antes vista.

### Introducción:

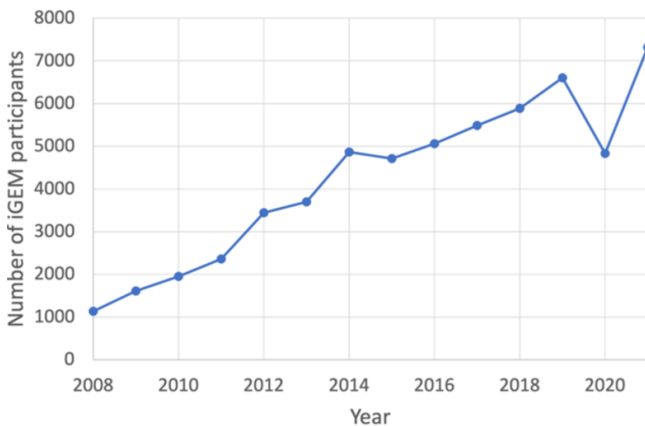
La “*International Genetically Engineered Machine*” (iGEM) es la mayor competición mundial de biología sintética organizada por el “*Massachusetts Institute of Technology*” (MIT) (Millett *et al.*, 2019; Warmbrod *et al.*, 2020; Gill *et al.*, 2022; Morales *et al.*, 2022). Randy Rettberg es el fundador y director de la competición, que como parte del MIT, fundó en 2012 la Fundación iGEM. Esta se escindió como una organización independiente sin ánimo de lucro con sede en Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos. El objetivo de la competición es el avance de la biología sintética (Benner and Sismour, 2005; Cameron *et al.*, 2014; Tang *et al.*, 2021) y la educación, a la vez que promueve el desarrollo de una comunidad abierta, colaborativa y cooperativa en constante expansión en todo el mundo (Willinsky, 2006; Laakso *et al.*, 2011; Suber, 2012; Severin *et al.*, 2018).

La primera competición fue organizada en 2003

y 2004 por proyectos de estudiantes durante los “Periodos de Actividades Independientes” del MIT, y sólo participaron 5 equipos de distintas escuelas de Estados Unidos. Sólo un año después, equipos de fuera del país participaron en la competición. Durante los 15 años siguientes, el número de participantes ha crecido considerablemente, hasta alcanzar los 353 equipos en 2019. Después, durante la pandemia de COVID-19, el número disminuyó, pero en 2022 se superó a sí mismo, presentándose 356 proyectos de todo el mundo (Figura 1) (Morales *et al.*, 2022).

El objetivo principal de esta competición es resolver problemas cotidianos que tengan un impacto en el ámbito local dentro del marco de la economía circular. Para ello, los equipos son libres de proponer un proyecto en el que, utilizando la biología sintética, puedan dar respuesta a estos problemas. Como resultado, iGEM se ha convertido en una incubadora para nuevas ideas. Otro de los objetivos de esta competición es que esta tecnología se desarrolle en todo el mundo, no sólo en las grandes empresas. Y,

de este modo, crear soluciones reales que beneficien localmente a sus comunidades.



**Figura 1.** La participación en iGEM ha aumentado en todo el mundo en la última década. Número total de participantes registrados en competencias iGEM. Extraído de Morales *et al.*, 2022.

La primera década de iGEM se basó en la creación de un registro de partes biológicas estándar en Boston, Estados Unidos (Canton *et al.*, 2008; Peccoud *et al.*, 2008; Galdzicki *et al.*, 2011; Ham *et al.*, 2012; de Lorenzo and Schmidt, 2018). Bajo la filosofía de “Get, Give & Share” los equipos contribuyeron con sus muestras de partes de ADN (Willinsky, 2006; Ham *et al.*, 2012; Severin *et al.*, 2018). Durante los siguientes 10 años, no solo se intercambiaron muestras, sino también información, cuyo valor es mayor debido a que con eso un especialista en biología sintética puede diseñar todo un dispositivo biológico. En esta tercera década que se avecina, las principales tecnologías que podrían ser esenciales son la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la bioeconomía abierta, las biofundiciones y sistemas libres de células (Balyen and Peto, 2019; Sultan *et al.*, 2020; Woschank *et al.* 2020; Aggarwal *et al.*, 2022).

Además de la construcción de sistemas biológicos, iGEM tiene otras vías como *Art & Design, Community Labs, Entrepreneurship, Measurement, Policy & Practice*, y *Software*. Incluye amplios objetivos como promover el desarrollo abierto y transparente de herramientas para la ingeniería biológica y construir una sociedad que pueda aplicar la biología de forma productiva y segura. Esta iniciativa ha fomentado el interés de los estudiantes por la biología sintética y ha contribuido a desarrollar su capacidad de aprendizaje autónomo mediante la autoorganización y la manipulación del material genético proporcionado por el concurso.

Con el paso de los años, el sistema que propone iGEM para organizar los equipos se basa en líderes que se reparten el trabajo y se convierten en la cara del proyecto (Morales *et al.*, 2022). Además, un requisito obligatorio para completar en la competición

es registrar a uno o dos miembros del equipo como líder en la página web del equipo. Sin embargo, ¿coincide esta jerarquía con la filosofía de colaboración, cooperatividad, unidad y comunidad de la que se enorgullece iGEM? (Jiang *et al.*, 2019; Qamari *et al.*, 2020; Strode *et al.*, 2022).

### StarchSTEM: el equipo iGEM UMA de 2022:

Con la filosofía de la competición en mente, desde la Universidad de Málaga desarrollamos el proyecto StarchSTEM. El objetivo del proyecto buscó explorar una segunda vida a los residuos vegetales. En concreto nos referimos a aquel material orgánico vegetal que se abandona tras ser cosechado, procesado o consumido. Cáscaras de frutas y vegetales, tallos, hojas y otros componentes de las plantas que no se utilizan para comer directamente son sólo algunos ejemplos de los materiales que componen estos residuos. Aunque los residuos vegetales son el resultado de la actividad humana y de los métodos agrícolas, su gestión es difícil y se ha convertido recientemente en una preocupación crítica. Esta cuestión tiene varias consecuencias para el medio ambiente, la bioeconomía y la sociedad. El análisis riguroso del problema, como parte de las tareas evaluables en la competición nos dieron los siguientes elementos que se presentan en tres grandes ejes:

### Efectos medioambientales:

**Desbordamiento de los vertederos:** cuando los residuos vegetales se eliminan de forma inadecuada, suelen acumularse en los vertederos, lo que agrava el problema de la escasez de espacio para vertederos. Al liberar gases de efecto invernadero, como el metano (Ritchie *et al.*, 2020; Lamb *et al.*, 2021; Rippin *et al.*, 2021; Ritchie and Roser, 2023), se contribuye a aumentar la contaminación ambiental (Hsiang *et al.*, 2019; Jargin, 2021; Petrović and Fiket, 2022) y el cambio climático (Hobbie and Grimm, 2020; Abbass *et al.*, 2022; Parmensan *et al.*, 2022).

**Contaminación:** los residuos vegetales pueden contaminar el suelo y reducir su fertilidad cuando no se manipulan correctamente, lo que provoca la degradación del suelo. Grandes cantidades de residuos orgánicos vertidos en vertederos o a los que se deja degradarse de forma inadecuada pueden producir lixiviados, líquidos que se filtran en el suelo y contaminan las fuentes de agua, dañando los ecosistemas (Hsiang *et al.*, 2019; Jargin, 2021; Petrović and Fiket, 2022).

**Emisiones de gases de efecto invernadero:** los residuos vegetales producen una cantidad considerable de metano, un potente gas de efecto invernadero (Ritchie *et al.*, 2020; Lamb *et al.*, 2021; Rippin *et al.*, 2021; Ritchie and Roser, 2023), cuando se descomponen en condiciones anaeróbicas, como las que se dan en los vertederos. El metano acelera el cambio climático y sus efectos medioambientales relacionados al provocar el calentamiento global (Hobbie and Grimm, 2020; Abbass *et al.*, 2022; Parmensan *et al.*, 2022).

### Repercusiones económicas:

**Potencial agrícola perdido:** cuando los residuos vegetales se manipulan de forma inadecuada se pierde un recurso vital (Sims and Wolf, 1994; Obi *et al.*, 2016; Duque-Acevedo *et al.*, 2020; Jena y Singh, 2022). Estos residuos pueden compostarse o utilizarse para la digestión anaeróbica, que genera energía.

**Costes asociados:** la gestión de residuos ha aumentado como consecuencia de la ineficacia de los métodos de eliminación de residuos vegetales. Esto requiere el aporte de grandes recursos para su transporte, almacenamiento y tratamiento, lo que eleva los gastos de gestión de residuos para empresas y comunidades.

**Oportunidades perdidas para el crecimiento económico:** la gestión adecuada de los residuos vegetales ofrece oportunidades para impulsar el empleo y la economía. Iniciativas como la generación de biogás, las centrales eléctricas de biomasa y las instalaciones de compostaje pueden proporcionar puestos de trabajo y apoyar una economía más sostenible y circular (Melece, 2016; D'amato and Korhonen, 2021; Khan *et al.*, 2022).

### Consecuencias sociales:

**Seguridad alimentaria y hambre:** A pesar de los enormes volúmenes de residuos vegetales que se tiran, la inseguridad alimentaria y el hambre siguen existiendo en muchas zonas. Mediante la implantación de sistemas eficaces de gestión de residuos, estos desechos podrían utilizarse para compostar y generar alimentos asequibles, lo que permitiría el cultivo de cosechas densas en nutrientes y reduciría la escasez de alimentos (Tian *et al.*, 2021; Van Dijk *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2021).

**Preocupación por la salud pública:** Las comunidades corren el riesgo de sufrir problemas de salud a causa de plagas como ratones e insectos que se ven atraídos por los residuos vegetales eliminados

de forma inadecuada. El proceso de descomposición puede producir olores desagradables y atraer insectos portadores de enfermedades, reduciendo la calidad de vida (Campbell-Lendrum and Prüss-Ustün, 2019; González *et al.*, 2021; Rippin *et al.*, 2021).

La implicación y la concienciación de la comunidad son necesarias para abordar el problema de los residuos vegetales. Promover la educación local sobre la reducción de residuos, el compostaje y las prácticas sostenibles anima a la gente a implicarse en sus comunidades y contribuir a las soluciones de gestión de residuos.

El problema de los residuos vegetales plantea graves dificultades medioambientales, económicas y sociales (Van Dijk *et al.*, 2021; Parmensan *et al.*, 2022; Ritchie and Roser, 2023). Promover estrategias de gestión sostenible de los residuos que den prioridad al compostaje, el reciclaje y la producción de energía es esencial para abordar estos problemas (Melece, 2016; D'amato and Korhonen, 2021; Khan *et al.*, 2022). Podemos avanzar hacia un futuro más sostenible minimizando la degradación medioambiental, abriendo oportunidades económicas y abordando los problemas sociales relacionados con esta cuestión urgente percibiendo los residuos vegetales como recursos útiles y no como materiales desechables. El análisis nos permitió valorar la necesidad de plantearnos una solución biotecnológica que permitirá dar una segunda vida a todos esos millones de toneladas de residuos que se desperdician (Sims y Wolf, 1994; Obi *et al.*, 2016; Duque-Acevedo *et al.*, 2020; Jena and Singh, 2022).

En el contexto de la competición, nuestra aproximación debe fundamentarse en una solución biotecnológica que permita la ingeniería de células a través de las bases y herramientas de la biología sintética. En este sentido *StarchSTEM* se centró en el diseño de un circuito genético sintético usando una célula bacteriana que tuviera la capacidad de inducir la expresión de una forma autónoma a partir de la detección de los estímulos adecuados de celulosa y glucosa. Para dicha célula la producción de una celulasa debería propiciar, en presencia de celulosa, la producción de sus monómeros elementales: la glucosa. Esta glucosa debería ser sentido por el circuito genético para desencadenar la expresión de las enzimas productoras de almidón a partir de la propia glucosa detectada. En este sentido, nuestra solución biotecnológica nos permite entender la célula como una unidad replicable que tienen la capacidad de producir almidón (molécula fácilmente asimilable para animales y bacterias) a partir de celulosa (molécula difícilmente digerible y asimilable).

El proyecto permitió la identificación de un pro-

blema en el sector agrario para proponer una solución biotecnológica basada en el diseño de un circuito genético que le proporcionaba a una célula modificada genéticamente una que previamente no existía en la naturaleza. Cabe indicar que dicha funcionalidad no es tanto la expresión de unas enzimas sino el cómo y el cuándo deben expresarse. Esto implicó el diseño de un sistema autoregurable basado en una lógica de activación y represión de promotores bacterianos.

Además, el desarrollo del proyecto se basó en la autoorganización del equipo en un concepto del

novedoso sistema de liderazgo presentado en iGEM, ya que *UMA\_MALAGA 2022* sirvió como prueba piloto de su posible implementación en la competición. Dicho sistema desde el punto de vista educativo y formador permitió que una gran parte del equipo tuviera la experiencia de coordinar un proyecto, multidisciplinar y multienfoque. Tal aproximación se aleja de las estructuras tradicionales de los grupos de investigación buscando un encaje más próximo al desarrollo de productos de ingeniería en el que el trabajo está compartimentalizado.



Figura 2. Modelo organizativo y conceptual para desarrollar un equipo coordinado siguiendo las bases de la competición internacional iGEM basado en un modelo Canvas

### El modelo de trabajo del equipo: La Jerarquía orgánica

Durante la duración del proyecto, se animó a los miembros a adquirir y perfeccionar habilidades para organizar, dirigir, procesar y ejecutar de forma autónoma las diferentes líneas de trabajo (Hartikainen *et al.*, 2019; Lopera *et al.*, 2022). De un número de unos 20 estudiantes (todo ellos siempre menores de 24 años según la normativa del concurso) de los grados de Bioquímica y Biología principalmente pero también de grados como el de Publicidad y Relaciones Públicas se estableció una estructura de trabajo. El proyecto se estructuró en diferentes módulos según muestra la Figura 2. En él se establecieron grupos de trabajo para abordar cualquier posible problema. Se formaron equipos multidisciplinares tal como sugie-

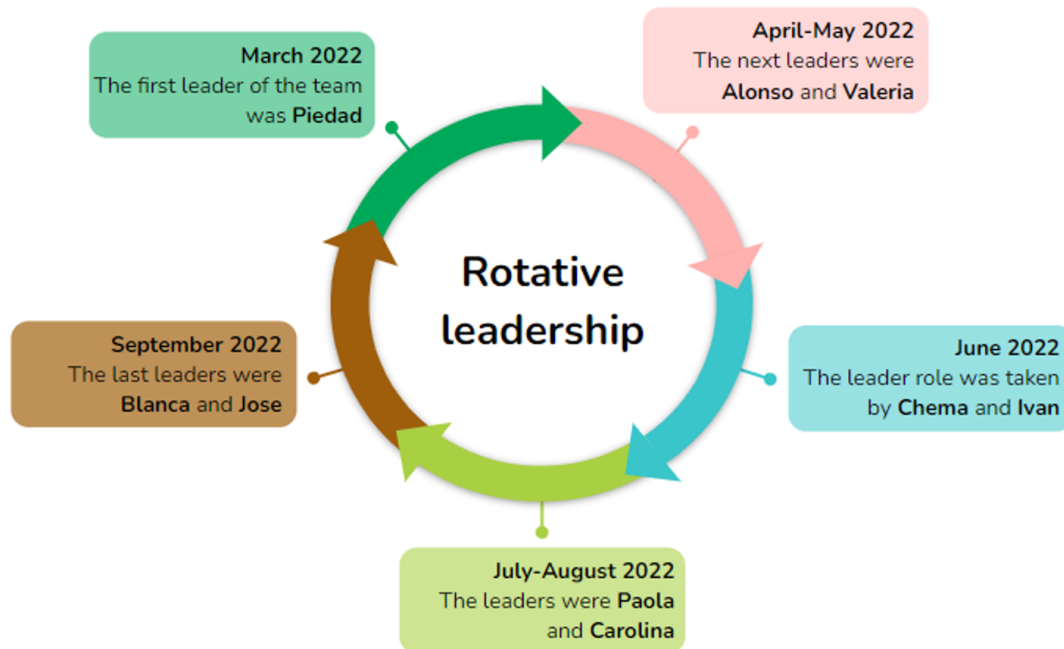
re para este tipo de metodologías diferentes autores (Hero and Lindfors, 2019; El-Atm, 2023).

Cada grupo de trabajo estuvo compuesto por un número determinado de participantes idealmente 3-4 integrantes, uno de los cuales actúa como jefe de subgrupo y depende directamente de uno de los jefes de equipo generales. Es importante garantizar una cadena de comunicación clara dentro de cada grupo para maximizar la eficacia. Dada la diversidad de grados y horarios, la organización y la comunicación se estructuró en plataformas como la denominada Slack. Este tipo de plataformas permiten la organización por temáticas lo que modulariza la gestión de las tareas. Otras plataformas de gestión de trabajo como Trello fueron testadas. Tanto reuniones presenciales, pero mucho más de carácter telemático permitieron la agilidad de un equipo con grandes restricciones de horarios y tiempo disponible.

### Liderazgo rotativo

Como alternativa a la forma convencional y anticuada de organizar los equipos en competición, se llevó a cabo una prueba piloto utilizando un método

de liderazgo rotativo. La implantación de este método pretendía mejorar el rendimiento general y fomentar un entorno de trabajo más colaborativo. Este sistema permitía a todos los miembros del equipo formar parte del equipo de liderazgo, rotando estas dos plazas cada dos meses (Figura 3).



**Figura 3.** Flujo organizativo y conceptual del sistema de líderes rotativos durante el ciclo de un año de la competición iGEM. Los nombres que aparecen en la figura corresponden a miembros del equipo.

El sistema de organización permitió aumentar la productividad y la eficacia del trabajo, además de mejorar la comunicación entre los miembros del equipo. Los miembros estaban más implicados, lo que permitió la aparición de funciones y subfunciones naturales. Por el contrario, el sistema de liderazgo rotatorio resultó más eficaz que la alternativa, ya que la carga de trabajo se distribuyó a lo largo del tiempo. Los miembros notaron su agotamiento y la abrumadora carga de trabajo hacia el final de su periodo de liderazgo. El cambio de liderazgo fue liberador y mantuvo el trabajo al 100 % mientras una persona con más energía tomaba el relevo.

### Resultados del aprendizaje:

El trabajo realizado durante la competición permitió identificar los elementos mencionados acerca del problema de los residuos vegetales. A su vez permitió la interacción con diversos agentes y empresas del sector. Este es un elemento muy relevante, y evaluado en la competición en la obtención de una retroalimentación por parte de quien padece la problemática.

El proyecto permitió enfrentar al equipo de estudiantes en la búsqueda de fuentes de financiación alternativa como fue la generación de una campaña

de crowdfunding. Tal campaña se acompañó de una estrategia en redes sociales de difusión y visibilización del proyecto, creación de la marca y logo y una serie de actividades de divulgación en colegios e institutos para comunicar a los más pequeños la que es la ciencia. La experiencia a su vez permitió que los estudiantes interaccionaran con las administraciones públicas como el ayuntamiento de Málaga que culminó en una celebración en el propio ayuntamiento con la presencia miembros del equipo del rectorado y decanato de la facultad de ciencias.

La participación en la competición fue posible gracias en gran medida a la financiación obtenida de la iniciativa K-project en su cuarta convocatoria. Esta iniciativa es una apuesta de innovación educativa en la que se fomenta el aprendizaje mediante la inmersión de los y las estudiantes en el problema, preferiblemente dentro de una entrono de competición. Este tipo de iniciativas permite dotar al estudiantes de herramientas y habilidades que van más allá de lo que ofrecen los itinerarios académicos oficiales.

El método de organización pareció inicialmente innovador y eficaz. Sin embargo, al principio dio lugar a errores de comunicación, ya que difería de las prácticas convencionales. A lo largo del proyecto, los miembros mejoraron y optimizaron el método, lo que

resultó en una metodología de gestión de proyectos notable. Los estudiantes reconocieron que la carga de trabajo del líder era excesiva, lo que lo hacía inviable durante un tiempo prolongado. Asimismo, la integración de este sistema con el enfoque SCRUM (Morandini *et al.*, 2021; Hron y Obwegeser, 2022) para la gestión de proyectos mejoró significativamente la eficacia organizativa del proyecto.

El proyecto se presentó y defendió en octubre de 2022 en París junto con las universidades más importantes del mundo en una gran celebración en la que participaron más de 5000 participantes y 30 países. En su defensa se cumplieron los objetivos para obtener la denominación de bronce. Su trabajo tuvo una difusión mediática en diferentes medios locales y un valor de aprendizaje incalculable para todos aquellos que participamos en aquella experiencia.

### Declaraciones:

### Intereses competitivos

Los autores declaran no tener intereses contrapuestos.

### Contribuciones de los autores

El modelo de líderes rotativos se implementó gracias a todos los autores y fue supervisado por CRC y MB. AMC redactó el manuscrito, PZH realizó modificaciones y MB lo revisó. Todos los autores han revisado y aprobado el manuscrito final.

### Financiación

Este trabajo ha contado con el apoyo de Link by UMA a través del Proyecto K (“*iGEM\_UMA: The international Genetically Engineered Machine Competition 2022*”), iniciativa promovida por el Vicerrectorado de Innovación Social y Emprendimiento de la Universidad de Málaga. Cabe destacar la ayuda del Área de Educación, Juventud y Empleo del Ayuntamiento de Málaga, el Departamento de Biología Molecular y Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga, la Cooperativa Agrícola Andaluza Nuestra Señora del Carmen y Málaga Natural. M.B. cuenta con el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación (España) a través del “Programa Juan de la Cierva - Incorporación”(IJC2018-037657-I).

### Reconocimientos

Queremos dar las gracias a todos los miembros del grupo *iGEM\_UMA 2022* y a los profesores CRC, MB y ABM, sin cuyo apoyo no hubiéramos podido llevar a cabo el proyecto. A los asesores Dr. Miguel Ángel Medina Torres, Dr. Antonio Heredia Bayona y Dr. Juan Antonio García Ranea. A aquellas empresas de nuestro entorno que nos dieron su apoyo. Por último, a la Fundación iGEM, ya que sin la existencia de su concurso este grupo nunca se hubiera formado.

### Bibliografía:

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Abuajah, C. I., Ogbonna, A. C., Chukeze, E. J., Ikpeme, C. A., & Asogwa, K. K. (2022). A glucose oxidase peroxidase-coupled continuous assay protocol for the determination of cellulase activity in the laboratory: the Abuajah method. *Analytical Biochemistry*, 647, 114649. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2022.114649>
- Aggarwal, K., Mijwil, M. M., Al-Mistarehi, A.-H., Alomari, S., Gök, M., Alaabdin, A. M. Z., & Abdurhman, S. H. (2022). Has the future started? The current growth of artificial intelligence, machine learning, and deep learning. *Iraqi Journal for Computer Science and Mathematics*, 3(1), 115–123. <https://doi.org/10.52866/ijcsm.2022.01.01>
- Balyen, L., & Peto, T. (2019). Promising Artificial Intelligence-Machine Learning-Deep Learning Algorithms in Ophthalmology. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 8(3), 264–272. <https://doi.org/10.22608/APO.2018479>
- Benner, S. A., & Sismour, A. M. (2005). Synthetic biology. *Nature Reviews. Genetics*, 6(7), 533–543. <https://doi.org/10.1038/nrg1637>
- Cameron, D. E., Bashor, C. J., & Collins, J. J. (2014). A brief history of synthetic biology. *Nature Reviews. Microbiology*, 12(5), 381–390. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3239>
- Campbell-Lendrum, D., & Prüss-Ustün, A. (2019). Climate change, air pollution and noncommunicable diseases. *Bulletin of the World Health Organization*, 97(2), 160–161. <https://doi.org/10.2471/BLT.18.224295>
- Canton, B., Labno, A., & Endy, D. (2008). Refinement and standardization of synthetic biological parts and devices. *Nature Biotechnology*, 26(7), 787–793. <https://doi.org/10.1038/nbt1413>
- D’amato, D., & Korhonen, J. (2021). Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. *Ecological Economics*, 188, 107143. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107143>
- de Lorenzo, V., & Schmidt, M. (2018). Biological standards for the Knowledge-Based BioEconomy: What is at stake. *New Biotechnology*, 40(Pt A), 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.05.001>
- Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L. J., Cortés-García, F. J., & Camacho, F. (2020). Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, 22, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902>

- El-Atm, S. (2023). The future is multidisciplinary: Are you ready? *LSJ: Law Society Journal*, 4, 84–89. <https://search.informit.org/doi/pdf/10.3316/informit.182051408410056>
- Galdzicki, M., Rodriguez, C., Chandran, D., Saurro, H. M., & Gennari, J. H. (2011). Standard biological parts knowledgebase. *PLoS One*, 6(2), e17005. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017005>
- Gill, H., Ahsan, M., Khalil, Y., Feng, V., Pearce, J., Sharma, T., Radwan, M., Boucinha, A., & Kærn, M. (2022). The BioExperience Research and Entrepreneurship Challenge: An iGEM-inspired applied research program for BIOSTEM talent and skills development. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 1046723. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1046723>
- Gohel, H. R., Contractor, C. N., Ghosh, S. K., & Braganza, V. J. (2014). A comparative study of various staining techniques for determination of extra cellular cellulase activity on Carboxy Methyl Cellulose (CMC) agar plates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(5), 261–266.
- González, C. A., Bonet, C., de Pablo, M., Sanchez, M. J., Salamanca-Fernandez, E., Dorronsoro, M., Amiano, P., Huerta, J. M., Chirlaque, M. D., & Ardanaz, E. (2021). Greenhouse gases emissions from the diet and risk of death and chronic diseases in the EPIC-Spain cohort. *European Journal of Public Health*, 31(1), 130–135. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckaa167>
- Ham, T. S., Dmytriv, Z., Plahar, H., Chen, J., Hillson, N. J., & Keasling, J. D. (2012). Design, implementation and practice of JBEI-ICE: an open source biological part registry platform and tools. *Nucleic Acids Research*, 40(18), e141. <https://doi.org/10.1093/nar/gks531>
- Hartikainen, S., Rintala, H., Pylväs, L., & Nokelainen, P. (2019). The Concept of Active Learning and the Measurement of Learning Outcomes: A Review of Research in Engineering Higher Education. *Education Sciences*, 9(4), 276. <https://doi.org/10.3390/educsci9040276>
- Hero, L. M., & Lindfors, E. (2019). Students' learning experience in a multidisciplinary innovation project. *Education + Training*, 61(4), 500–522. <https://doi.org/10.1108/ET-06-2018-0138>
- Hobbie, S. E., & Grimm, N. B. (2020). Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190124. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0124>
- Hron, M., & Obwegeser, N. (2022). Why and how is Scrum being adapted in practice: A systematic review. *Journal of Systems and Software*, 183, 111110. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111110>
- Hsiang, S., Oliva, P., & Walker, R. (2019). The Distribution of Environmental Damages. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(1), 1–165. <https://doi.org/10.1093/leep/rey024>
- Jargin, S. V. (2021). Environmental damage and overpopulation: demographic aspects. *Journal of Environmental Studies*, 7(1), 4.
- Jena, S., & Singh, R. (2022). Agricultural crop waste materials—A potential reservoir of molecules. *Environmental Research*, 206, 112284. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112284>
- Jiang, J. J., Klein, G., & Chang, J. Y. T. (2019). Teamwork behaviors in implementing enterprise systems with multiple projects: Results from Chinese firms. *The Journal of Systems and Software*, 157, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.110392>
- Khan, S. A. R., Umar, M., Asadov, A., Tanveer, M., & Yu, Z. (2022). Technological revolution and circular economy practices: a mechanism of green economy. *Sustainability*, 14(8), 4524. <https://doi.org/10.3390/su14084524>
- Laakso, M., Welling, P., Bukvova, H., Nyman, L., Björk, B. C., & Hedlund, T. (2011). The development of open access journal publishing from 1993 to 2009. *PLoS One*, 6(6), e20961. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020961>
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Al Khouradajie, A., & House, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>
- Lopera, H. A. C., Gutiérrez-Velásquez, E., & Ballesteros, N. (2022). Bridging the gap between theory and active learning: a case study of project-based learning in introduction to materials science and engineering. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje*, 17(2), 160–169. <https://doi.org/10.1109/RITA.2022.3166862>
- Melece, L. (2016). Challenges and opportunities of circular economy and green economy. *Engineering for Rural Development*, 25, 1162–1169.
- Millett, P., Binz, T., Evans, S. W., Kuiken, T., Oye, K., Palmer, M. J., van der Vlugt, C., Yambao, K., & Yu, S. (2019). Developing a Comprehensive, Adaptive, and International Biosafety and Biosecurity Program for Advanced Biotechnology: The iGEM Experience. *Applied Biosafety: Journal of the American Biological Safety Association*, 24(2), 64–71. <https://doi.org/10.1177/1535676019838075>
- Morales, L. G., Savelkoul, N. H., Robaey, Z., Claassens, N. J., Staals, R. H., & Smith, R. W. (2022). Ten simple rules for building an enthusiastic iGEM team. *PLOS Computational Biology*. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009916>
- Morandini, M., Coletti, T. A., Oliveira Jr, E., & Corrêa, P. L. P. (2021). Considerations about the efficiency and sufficiency of the utilization of the Scrum methodology: A survey for analyzing results for development teams. *Computer Science Review*, 39, 100314. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100314>
- Obi, F. O., Ugwuishigu, B. O., & Nwakaire, J. N. (2016). Agricultural waste concept, generation, utilization and management. *Nigerian Journal of Technology*, 35(4), 957–964. <https://doi.org/10.4314/njt.v35i4.34>
- Parmesan, C., Morecroft, M. D., & Trisurat, Y. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability* [Tesis doctoral, GIEC]. <https://hal.science/hal-03774939/document>
- Peccoud, J., Blauvelt, M. F., Cai, Y., Cooper, K. L., Crasta, O., DeLalla, E. C., Evans, C., Folkerts, O., Lyons, B. M., Mane, S. P., Shelton, R., Sweede, M. A., & Waldon, S. A. (2008). Targeted development of registries of biological parts. *PLoS One*, 3(7), e2671. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002671>
- Petrović, M., & Fiket, Ž. (2022). Environmental damage caused by coal combustion residue disposal: A critical review of risk assessment methodologies. *Chemosphere*, 299, 134410. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134410>
- Qamari, I. N., Ferdinand, A. T., Dwiatmadja, C., & Yuniawan, A. (2020). Transformative interaction capability: the mediating role between quality of work life and teamwork performance. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 12(2), 133–148. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-01-2019-0008>

- Rippin, H. L., Cade, J. E., Berrang-Ford, L., Benton, T. G., Hancock, N., & Greenwood, D. C. (2021). Variations in greenhouse gas emissions of individual diets: Associations between the greenhouse gas emissions and nutrient intake in the United Kingdom. *Plos One*, *16*(11), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259418>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2023). Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from? *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- Severin, A., Egger, M., Eve, M. P., & Hürlimann, D. (2018). Discipline-specific open access publishing practices and barriers to change: an evidence-based review. *F1000Research*, *7*, 1925. <https://doi.org/10.12688/f1000research.17328.2>
- Sims, J. T., & Wolf, D. C. (1994). Poultry Waste Management: Agricultural and Environmental Issues. *Advances in Agronomy*, *52*, 1–83.
- Smith, A. M., & Zeeman, S. C. (2006). Quantification of starch in plant tissues. *Nature Protocols*, *1*(3), 1342–1345. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.232>
- Strode, D., Dingsøyr, T., & Lindsjorn, Y. (2022). A teamwork effectiveness model for agile software development. *Empirical Software Engineering*, *27*(2), 56. <https://doi.org/10.1007/s10664-021-10115-0>
- Suber, P. (2012). *Open Access*. The MIT Press.
- Sultan, A. S., Elgharib, M. A., Tavares, T., Jessri, M., & Basile, J. R. (2020). The use of artificial intelligence, machine learning and deep learning in oncologic histopathology. *Journal of Oral Pathology & Medicine*, *49*(9), 849–856. <https://doi.org/10.1111/jop.13042>
- Tang, T. C., An, B., Huang, Y., Vasikaran, S., Wang, Y., Jiang, X., Lu, T. K., & Zhong, C. (2021). Materials design by synthetic biology. *Nature Reviews Materials*, *6*, 332–350. <https://doi.org/10.1038/s41578-020-00265-w>
- Tian, X., Engel, B. A., Qian, H., Hua, E., Sun, S., & Wang, Y. (2021). Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand? *Journal of Cleaner Production*, *294*, 126285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126285>
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, *2*(7), 494–501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- Warmbrod, K. L., Trotochaud, M., & Gronvall, G. K. (2020). iGEM and the Biotechnology Workforce of the Future. *Health Security*, *18*(4), 303–309. <https://doi.org/10.1089/hs.2020.0017>
- Willinsky, J. (2006). *The Case for Open Access to Research and Scholarship*. The MIT Press.
- Woschank, M., Rauch, E., & Zsifkovits, H. (2020). A review of further directions for artificial intelligence, machine learning, and deep learning in smart logistics. *Sustainability*, *12*(9), 3760. <https://doi.org/10.3390/su12093760>
- Zhao, H., Chang, J., Havlik, P., van Dijk, M., Valin, H., Janssens, C., Ma, L., Bai, Z., Herrero, M., & Smith, P. (2021). The environmental challenge and trade implications of China's future food demand. <https://doi.org/10.22022/ibf/08-2021.126>
- 
-

## LA FILOSOFÍA DE LA BIOLOGÍA. HISTORIA Y PERSPECTIVAS PARA EL SIGLO XXI

por FRANCISCO JAVIER NAVARRO PRIETO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

FRANCISCOJ.NAVARRO@UAM.ES

La biología, en un sentido amplio, es la ciencia que se encarga del estudio de los organismos vivos. Como seres vivos que somos, los *Homo sapiens* formamos parte del objeto de estudio de la biología, junto con las bacterias, las plantas y los hongos, entre muchísimos otros. Ya en el siglo IV a.C., Aristóteles (quien, como solía remarcar la filósofa de la biología Marjorie Grene, ha sido «el único gran filósofo que fue también un gran biólogo» (2004, p. 1)) elaboró un sistema filosófico dentro del cual la reflexión biológica y filosófica estaban indisolublemente ligadas. Cada organismo, planteó Aristóteles en *De Anima*, tiene una «alma» (psique), que no consiste sino en la capacidad que el propio organismo posee para organizar su propia materia del tal modo que pueda llevar a cabo la vida que le es propia (una vida vegetal, animal o humana) (2019). Bajo este esquema, el ser humano se distinguiría del resto de seres vivos por su capacidad para guiarse por fines tan abstractos como la verdad, la belleza y la justicia, pero estaría, sin embargo, esencialmente ligado a ellos al compartir también los fines del alma nutritiva de las plantas (el automantenimiento mediante la nutrición y la reproducción) y del alma sensitiva de los animales (la percepción y la sensación). De este modo, el alma (psique) «se distingue por un conjunto de funciones vitales: nutrición, crecimiento, locomoción y (en el caso de los humanos) cognición» (Lennox, 2001, p. 183).

Veinticinco siglos después de Aristóteles, los resultados de la biología siguen poseyendo un interés obvio para los filósofos, porque parecen decirnos de dónde venimos, adónde vamos, cuál es nuestro papel en el mundo y cómo estamos relacionados con el resto del mundo natural (Sterelny & Griffiths, 1999, p. 3). En este contexto, la filosofía de la biología se puede definir, por una parte, como la vertiente del pensamiento filosófico que se interesa por el modo en el que los resultados ofrecidos por la ciencia de la biología ofrecen soluciones a los problemas tradicionales de la filosofía (¿qué puedo conocer?, ¿qué debo hacer?, ¿qué puedo esperar?, y ¿qué es el hombre?, como diría Kant). A esta definición, sin embargo, debemos añadirle una segunda dimensión: la filosofía de la biología es, además, una rama académica de la filosofía de la ciencia (Diéguez, 2011) que se preocupa por los procedimientos epistemológicos de la biología,

por sus problemas de campo y por sus disputas disciplinares (¿qué es una especie?, ¿de qué hablamos cuando hablamos de información biológica?, ¿cuál es el papel de la adaptación en la teoría de la evolución darwiniana?; la selección natural, ¿actúa sobre los individuos o sobre las poblaciones?).

Aunque la mayoría de las definiciones solo suelen tener en consideración este segundo aspecto, el planteamiento de Aristóteles nos recuerda que, a lo largo de la historia de la filosofía, la ciencia ha servido como herramienta para orientar y resolver los problemas filosóficos del mismo modo en que, más recientemente, la filosofía, con su claridad conceptual y con su aguda percepción de los presupuestos, las premisas y las consecuencias, ha servido y sirve como herramienta para clarificar los problemas de la ciencia.

De este modo, la filosofía de la biología posee una doble dimensión, caracterizada por las diferentes maneras en que se relacionan ciencia y filosofía: por un lado, y al modo aristotélico, la ciencia como herramienta para la filosofía; por otro, de un modo que quizás es más familiar a los académicos contemporáneos, la filosofía como herramienta para la ciencia. Peter Godfrey-Smith, quizás uno de los filósofos actuales de la biología más leídos y reconocidos, señala este doble carácter de la filosofía de la biología en su libro de introducción al tema (2014) cuando distingue entre los filósofos cuyo objetivo es «entender cómo funciona un campo particular de la ciencia» (2014, p. 3) y los filósofos que, a grandes rasgos, tratan de resolver cuestiones metafísicas, éticas y políticas utilizando la ciencia como «un instrumento, una lente» a través de la cual mirar al mundo. «La ciencia se convierte entonces en un recurso para la filosofía, en lugar de ser un tema de estudio» (2014, p. 4).

En cualquier caso, y utilicemos la definición que utilicemos, la conjunción entre la filosofía y la biología evocada bajo el rótulo de «filosofía de la biología» viene a solucionar el problema del que el brillante biólogo Michael Ruse se lamentaba hace más de cincuenta años:

*En realidad, los filósofos tienden a ignorar casi completamente los numerosos y sugerentes progresos recientes de la biología, mientras que los biólogos suelen ser*

*hostiles o indiferentes ante el trabajo de los filósofos modernos. Consecuentemente, los filósofos construyen castillos sin base científica, mientras que los biólogos luchan en batallas que los filósofos ganan hace más de veinte años* (Ruse, 1973, p. 10).

En efecto, no existe hoy una manera en que la «construcción de castillos» filosófica que se da en las áreas de la metafísica, la epistemología, la política o la ética no se haya visto afectada por la biología. En otras palabras: buena parte de los campos que consideramos filosóficos, ya se ocupen de las preguntas acerca de la naturaleza última de la realidad y del hombre, o de cuestiones más prácticas acerca de qué debemos hacer o cómo debemos organizarnos políticamente, asumen, al menos de manera implícita, las enseñanzas que la biología lleva lanzándonos desde hace casi dos siglos. La «peligrosa idea de Darwin», en palabras de Daniel Dennett, es capaz de «situar nuestras visiones más apreciadas de la vida sobre unos nuevos fundamentos» (1999, p. 7). Sea uno un catedrático de metafísica, un filósofo dedicado a la ética o un jurista especializado en los derechos de la naturaleza (ni qué decir si uno es científico en cualquier área), será imposible que no se tope en algún momento de su vida académica con la inevitable conclusión de Darwin según la cual todas las facultades del hombre, sean estas la razón, la mente o el lenguaje, se deben a esa lenta y poderosa acumulación progresiva de variaciones beneficiosas que Darwin denominó como selección natural. Además, Darwin fue mucho más allá: la teoría de la descendencia con modificaciones, tal como Darwin mismo se refería a ella, emparenta a la humanidad con el resto de los organismos, formando una suerte de árbol genealógico según el cual, para cualesquiera dos especies, puede encontrarse un antepasado común más o menos lejano en el tiempo.

Así, en un solo gesto de pensamiento, Darwin revolucionó no solo la ciencia sino también la filosofía. Desde ese momento en adelante (ni qué decir con el posterior desarrollo de la genética y la biología molecular), todos los asuntos humanos deberían dejar de soñarse separados del resto de la naturaleza: el ser humano es un animal ciertamente peculiar que hace política, filosofía y derecho; pero un animal, al fin y al cabo, con actividades ciertamente complejas que no dejan de tener sus raíces en la evolución, y cuyo destino y proveniencia es el mismo que el de las bacterias o los hongos. Por supuesto, Darwin era consciente de las consecuencias que su teoría tenía para el pensamiento filosófico: «estudiar metafísica,

tal como ha sido siempre estudiada», escribió en uno de sus cuadernos, «me parece tan sorprendente como estudiar astronomía sin mecánica» (cuaderno N en Barrett et al., 1987, p. 564). La biología se erigiría, entonces, como «mecánica» de una filosofía que, desde Darwin, compartiría su objeto con las ciencias (la naturaleza y el hombre, al menos) y que, por tanto, vería seriamente amenazada su capacidad de ofrecer respuestas de forma autónoma. De este modo, la filosofía de la biología, entendida como área de pensamiento filosófico, debe remontarse, al menos, a la fundación misma de la biología moderna con la obra de Darwin, si no al mismo Aristóteles. Stuart Kauffman, Steven Pinker, Richard Dawkins, Stephen Jay Gould, Daniel Dennett, Peter Godfrey-Smith, Daniel Haig, Ernst Mayr, Paul Griffiths, Samir Okasha, Daniel J. Nicholson, Elliot Sober, Tim Lewens, John Dupré, Richard Lewontin, Marjorie Grene o Michael Ruse son solo algunos de los nombres de los filósofos y científicos que se han encargado de extraer todo el jugo filosófico a esta conjunción entre ciencia y pensamiento propia del área de la filosofía de la biología.

Como campo académico universitario, sin embargo, la rama de la filosofía de la ciencia que no deja de ser la filosofía de la biología posee una cronología mucho más precisa. Es a partir de los años 70, tras el descubrimiento de la estructura en doble hélice del ADN (1953) y el prometedor comienzo de la ingeniería genética, cuando la biología, que por aquel entonces tenía ya un aspecto de ciencia seria y absolutamente fundamentada y rigurosa, consiguió arrebatarse su papel de ciencia estrella a la física, provocando, en consecuencia, un desplazamiento del interés de los filósofos hacia la prominente disciplina. Entre los primeros libros de filosofía de la biología *sensu stricto* destacan el de Michael Ruse (1973) y el de David L. Hull (1974). Justo en aquellos años, también podemos situar los *papers* académicos sobre temas propios de la filosofía de la biología de Kenneth Schaffner (1969, 1974) y de William Wimsatt (1972, 1974), ambos filósofos de formación, quienes escribieron con un rigor inusitado y una profundidad hasta entonces inédita sobre temas como el reduccionismo biológico, la complejidad, la organización de los sistemas biológicos y la propia historia de la disciplina. A lo largo de los años 80, la disciplina de la filosofía de la biología se asienta gracias a la fundación de las principales revistas académicas especializadas en el tema, como son *Biology and Philosophy* (1986), *Ludus Vitalis* (1993) y *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* (1998). En la disciplina, los libros introductorios clásicos y de obligada lectura para cualquier lector interesado son los de Elliot Sober (1993/ 1996), Michael Ruse (1973),

Kim Sterelny and Paul E. Griffiths (1999), Marjorie Grene y David Depew (2004) y, más recientemente, el de Peter Godfrey-Smith (2014).

Desde los años setenta, sin embargo, la filosofía de la biología ha sufrido cambios notables. Centrada, sobre todo en sus inicios, en las peculiaridades epistemológicas de la disciplina, la filosofía de la biología ha visto, en los últimos años, su interés desplazado a cuestiones de tipo más ontológico: ya no se trata únicamente de reflexionar sobre el método utilizado, sino sobre qué nos dice la biología acerca de los organismos, los ecosistemas y los seres que componen este mundo. En el contexto del cambio climático y la crisis ecosocial, la filosofía de la biología se torna una compañera ideal del ecologismo, capaz de contestar a la pregunta «¿en qué consiste el ser de aquello que queremos defender, bosques, árboles, animales y ecosistemas?»; una pregunta, claro está, cuya respuesta es simplemente dada por hecho por otras disciplinas. Para un lego interesado en la materia, algunas de las preguntas más interesantes que pueden encontrarse dentro de la filosofía contemporánea de la biología son estas: ¿son los seres vivos comparables a máquinas? (Nicholson, 2019), ¿Cuál es la relación entre genes y organismo? (Noble, 2006), ¿Es la teoría de la evolución tradicional tal y como la conocemos una teoría completa o, como muchos autores defienden, hay que extenderla? (Pigliucci & Müller, 2010), ¿Podemos afirmar que todos los seres vivos son conscientes o, al menos, cognitivos? (Trewavas & Baluška, 2011) y, si no, ¿cuáles son los criterios de demarcación y distribución de la conciencia? (Ginsburg & Jablonka, 2019), ¿Qué es la inteligencia biológica? ¿Son inteligentes las plantas, las bacterias o los hongos? (Calvo & Baluška, 2015), ¿Qué es la experiencia subjetiva y cuándo surgió? (Godfrey-Smith, 2020); y, ¿qué animales la poseen y cuáles no? (Bronfman et al., 2016).

Todas estas preguntas exigen, para su respuesta, de una extraña mezcla de resultados experimentales e ímpetu filosófico. Responderlas requerirá de filósofos versados en las cuestiones más complejas de la biología, así como de biólogos interesados por los procedimientos de una disciplina cuyo objetivo, ya desde Aristóteles, ha sido ofrecer una imagen de la realidad capaz de acompañar nuestros mejores esfuerzos científicos por conocerla.

## Bibliografía

- Aristóteles. (2019). *Sobre el alma* (J. M. García Valverde, Trans.). Editorial CSIC.
- Barrett, P. H., Gautrey, P. Jack., Herbert, Sandra., Kohn, D., & Smith, S. (1987). *Charles Darwin's notebooks, 1836-1844: geology, transmutation of species, metaphysical enquiries*. British Museum Natural History.
- Bronfman, Z. Z., Ginsburg, S., & Jablonka, E. (2016). The transition to minimal consciousness through the evolution of associative learning. *Front Psychol*, 7, 1954. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01954>
- Calvo, P., & Baluška, F. (2015). Conditions for minimal intelligence across eukaryota: a cognitive science perspective. *Frontiers in Psychology*, 6, 1329. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01329>
- Dennett, D. C. (1999). *La peligrosa idea de Darwin: evolución y significados de la vida*. Galaxia Gutenberg. Círculo de Lectores.
- Diéguez, A. (2011). ¿Qué es la filosofía de la biología? *Encuentros En La Biología*, 4(132), 3-5. <https://revistas.uma.es/index.php/enbio/article/view/18479>
- Ginsburg, S., & Jablonka, E. (2019). *The Evolution of the Sensitive Soul: Learning and the Origins of Consciousness* (1st ed.). MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11006.001.0001>
- Godfrey-Smith, P. (2014). *Philosophy of biology*. Princeton University Press.
- Godfrey-Smith, P. (2020). *Metazoa: animal life and the birth of the mind* (First edition). Farrar, Straus and Giroux.
- Grene, M., & Depew, D. (2004). *The Philosophy of Biology: An Episodic History*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CB09780511819018>
- Hull, D. L. (1974). *Philosophy of biological science*. Prentice-Hall.
- Lennox, J. G. (2001). *Aristotle's philosophy of biology: studies in the origins of life science*. Cambridge University Press.
- Nicholson, D. J. (2019). Is the cell really a machine? *Journal of Theoretical Biology*, 477, 108-126. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.06.002>
- Noble, D. (2006). *The Music of life: biology beyond genes*. Oxford University Press.
- Pigliucci, M., & Müller, G. (2010). *Evolution, The Extended Synthesis*. MIT Press.
- Ruse, Michael. (1973). *The philosophy of biology*. Hutchinson.
- Schaffner, K. F. (1969). Theories and Explanations in Biology. *Journal of the History of Biology*, 2(1), 19-33. <https://doi.org/10.1007/BF00137265>
- Schaffner, K. F. (1974). The Peripherality of Reductionism in the Development of Molecular Biology. *Journal of the History of Biology*, 7(1), 111-139. <https://doi.org/10.1007/BF00179296>
- Sober, E., Viso Pabón, S. del, & Fernández, T. R. (1996). *Filosofía de la biología*. Alianza.
- Sterelny, K., & Griffiths, P. (1999). *Sex and death: an introduction to philosophy of biology*. University of Chicago Press.
- Trewavas, A., & Baluška, F. (2011). The ubiquity of consciousness. *EMBO Reports*, 12(12), 1221-1225. <https://doi.org/10.1038/embor.2011.218>
- Wimsatt, W. C. (1972). Complexity and Organization. *PSA (East Lansing, Mich.)*, 1972, 67-86. <https://doi.org/10.1086/psaprocbienmeetp.1972.3698961>
- Wimsatt, W. C. (1974). Reductive Explanation: A Functional Account. *PSA (East Lansing, Mich.)*, 1974, 671-710. <https://doi.org/10.1086/psaprocbienmeetp.1974.495833>

## LA EXPULSIÓN DE RÍO HORTEGA DEL LABORATORIO DE CAJAL. UNA CARTA DE LORENTE DE NÓ

por FEDERICO J. C-SORIGUER ESCOFET

MÉDICO. MIEMBRO DE LA ACADEMIA MALAGUEÑA DE CIENCIAS.

*AGRADECIMIENTO: A Purificación Rodríguez Ruiz, doctora en historia de la Ciencia por la Universidad de Murcia por sus aportaciones en la redacción de este artículo.*

En el año 2021, publiqué un trabajo en “*Encuentros en la Biología*”<sup>[1]</sup> en el que salíamos al paso de los infundios que recientemente se habían propagado sobre las conflictivas relaciones entre Cajal y Río Hortega, que llevaron a la expulsión de este último del laboratorio de Cajal. En el artículo discutíamos algunas de las razones de estos infundios, llegando a la conclusión de que, en parte, eran el resultado de la desinformación cuando no la ignorancia sobre la figura y la obra de Cajal y por extensión también sobre la “Edad de Plata” de la ciencia española, ignorancia no solo de la población general sino, incluso, de eximios representantes de la alta cultura de nuestro país, de la que un reciente ejemplo nos daba el motivo para escribir aquel artículo<sup>[2]</sup>. Es este asunto, poco conocido, sobre el que existen diferentes versiones que en el artículo recogíamos de fuentes diversas, especialmente de la correspondencia entre Cajal y Río Hortega, cartas muchas de ellas procedentes del libro póstumamente publicado de Río Hortega “El Maestro y yo”<sup>[3]</sup>. En estas diferentes versiones, el juicio “moral” sobre una y otra de las partes en conflicto oscila en función de la cercanía del historiador a Cajal o a Río Hortega<sup>[4]</sup>. En la carta donde Cajal despide sin ambages a Río Hortega, le recuerda a Don Pío los agravios e infundios vertidos contra él que le habían llegado a través de personas de toda confianza (“absolutamente veraces”). Para algunos de los que han analizado esta historia el confidente debió ser Tomás, el celador o conserje, “jarrillo de mano” de Don Santiago para todos los asuntos “domésticos” y, al parecer, experto correveidile, prototipo de la mejor tradición picaresca española (¡¡y por tanto muy creíble!!)<sup>[5]</sup>. Para otros estudiosos de la vida y obra de Cajal<sup>[6]</sup>, el conflicto entre Cajal y Río Hortega se entiende mejor desde la perspectiva de la “psicología de grupos”. Lo que habría ocurrido no sería sino el colofón de una historia soterrada de rivalidades entre los miembros más antiguos de la escuela cajaliana, representados por

Tello<sup>[7]</sup> y un “recién llegado” más joven que aunque reconoce la autoridad de Cajal, procede de la escuela de Achúcarro con el que, por otro lado, Cajal tenía muy buena relación. Para la vieja escuela Don Pío era un miembro nuevo, procedente de una escuela distinta, que no compartía ciertas reglas internas que podían ir desde la vinculación emocional con Cajal hasta la tolerancia hacia las particulares y nada leales maneras de comportarse del conserje<sup>[8]</sup>. Río, además, fue una persona de carácter difícil. Así lo define Fernando De Castro<sup>[9]</sup>: “*Aparte de su talento, Río Hortega era muy susceptible, de carácter vidrioso, poseído de gran idolatría, disfrazada con la expresión de infinita bondad*”, lo que debió contribuir de manera importante a exacerbar los malos entendidos. Un asunto menor aunque no desde la perspectiva de la dinámica del grupo, sobre todo si el nuevo miembro en muy poco tiempo sobrepasa ampliamente la producción científica media del grupo<sup>[10]</sup>. Otros factores pudieron influir en la decisión de Cajal que ya fueron reseñados en el anterior artículo y de los que haremos un breve comentario al final de este, pero que no parecen ni probables ni los más importantes<sup>[11]</sup>. El conflicto existente entre Don Pío y el resto de los miembros del laboratorio de Cajal, lo deja aquel muy claro en sus cartas. En Julio de 1919 asiste en París, al Congreso Internacional de Fisiología donde realiza una demostración práctica con los métodos de Cajal para estudiar la neuroglía y el retículo de Golgi, y con el suyo propio para su microglía<sup>[11]</sup>. De vuelta a España comprueba, una vez más, que “sus enemigos no han perdido el tiempo y han vuelto a calentar la cabeza de Cajal”, hasta el punto que “(. . .) *Esta vez acertaron a tocar la fibra más delicada del maestro y éste dio, al fin, rienda suelta a sus sentimientos. Un día tras otro, los «viejos amigos y camaradas» y los jóvenes simpatizantes con ellos, llevados de aviesas intenciones, llenaron la cabeza de D. Santiago de especies calumniosas hasta conseguir que sus sentimientos sofisticados fluyesen en una carta cuyo contenido psicológico no sería difícil desentrañar*”<sup>[17]</sup>. Esa carta fue escrita por Cajal el 9 de Octubre de 1.920 y fue precisamente Tomás el encargado de entregársela personalmente<sup>[12]</sup>. En todo caso, muy

harto debía estar Cajal de aquellas rencillas y mucha confianza debía tener en “su informador” para que tomara una decisión tan drástica como expulsar a Río de su laboratorio. Porque la pregunta que quedó en el aire en mi anterior artículo era quién pudo ser el informante de Don Santiago, con la confianza y autoridad suficiente como para llevar a Don Santiago a tomar tan drástica medida. A mediados de este mes de Mayo (de 2024) el profesor Juan Antonio Pérez Claros, miembro del comité editorial ejecutivo de “*Encuentros en la Biología*” recibe una carta de Doña Purificación Rodríguez Ruiz, doctora en historia de la Ciencia por la Universidad de Murcia, remitiéndole su tesis doctoral, con el ruego de que me la envíe con una nota adjunta: “*en mi tesis doctoral sobre mi padre, Antonio Pedro Rodríguez Pérez, tiene la carta que provocó a su vez la que Cajal le envió a Río Hortega en la que le expulsa del Laboratorio*”. Fue escrita por Rafael Lorente de Nó el 9 de octubre de 1920 y la puede leer en las páginas 178 y 179 de mi tesis que está disponible en <http://www.tdx.cat/handle/10803/104108><sup>[13]</sup>. En la tesis, además de recuperar la figura del científico Antonio Pedro Rodríguez Pérez, que formó parte de la segunda generación de la escuela de Cajal, publica, - y este el motivo por el que contacta conmigo-, la carta que le escribió Lorente de Nó a Cajal y que dio motivos a que este expulsara definitivamente a Río Hortega del Laboratorio. Como esta carta y esta información rellenan el hueco dejado en mi anterior artículo la reproduzco aquí con el permiso de la doctora Purificación Rodríguez:

*Maestro:*

*Creo mi deber ratificar por escrito las manifestaciones que de palabra hice a Vd. el día de los corrientes:*

*1º En el mes de enero del presente año, cuando no hacía 10 días que me conocía, D. Pío del Río Hortega, me dijo con estas o aproximadas palabras: “Don Santiago no es maestro, ni mío ni de nadie, cuando viene al laboratorio se encierra en su cuarto y a nadie dice nada; a mí no me ha enseñado nada, mi maestro fue el Dr. Achúcarro y después de la muerte de este me he formado solo”.*

*2º El carácter del Dr. Del Río es al menos para mí insufrible, por querer imponer su voluntad y normas de trabajo, a cuantos él juzga a sus órdenes, o inferiores en conocimientos a él.*

*3º Que cuando conforme a los deseos de V., comuniqué al Dr. Del Río que yo trabajaba en el Laboratorio de Investigaciones Biológicas, bajo la dirección del Dr. Cajal y que yo me colocaría en la mesa en que trabajó el Dr. Tello, él ordenó al conserje que cuanto material yo gastase fuese de cuenta del Instituto Cajal.*

*4º Que yo juzgaba a punto de perderse toda la labor científica realizada por Vd. y sus discípulos durante 40 años, si no cambiaba la orientación del laboratorio hoy dedicada casi en totalidad al estudio de las reacciones tintoriales del carbonato de plata. Esperando haga Vd. el uso que juzgue conveniente de este escrito, se reitera incondicionalmente a sus órdenes.*

*Rafael Lorente de Nó. Madrid, 9 de octubre de 1920.*

Tras esta carta, no parece haber muchas dudas de quien fue el confidente que le merecía a Cajal “toda credibilidad” y que le llevó a tomar una decisión tan importante y con una carta tan dura. La carta de Lorente de Nó, además, está fechada el mismo día que la de Don Santiago a Río Hortega (9 de Octubre de 2020) y en su comienzo ya advierte que le había adelantado el contenido en conversación privada (“*creo mi deber ratificar por escrito las manifestaciones que de palabra hice a Vd. el día de los corrientes*”). La falta de empatía entre Lorente de Nó y Río Ortega eran mutuas<sup>[14]</sup>.

Junto con Río Hortega, Lorente fue uno de los más prestigiosos científicos de la escuela de Cajal también uno de los más estimados por él. Aragonés como Cajal comenzó su carrera científica en el laboratorio de Cajal, publicando su primer trabajo en 1922, marchando pronto a aumentar su formación con estancias encadenadas financiadas por sucesivas becas de la JAE, en Países Bajos Alemania Suecia. Gozó en todo momento del apoyo de Cajal con el que mantuvo un intenso epistolario durante su largo periplo en el extranjero<sup>[15]</sup>, quien le recriminó, no obstante, en alguna ocasión su decisión de abandonar definitivamente España para instalarse en EEUU<sup>[16]</sup>, cosa que hizo en 1931, integrándose plenamente en los círculos científicos norteamericanos. Tras conseguir la nacionalidad en 1944 fue elegido miembro de la Academia Nacional de Ciencias en 195018.

La guerra civil del 36, acabaría con la escuela de Cajal. Lorente terminó como “exiliado forzado” a marcharse para progresar en su carrera, como el mismo se definía, y Don Pío como “exilado político”, primero en Europa y luego definitivamente en Argentina. La ruptura de Don Pío con la escuela cajaliana, tuvo repercusiones mucho tiempo después, incluso, de que Cajal y Río Hortega limaran las asperezas. Un buen ejemplo son las rivalidades entre Tello y Río Hortega con motivo de las oposiciones a cátedra a las que concurren discípulos de ambos, recogidas en las cartas que en 1931 se intercambiaron, que fueron conservadas por Antonio Pedro Rodríguez Pérez y que pueden ser consultadas en la tesis realizada por su hija<sup>[18]</sup>, Dña. Purificación Rodríguez Ruiz,

tesis que ha servido, como se ha comentado, como estímulo para escribir este añadido al artículo que previamente habíamos publicado en “*Encuentros en Biología*”<sup>[1]</sup>. Aunque el contenido de estas cartas se alejan del objetivo del presente artículo su lectura es de una enorme actualidad pues en ellas, ambos, Tello y Hortega discrepan de manera radical sobre el modelo de universidad, pues mientras que para Río Hortega los profesores universitarios deben ser sobre todo y ante todo científicos, para Tello, por el contrario, deben ser docentes que además hacen ciencia, posiciones nada teóricas pues fueron motivo de debate y de justificación de las diferentes posiciones mantenida por uno y otro para defender a sus candidatos a unas oposiciones a cátedra en las que se presentaba un sobrino de Fernando Tello.

En la carta que Río Hortega escribe a Tello dice sentirse obligado a darle unas explicaciones de los motivos por las que no votó a Martínez (sobrino y candidato de Tello) y de la que entresaco este párrafo:

“(…) *Tan ostensible resultaron para el público las diferencias (entre los candidatos), que seguramente hubiera merecido yo graves reproches desestimándolas, sobre todo teniendo en cuenta que constantemente vengo hablando de la necesidad urgentísima de que los catedráticos sean, ante todo investigadores, no solo para que ostenten la categoría de verdaderos maestros sino para que la Universidad el máximo decoro y se capacite para crear ciencia, no en una disciplina aislada sino en todas ellas. Espero me hará el honor de creer la rectitud de mi conducta, que ha sido, estoy absolutamente seguro de ello, igual a la que V.hubiera seguido en caso semejante (...)*”. Firmado: Pio del Río Hortega.

El 7 de marzo de 1931 Tello le contesta con una larga carta de la que resumimos lo que consideramos más relevante:

“*Muy Sr. Mío: Su carta me ha producido verdadera indignación; es el apropiado remate de una conducta desleal e insincera. Con habilidad monjil, trata de justificar su conducta haciendo apelación a su arraigada creencia de que los catedráticos han de ser ante todo investigadores y de que yo hubiera procedido como Vd. De ningún modo: yo creo que el Catedrático ha de ser ante todo profesor; es decir, ha de conocer en el estado actual, toda la ciencia que tiene que dar digerida a sus discípulos, y si además es investigador, mejor todavía. Por todos son conocidos los excelentes maestros que no fueron investigadores. Por otra parte, supongo que no otorgará ese nombre a la pléyade de jóvenes que llenan los laboratorios para hacer dos o tres trabajitos, la mayor*

*parte en colaboración o llevados de la mano del maestro, con que asaltar una cátedra, para dedicarse después a todo menos a la investigación, no habiendo sido ni investigadores ni profesores. (...) Pero dejemos aparte estas opiniones diametralmente opuestas, sobre lo que debe ser un profesor, porque en el caso presente, por muchas vueltas que V. le dé no tienen aplicación (...)*”

Unas discrepancias sobre el modelo de profesor universitario que han llegado hasta nuestros días y que recuerdan, por otro lado, cuán vivo estaba en el primer tercio del siglo XX el debate sobre la Universidad española no solo como una cuestión teórica, como fue el caso, por ejemplo de Ortega<sup>[19]</sup>, sino también práctica como muestran estas cartas, que hemos aquí incluido como ejemplo de aquel debate, tan actual, por otro lado, y sobre el que, sin duda, merece la pena volver. En los últimos años la vida y obra de Cajal, la “Escuela de neurología de Madrid” y la propia JAE han sido sujeto de nuevos estudios y actualizaciones, especialmente coincidiendo con el llamado año Cajal<sup>[20]</sup>. Ha sido necesario que pase medio siglo de la muerte de Franco para que esto ocurra. En vida (y hasta su muerte) Cajal fue, muy a su pesar, idolatrado. Tras la Guerra Civil y durante la dictadura solo se elogió su patriotismo, tergiversándolo, mientras se olvidaba su obra, se destruía el legado de la JAE, se perseguía a muchos de los miembros de su escuela y se producía la depuración, cuando no la eliminación física de los más eminentes científicos (e intelectuales)<sup>[21]</sup> que junto a Cajal habían dado lugar a lo que se ha llamado la “edad de plata” de la ciencia y de la cultura española<sup>[22,23]</sup>. En el comienzo de la transición la ciencia y el recuerdo y reivindicación de la “edad de plata”, no fueron un asunto prioritario. En lo que concierne a la memoria de Cajal, para algunos les bastaba con el mito o con tener algún libro de Cajal de la vieja colección Austral en las bibliotecas heredadas de sus padres o, si acaso, con la tan malentendida referencia de Ortega y Marañón sobre Cajal<sup>[24]</sup>. Otros, quizás los más jóvenes, solo conocían de Cajal la manipulación que la dictadura había hecho de su patriotismo lo que (al menos inconscientemente) le convertía en “sospechoso”. En todos los casos el común denominador era la ignorancia y la indiferencia que existía en España sobre la ciencia y sobre su pasado, como muestra el ejemplo del conocido intelectual español, publicado en “*Encuentros en la Biología*” en 2021 y que hemos recordado en el primer párrafo de este artículo. Por eso, tal vez, no sea sorprendente que todo el empeño de los primeros años de la transición fuese intentar “humanizar a Cajal”, quizás como una manera de desmitificarlo. El primer ejemplo quizás fuese la serie

“Ramón y Cajal. Historia de una voluntad” que TVE emitió en 1982, dirigida por José María Forqué y protagonizada por Verónica Forqué junto a Adolfo Marsillach, que presenta un Cajal falseado “como un egoísta horrendo, malgastador de los míseros ahorros de su esposa” o la denuncia de su comportamiento misógino o machista, sin tener en cuenta la época en la que Cajal vivió ni, tampoco, el testimonio de la presencia de mujeres en su laboratorio<sup>[25]</sup>, o su comportamiento autoritario y homófobo<sup>[26]</sup> del que ya hemos dado cuenta en anterior artículo. En los últimos años algo está cambiando y la figura y la obra de Cajal comienza a ser mirada con mayor y mejor perspectiva histórica. A ello ha contribuido, sin duda, las nuevas investigaciones, artículos y libros que se han publicado y, probablemente, también, la mirada desde el extranjero en donde su recuerdo ha sobrevivido al olvido del tiempo. En 1973 la “International Astronomical Union”, bautizó con el nombre de Cajal a uno de los cráteres de la luna. En 2017, la UNESCO decidió incluir los “Archivos de Santiago Ramón y Cajal y la Escuela Española de Neurohistología” como parte del Patrimonio de la Humanidad<sup>[27]</sup>, recientemente se han reconocido los dibujos científicos de Cajal como una de las grandes obras de arte del siglo XX<sup>[28,29]</sup>. O por citar un ejemplo más popular, su aparición en la conocida serie “The Big Bang Theory”<sup>[30]</sup>. En este artículo hemos completado, al menos en parte, la historia del conflicto de Cajal con Río Hortega a partir de la información proporcionada por la Doña Purificación Rodríguez Ruiz. La tesis doctoral de Rodríguez Ruiz recupera la memoria de un científico de la segunda generación de la escuela de Cajal, Antonio Pedro Rodríguez Pérez, que ayuda a comprender mejor las vicisitudes por las que debió pasar Cajal y su laboratorio. Como hemos comentado en otro momento la expulsión de Río Hortega, debió ser una decisión muy difícil para Cajal, como prueban sus vacilaciones y rectificaciones recogidas en cartas previas a la definitiva del 9 de octubre de 2020. Para algunos, la expulsión de Río Hortega fue motivada por los celos del maestro ante el descubrimiento por este de la neuroglía (tercer elemento) sospechada largamente por Cajal<sup>[31]</sup>. Es cierto que Cajal puso en duda durante algún tiempo la paternidad de Río Hortega atribuyéndosela, aunque sin demasiado énfasis, al inglés Robertson, pero no es menos cierto que cuando estuvo absolutamente convencido reconoció sin reservas y con entusiasmo la paternidad de Río Hortega. Así en Mayo de 1923, Cajal en su tercera edición de “Recuerdos de mi vida”, en el segundo volumen -Historia de mi labor científica-<sup>[32]</sup> comenta sus “actuales” ideas sobre la controvertida microglía.

Después de una serie de consideraciones sobre Achúcarro y sobre sus antiguas observaciones históricas, termina el comentario con una contundencia que no deja lugar a dudas:

*(...) Pero es preciso reconocer que la revelación de la generalidad de este corpúsculo microglial y la descripción de las diversas formas que adopta en el cerebro se debe a Río Hortega, el cual ha puesto de manifiesto sus fases evolutivas y su origen leucocítico. Para ello se ha valido de su método especial del carbonato de plata. Aca-so algún autor extranjero, quizá Roberston (sic), vislumbró, en preparaciones imperfectas, tan interesantes elementos; mas como ni los describió con precisión ni los dibujó tampoco, es imposible decidir a ciencia cierta qué cosa sea la que calificó de mesoglía. También debemos a Río Hortega la demostración de que las Stabchencellen de Nissl constituyen una variedad de la microglía. Y más adelante, añade: “En los últimos años la abundancia de aficionados y la angostura del local -del Laboratorio de Investigaciones Biológicas- ha obligado a crear nuevos laboratorios de Histología. La más activa de estas es la dirigida por Río Hortega. En ella se han ilustrado ya algunos discípulos sobresalientes, tales como Gimenez Asúa (sic), Collado, etc.”*

Una rectificación que le honra, aunque fuera insuficiente para don Río. Incluso aunque se hubiese dejado llevar en los primeros momentos por los celos (como algunos aseguran), no es fácil rectificar, como fue sin duda el caso de Golgi con Cajal en sus respectivos discursos del Nobel, donde, frente a la cortesía y prudencia del discurso de Cajal, Golgi en su intervención, en palabras de Cajal “hizo gala de una altivez y egolatría tan inmoderadas, que produjeron deplorable efecto en la concurrencia”. Afortunadamente con la “Declaración del año de Cajal”, el país comienza a reconocer su enorme legado sin la hagiografía algo empalagosa del primer tercio del siglo XX<sup>[33]</sup>, sin la manipulación de su figura por la dictadura y sin la tergiversación que de su memoria se ha hecho desde que en España se consiguió la democracia. Porque si tenemos que recordar hoy algo de Cajal es su ejemplaridad<sup>[34]</sup>. Cajal fue un hombre excepcional, pero no fue una excepción en su época. De hecho, bastó que los gobiernos mostraran un poco de interés por la ciencia para que en dos o tres décadas se formara en España la llamada Escuela Neurológica Española (“Escuela de Cajal”) en la que otros dos miembros estuvieron a punto de alcanzar el Premio Nobel y que en España se sentaran las bases de lo que debió

ser la equiparación de la ciencia y la cultura al contexto occidental. Fue Cajal, desde luego, un hombre imprescindible pues además de su labor científica contribuyó como pocos a la regeneración científica de España. No por casualidad al primer tercio del siglo XX se le ha llamado el de la “Edad de plata de la ciencia española”. El listado de instituciones, muchas de ellas vinculadas a la JAE pero también de científicos de esa época, es enorme y felizmente hoy comenzamos a conocer mejor a todos ellos, Pero no solo de la ciencia sino también y quizás, sobre todo, en las letras, las artes y en las humanidades para las que también ha cabido el nombre de “Edad de plata” de la cultura española, que comprendería a los autores que tradicionalmente han formado parte de la generación del 98, del 14 y del 27,<sup>[35,36]</sup> junto a muchos otros no etiquetados así como un creciente número de mujeres todavía poco conocidas. No, Cajal no fue una excepción y su obra no puede ser desvinculada de ese momento en el que pareció que resurgía con fuerza la creatividad y la modernidad acercándonos a aquellos países europeos en los que a lo largo de los siglos XVIII y XIX había florecido la semilla de la ilustración. Pero fue sin duda, la figura más representativa de esa “edad de plata” y uno de sus principales agentes. Desgraciadamente una vez más el fracaso de la IIª República, la guerra civil y la larga dictadura dieron al traste con el resurgimiento de la ilustración en España, hasta el punto de que es lícita la pregunta de qué hubiera ocurrido si aquel proyecto regeneracionista del primer tercio del siglo XX no hubiera sido interrumpido. La respuesta no es difícil de imaginar.

## Referencias

- [1] Federico J.C-Soriguer Escofet. Cajal, Río Horteaga y las fake news. *Encuentros en la Biología*. VO.2015L.XIV. No.176 21 DE MARZO DE 2021.
- [2] <https://www.jotdown.es/2014/03/alberto-campo-baeza-la-luz-es-el-material-mas-lujoso-que-hay-pero-como-es-gratis-no-valoramos/>
- [3] Pío del Río Horteaga. El maestro y yo. Ariel. 2015.
- [4] J. Río-Horteaga. A propósito de los descubrimientos de la microglía y la oligodendroglía: Pío del Río-Horteaga y su relación con Achúcarro y Cajal (1914-1934). *Neurosciences and History* 2013; 1(4): 176-190.
- [5] Tomás García de la Torre. Río-Horteaga le describe así: “(...)Tomás era un hombre maduro, achulado y soez, inculto y malintencionado, que servía de amanuense de Cajal así en su casa como en el laboratorio. Un dogo terrible que enseñaba los dientes gruñendo o mordía a cualquiera que no fuese su dueño o al menos de la casa, pero sumiso y obediente a la voz del amo y a las dádivas, que no aceptaba sino de soslayo, tendiendo apenas su mano solitaria (...). (...) Para Tomás, éramos unos huéspedes molestos que perturbábamos la paz que hubiera reinado si sólo asistieran «al laboratorio» D. Santiago y D. Domingo Sánchez. Por ello nos hacía la guerra solapadamente, no podría decirse si
- por propio impulso o por sus gestiones bastardas (...).”* (Pío del Río Horteaga. El maestro y yo. Ariel.2015. pp. 59- 60).
- [6] Pedro Cano Díaz. Una contribución a la ciencia histológica: la obra de don Pío del Río-Horteaga . Madrid: Instituto «Arnau de Vilanova; », 1985.
- [7] Jorge Francisco Tello (1880-1958). Tras la lectura de su tesis doctoral en 1903, entro en como primer ayudante del recién creado Laboratorio de Investigaciones Biológicas, que dirigía Cajal, dentro de los proyectos de la Junta para la Ampliación de Estudios; más tarde, también sucedió a Cajal en la cátedra de Histología y Anatomía Patológica de la Universidad de Madrid (desde el 22 de mayo de 1926). En 1911 fue pensionado por la JAE para estudiar en Alemania Anatomía Patológica y Bacteriología. En 1926 ganó por oposición la Cátedra de Histología, Anatomía Patológica y Bacteriología; En 1934, al morir Ramón y Cajal, quedó como director del instituto de su nombre. En 1939, tras la guerra civil, fue destituido de su cátedra y de la dirección del Instituto Cajal, dentro del programa de depuración iniciado por el régimen franquista<sup>3</sup> Durante la posguerra española se mantuvo en lo que se ha conocido como “exilio interior”.
- [8] Rodríguez Lafora, G.: «Disgustos, peripecias y grandes desengaños de que fue víctima el Doctor del Río-Horteaga», *Revista Española de Oncología*, XII, 46, 1965. (cit. Por Pedro Cano Díaz. (Ibidem).
- [9] Fernando de Castro (1896-1967). Fue junto a Rafael Lorente de No, el más joven de los discípulos directos de Santiago Ramón y Cajal. Aunque comenzó a formarse junto al neuropatólogo Nicolás Achúcarro, al caer éste enfermo, pasó a trabajar directamente con Cajal en 1916, de quien ya no se separaría hasta su muerte. Catedrático de Histología y Embriología General en la Facultad de Medicina de la Universidad de Madrid. Fue vicedirector y Director Honorario del Instituto Caja. Finalizada la guerra civil fue desposeído de su cátedra en la Universidad por motivos políticos, siendo en 1950 repuesto en la misma. Hasta su muerte en 1967, Fernando de Castro fue, quizás, el más genuino representante de la Escuela de Cajal
- [10] A lo largo de cinco años, 13 autores publicaron 30 trabajos de los cuales 10 (es decir la tercera parte fueron de Río Horteaga. (Pedro Cano Díaz. Op. cit).
- [11] En 1919 Río Horteaga ya había logrado perfeccionar un sistema de tinción y preparación de tejidos que le permitió alcanzar el logro por el que ha pasado a la Historia Universal de la Ciencia: el descubrimiento y caracterización de la microglía y la oligodendroglía, que describió con todo detalle en un artículo científico publicado en 1920 en el número 9 de la revista *Trabajos del Laboratorio de Histopatología* titulado “El tercer elemento de los centros nerviosos”.
- [12] Juan Riera Palmero y Juan del Río-Horteaga. Pío del Río-Horteaga y la institucionalización de la ciencia en España. <https://instituciones.sld.cu/cscc/files/2012/02/Pio-Ortega-y-la-Ciencia-en-Espa%C3%B1a.pdf>
- [13] Purificación Rodríguez Ruiz (Purificación Rodríguez Ruiz Antonio. Pedro Rodríguez Pérez (1912-1964).Un Murciano en la Escuela Neurohistológica Española (<http://www.tdx.cat/handle/10803/104108>)
- [14] Pío del Río Horteaga. (2015) (Op.cit) (“*Lorente iba y venía bastante, siempre memorioso y parlanchín, anegándose a veces en torrente de sabiduría. Castro más premioso de palabra, nos visitaba también de vez en cuando, mostrándonos dibujos primorosos en relación con sus observaciones. Con este me complacía hablar porque la conversación se basaba en nuestra investigación respectivas, pero no con aquel que solo hablaba de lo que leía; francamente preferiría hacer yo la lectura a escuchar recitales de virtuoso. No todo eran, sin embargo, como yo y hasta algunos se embobaban oyéndolas e infatuándolas”*)
- [15] Juan Antonio Rodríguez Sentaren. Santiago Ramón y Cajal. Epistolario. Fundación Ignacio Larramendi. La esfera de los libros-Madrid. 2014.
- [16] Juan Antonio Rodríguez Sentaren. (2014).(Ibidem) pp. 313-14.

- [17] Lorente de Nó fue invitado a participar en las conferencias organizadas por la fundación filantrópica Josiah Macy, Jr., bajo la iniciativa del neurólogo W. McCulloch, que reunieron con cierta periodicidad entre los años 1942 y 1953 a un grupo interdisciplinar de investigadores en el campo de la matemática, la lógica, la antropología, la psicología y la economía que tenían por objetivo crear los cimientos de una ciencia general del funcionamiento de la mente humana, que sería el origen del movimiento cibernético y, más tarde, de las denominadas ciencias cognitivas. Fue además propuesto en cuatro ocasiones para el premio Nobel (también Pio del Río Hortega fue propuesto en dos ocasiones). (Mònica Thomas; Manuel de Gracia. *El origen del movimiento cibernético: las conferencias Macy y los primeros modelos mentales*. *Revista de historia de la psicología*. 2008;29: 261-68). (*The Macy Conference Attendees*. <https://ascybernetics.org/foundations/history/MacyPeople.htm>)
- [18] Purificación Rodríguez Ruiz,2012, (Op.cit).
- [19] José Ortega y Gasset. *Misión de la Universidad*. Letras Hispánicas, 2015.
- [20] Año Cajal. El Gobierno de España declaró 2022 como el “Año de Investigación Ramón y Cajal”, conmemorando así la personalidad científica más importante de la historia de España. Se trata de un Acontecimiento Especial de Interés Público que se extenderá hasta el 31 de mayo de 2025. <https://www.fecyt.es> .
- [21] Antonio Francisco Canales Serrano y Amparo Gómez-Rodríguez. La depuración franquista de la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE): una aproximación cuantitativa *Dynamis* [0211-9536] 2017; 37 (2): 459-488.
- [22] Emilia Cortés Ibáñez. *La Edad de Plata española* Emilia Cortés Ibáñez. <https://dspace.unia.es>
- [23] José Manuel Sánchez Ron. *El país de los sueños perdidos: Historia de la ciencia en España*. Taurus, 2020.
- [24] “*El caso Cajal no significa un orgullo para nuestro país, había dicho Ortega, sino más bien una vergüenza, porque es una casualidad...*” Ortega: *El Imparcial* del 10 de agosto de 1908 (cita que hizo al parecer originalmente Gregorio Marañón en un discurso de la RAE). Recogido en el prólogo escrito por el doctor García Valdecasas al libro sobre Cajal y Barcelona de Diego Ferrer. (Ferrer, Diego. *Cajal y Barcelona*. Fundación Uriach 1838. (año 1989). (La frase, más extensa, no se puede considerar como un menosprecio de Ortega o Marañón sobre Cajal (ambos dejaron constancia en otros momentos de la admiración y afecto que sintieron por Cajal, pero ha sido utilizada por otros, sacada del contexto histórico, para criticar la situación de la ciencia en España, o para argumentar su visión pesimista sobre la naturaleza de este país y su incapacidad para el pensamiento científico e incluso filosófico). (Francisco Mora: *Cajal o la vergüenza de la ciencia española*. [https://www.huffingtonpost.es/francisco-mora/cajal-o-la-vergüenza-de-\\_b\\_4121352.html](https://www.huffingtonpost.es/francisco-mora/cajal-o-la-vergüenza-de-_b_4121352.html)).
- [25] Giné E, Martínez C, Sanz C, Nombela C and de Castro F (2019). *The Women Neuroscientists in the Cajal School*. *Front. Neuroanat.* 13:72. DOI: 10.3389/fnana.2019.00072 (en palabras de las autoras: “*Estas historias demuestran que el segundo Premio Nobel español –primero en ciencias– sí permitió el acceso de mujeres en sus laboratorios, pero después, en el recuerdo, solo han sobrevivido nombres de varones*”. “*A Ramón y Cajal hay que ponerlo en su contexto, no podemos hacerle responsable de la falta de oportunidades de las mujeres ya que, además, ellas no tuvieron acceso a estudiar Medicina hasta 1872, y con muchas reticencias*”.
- [26] Elena Lázaro Real. *Un científico en el armario. Pío del Río Hortega y la historia de la ciencia española*. Next Door, 2020.
- [27] “*These archives [ los de la Escuela, de Cajal y sus discípulos] are essential to study the history of the discoveries and theories that conduct to the present comprehension of the human brain in its double aspect, anatomical composition (individual cells) and physiological properties (formation of circuits and nerve impulse propagation)*”. (Es la primera vez que la UNESCO distingue a una escuela científica como tal. Los premios relacionados con instituciones científicas han sido muy pocos: La obra revolucionaria del astrónomo Copérnico; el archivo del botánico Linneo; el archivo de Isaac Newton; el archivo de Louis Pasteur; el archivo de Nikola Tesla y el Instituto de Fisiología de Ivan Pavlov,
- [28] Larry Swanson, Eric Newman. *Beautiful brain: The drawings of Ramon y Cajal* (edición en inglés). Hachette uk.(2016).
- [29] Fernando de Castro. *El Arte que alumbró la moderna Neurociencia: El dibujo científico de Cajal y sus discípulos* *Revista Kranion* 16(4) February 2022, 16(4).
- [30] “*The Big Bang Theory*”, temporada 6, episodio 16, titulado “*The Tangible Affection Proof*”, traducido como “*La prueba tangible de afecto*”, Sheldon (el protagonista), le pide a Alex Jensen, estudiante de doctorado en Física y asistente de Sheldon, que se encargue de encontrar el regalo perfecto para Amy Farrah Fowler, neurobióloga y novia de Sheldon. El regalo es la reproducción de una preciosa laminilla de Cajal. <https://www.xatakaciencia.com/sabias-que/cuando-santiago-ramon-cajal-aparecio- homenajeado-capitulo-the-big-bang-theory>
- [31] J. Río-Hortega. *Neurosciences and History* 2013 (Op.cit).
- [32] Ramón y Cajal, Santiago. “*Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica*”. *Alianza Universidad* 290, pp. 335-336 y 343-345 (citado por Juan Riera Palmero y Juan del Río-Hortega. (2012) (Op,cit).
- [33] Marcos Larriba Martínez. *Ramón y Cajal (El ocaso del genio)*. Editorial Amarante; 2020.
- [34] Eduardo Garrido. *Cajal y la naturaleza*. Ediciones Desnivel 2016.
- [35] J. C. Mainer, *La Edad de Plata (1902-1951): ensayo de interpretación de un proceso cultural*, Barcelona, Asenet, 1975.
- [36] Pedro Laín Entralgo (coord.) *La edad de plata de la cultura española: (1898-1936)*. Espasa Calpe, 1993.

## VOLANDO HACIA LA SUPERVIVENCIA: LA FASCINANTE MIGRACIÓN DE LA MARIPOSA MONARCA

por **ÁNGEL NAVARRO-FERNÁNDEZ, REBECA PERAL-VICENTE, ALBERTO TORRES LOZANO**

4º GRADO DE BIOQUÍMICA, UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, BLVR. LOUIS PASTEUR, 31, PUERTO DE LA TORRE, 29010 MÁLAGA.  
ESTUDIANTES DE LA ASIGNATURA BIOQUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA Y SOCIEDAD DE TERCER CURSO DEL GRADO EN BIOQUÍMICA,  
CAMPUS DE TEATINOS, UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ANGELNAVFER@UMA.ES, REBECAPERALVICENTE@GMAIL.COM, ALBERTO.TORRES@UMA.ES

*Palabras clave:* migración, mariposa monarca, brújula solar, hormona juvenil.

*Keywords:* migration, monarch butterfly, sun compass, juvenile hormone.

**Resumen:** La mariposa monarca (*Danaus plexippus*) es una especie extendida a nivel mundial, con la particularidad de que sus amplias migraciones entre Estados Unidos y México abarcan miles de kilómetros. Para orientarse y realizar las migraciones con precisión, las mariposas utilizan el sol a modo de brújula. Esta brújula solar se ajusta al movimiento del sol durante el día gracias a un reloj biológico interno situado en las antenas de la mariposa. Mientras que la migración otoñal hacia México se completa en una sola generación, el regreso primaveral a Estados Unidos requiere varias generaciones, proceso en el que las hormonas, especialmente la hormona juvenil (HJ), juegan un papel fundamental. El fenómeno migratorio de las mariposas monarca se enfrenta a peligros derivados de la actividad humana, como la urbanización o el cambio climático. Por lo tanto, comprender los mecanismos ambientales y fisiológicos involucrados en el proceso migratorio es esencial para la conservación de la especie.

**Abstract:** *The monarch butterfly (Danaus plexippus) is a species with global presence, with the particularity that its extensive migrations between the United States and Mexico cover thousands of kilometres. To orient themselves and execute migrations accurately, butterflies use the sun as a compass. This sun compass adjusts to the sun's movement throughout the day thanks to an internal biological clock located in the butterfly's antennae. While the fall migration to Mexico is completed by a single generation, the spring return to the United States requires multiple generations, a phenomenon strongly influenced by hormones such as the juvenile hormone (JH). The migratory phenomenon of the monarch butterfly confronts dangers arising from human activity, such as urbanisation and climate change. Therefore, understanding the environmental and physiological mechanisms involved in the migratory process is essential for the conservation of the species.*

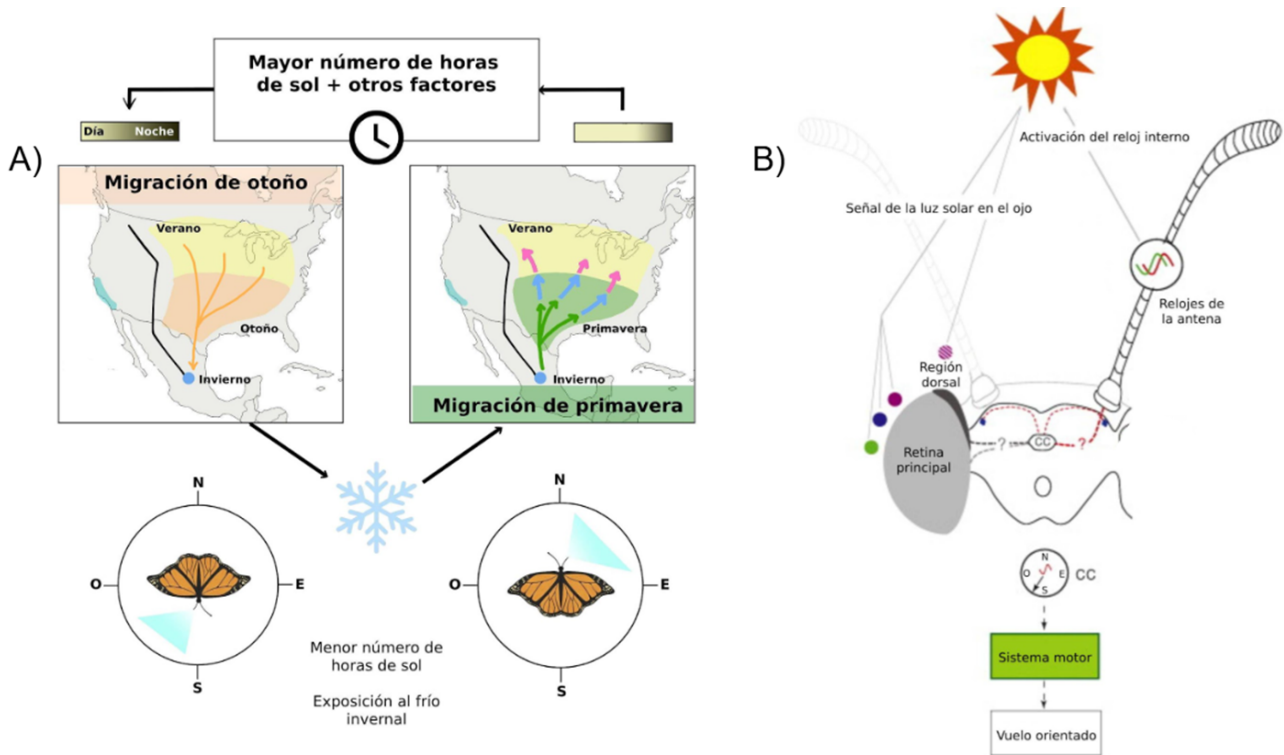
### Brújula solar:

### Introducción:

Cada año, antes del invierno, la nueva generación de mariposas monarca inicia una migración que dura de 2 a 3 meses desde el noreste de los Estados Unidos y Canadá hacia al sur, con la intención de buscar un lugar donde pasar el invierno<sup>[1]</sup>. Finalmente detienen su migración en los bosques de abetos de las altas montañas volcánicas de México Central<sup>[2]</sup>. Los factores que dan comienzo a la migración de otoño son la disminución de las horas de sol, el descenso de las temperaturas y la senescencia de las plantas hospedadoras<sup>[3]</sup>. En primavera, con el aumento de las temperaturas estas mariposas inician su viaje de regreso, pero solo llegan hasta el sur de Estados Unidos, donde depositan sus huevos en el algodoncillo (*Asclepias curassavica*), su principal planta hospedadora<sup>[3]</sup>. Las siguientes generaciones continúan el viaje hacia el norte, repitiendo este reemplazo generacional hasta alcanzar de nuevo el lugar de partida<sup>[2]</sup>.

Para llevar a cabo la migración tanto en otoño como en primavera, las mariposas deben poseer alguna forma de orientarse hacia su destino. *Danaus plexippus* utiliza el sol como su herramienta principal para que las guíe hacia este, como si de una brújula se tratase<sup>[3]</sup>. Debido a que diferentes generaciones de mariposas siguen el mismo camino que estaban haciendo sus antecesoras, sabemos que esta brújula solar es innata en todas ellas, apuntando a un origen genético<sup>[1]</sup>. Existe un cambio en la orientación de vuelo de la mariposa monarca, pasando de viajar hacia el suroeste en la migración de otoño, a viajar hacia el noreste en la migración de primavera (Figura 1A). Esto se debe a la exposición a factores ambientales derivados de haber pasado el invierno, tales como el frío<sup>[3]</sup>.

La mariposa recibe las señales lumínicas en dos zonas diferentes del ojo: la retina y el borde dorsal, y gracias a ellas puede conocer la posición del sol.



**Figura 1.** Mecanismos migratorios de *Danaus plexippus*. (A) Ciclo migratorio anual de las mariposas monarca de Estados Unidos. Con el aumento de las horas de sol, una única generación de mariposas (flechas naranjas) viaja hacia el suroeste hasta llegar a México, donde pasan el invierno. Tras la exposición al frío invernal, esta generación cambia su orientación de vuelo e inician el viaje de vuelta a los Estados Unidos (flechas verdes). En este camino polinizan las plantas de algodóncillo y nacen nuevas generaciones de mariposas que seguirán el viaje de vuelta a su hogar (flechas azules y rosas). Reproducido de [2]. (B) Modelo de los componentes involucrados en el mecanismo de vuelo orientado. Los rayos de sol llegan a dos zonas del ojo: la retina y la región dorsal, que le permiten a la mariposa conocer la posición del sol. Por otro lado, la mariposa posee un reloj biológico interno localizado en sus antenas, que se regula en función del número de horas de luz. La información proveniente de los ojos y de las antenas se integra en una zona del cerebro llamada complejo central (CC). El complejo central se comunica con el sistema motor de la mariposa y permite orientar el vuelo en una dirección concreta. Modificado de Reppert, S. M. y otros, 2010.

Cada una mide un parámetro específico de la luz que reciben y envían esa información a una zona del cerebro llamada «complejo central» [2]. Dado que las mariposas necesitan seguir una trayectoria fija y que la posición del sol en el cielo varía a lo largo del día, su brújula interna no puede depender únicamente de la posición de este [1]. En realidad, esta brújula se adapta al movimiento del sol utilizando un reloj interno presente en la mariposa, que se regula constantemente en función del número de horas de luz [3].

**El sol como regulador de un reloj biológico:**

Tanto las mariposas como muchos otros organismos vivos poseen un reloj interno guiado por la luz solar, con una duración aproximada de un día, que recibe el nombre de «ritmo circadiano». Este reloj biológico es capaz de regular un gran número de

procesos diferentes. Un claro ejemplo en humanos es el proceso del sueño: nuestro cuerpo sabe que es de noche cuando deja de recibir luz del sol, por lo que libera melatonina para inducir el sueño [4]. De hecho, no solo las mariposas utilizan este mecanismo en la migración, también algunos animales como otros insectos, pájaros, tortugas, ranas, roedores o lagartos usan el sol como reloj circadiano con el que orientarse [5].

En el caso de las mariposas, el reloj biológico se encuentra situado en las antenas, que actúan como pequeños receptores de luz solar [2]. Durante el día, cuando el sol brilla, estos receptores absorben la luz y envían señales al interior de las células de la mariposa [1]. La luz induce la disminución de la expresión de ciertos genes, por lo que sus niveles se mantienen bajos durante el día y aumentan progresivamente por la noche, completando el ciclo cuando las antenas vuelven a recibir luz [2]. Este reloj interno permite

que la mariposa integre la información recibida sobre la posición del sol en el cielo y la ajuste según el momento del día<sup>[1]</sup>. Así, incluso cuando el sol cambia su posición durante el día, la mariposa puede mantener su dirección de vuelo de manera constante<sup>[3]</sup> (Figura 1B).

### Regulación hormonal en la migración:

La mariposa monarca destaca por presentar un ciclo migratorio multigeneracional en el que la migración de otoño se completa en tan solo una generación, mientras que en primavera suele necesitar tres generaciones<sup>[3]</sup>. A la hora de estudiar el porqué de esta diferencia entre el número de generaciones en ambas migraciones, siendo una misma especie, se ha visto que las hormonas, reguladas en su producción por la luz y la temperatura, juegan un papel muy importante<sup>[6]</sup>.

Las hormonas son esenciales para el desarrollo y la supervivencia de cualquier organismo, incluyendo a *Danaus plexippus*. HJ desempeña un papel crucial en la migración, reproducción, desarrollo de las larvas y longevidad del adulto<sup>[7]</sup>. Durante las épocas cálidas como la primavera, los niveles de HJ en adultos son considerablemente más altos que en los meses fríos. En los meses de invierno es cuando se produce la «diapausa reproductiva», donde la actividad reproductiva se reduce hasta que las condiciones ambientales sean más favorables<sup>[8]</sup>. Existe por tanto una relación entre los niveles de HJ y el momento en el que las mariposas inician su migración.

Fisiológicamente, los adultos de *Danaus plexippus* en épocas frías exhiben una envergadura alar mayor y un mayor contenido de lípidos de reserva en comparación con los de épocas cálidas. Además, muestran un menor desarrollo de los órganos reproductivos y mayor longevidad. Se postula que esta disparidad podría asociarse con niveles reducidos de HJ<sup>[7]</sup>, apuntando a la implicación de esta hormona en la mayor supervivencia de la generación migrante en otoño con respecto a las de primavera.

La octopamina y la tiramina, hormonas similares a la adrenalina en vertebrados, regulan procesos metabólicos como el transporte de moléculas energéticas en el interior del insecto. La conversión de tiramina en octopamina está vinculada a la capacidad de orientación espacial del adulto, siendo crucial en la utilización del sol como referencia. Estas hormonas, junto con la HJ, son fundamentales para la supervivencia y migración de la mariposa monarca<sup>[9]</sup>.

### Impacto humano en la migración:

Debido a que las horas de luz son un factor crucial en la regulación de la migración de las mariposas monarca, la urbanización es un factor que puede poner en peligro este proceso<sup>[10]</sup>. El incremento de señales lumínicas durante la noche en zonas que atraviesen las mariposas en su migración, podría romper el ciclo migratorio al desajustar el reloj interno<sup>[10]</sup>. Por otro lado, la temperatura también juega un papel importante en la migración<sup>[2]</sup>. La exposición al frío es necesaria para el cambio de dirección y que dé lugar a la migración de primavera<sup>[3]</sup>. Por tanto, el calentamiento global podría desequilibrar el ciclo haciendo que las mariposas no pudieran volver a sus hogares en el norte<sup>[10]</sup>.

La distribución espacial de los algodoncillos también está muy influenciada por la actividad humana, y en consecuencia puede tener un impacto sobre *Danaus plexippus* y su proceso migratorio. Debido a los efectos causados por el cambio climático, la ubicación de esta planta está variando, situándose cada vez en latitudes mayores en el hemisferio norte<sup>[11]</sup>. Por otro lado, dadas las crecientes necesidades en producción de alimento, la implementación del uso de herbicidas ha llevado al cultivo de plantas resistentes a estos productos. Esto genera una competencia directa con los algodoncillos silvestres, llevando a una disminución en su población al no ser resistentes a dichos compuestos. Se estima que las poblaciones de plantas hospedadoras se verían limitadas a ciertas regiones cada vez más al norte de los Estados Unidos y, en consecuencia, las mariposas monarca tendrían más dificultades en el retorno durante la primavera. Esto se debe a que las mariposas necesitarían gastar una mayor cantidad de energía para alcanzar los algodoncillos, debilitándose y perdiendo la vida antes de tiempo<sup>[11]</sup>.

### Conclusión:

La migración de las mariposas monarca representa un impresionante fenómeno biológico influenciado por una combinación de factores estacionales y hormonales. Sin embargo, la urbanización y el cambio climático amenazan este proceso al alterar los patrones de luz y temperatura que regulan la migración. A su vez, los cambios en la temperatura y el uso de herbicidas afectan al hábitat natural de la planta hospedadora de la mariposa, suponiendo un peligro adicional para la migración y supervivencia de *Danaus plexippus*. Para conservar esta especie, es crucial comprender y abordar estos desafíos mediante una investigación continua sobre los factores ambientales y metabólicos que influyen en su migración. Solo a

través de un esfuerzo concertado para preservar su hábitat y mitigar el impacto ecológico humano, podemos garantizar la supervivencia de las mariposas monarca, manteniendo así su labor esencial como polinizador y su migración única en el mundo.

## Referencias

- [1] Reppert, S. M. y otros. Navigational mechanisms of migrating monarch butterflies. *Trends in neurosciences* 33: 399-406, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tins.2010.04.004>
  - [2] Merlin, C. y otros. Monarch butterfly migration moving into the genetic era. *Trends in Genetics* 36: 689-701, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tig.2020.06.011>
  - [3] Reppert, S. M., y de Roode, J. C. Demystifying monarch butterfly migration. *Current Biology* 28: R1009-R1022, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.02.067>
  - [4] Cajochen, C. y otros. Role of melatonin in the regulation of human circadian rhythms and sleep. *Journal of neuroendocrinology* 15: 432-437, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2826.2003.00989.x>
  - [5] Guilford, T. y Taylor, G. K. The sun compass revisited. *Animal behaviour* 97: 135-143, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.09.005>
  - [6] Green, D. A. y Kronforst, M. R. Monarch butterflies use an environmentally sensitive, internal timer to control overwintering dynamics. *Molecular ecology* 28: 3642-3655, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.15178>
  - [7] Rahman, M. M. y otros. Local Juvenile Hormone activity regulates gut homeostasis and tumor growth in adult *Drosophila*. *Scientific reports* 7: 11677, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11199-9>
  - [8] Tatar, M. y Yin, C. M. Slow aging during insect reproductive diapause: why butterflies, grasshoppers and flies are like worms. *Experimental gerontology* 36: 723-738, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0531-5565\(00\)00238-2](https://doi.org/10.1016/s0531-5565(00)00238-2)
  - [9] Doyle, T. y otros. Genome-wide transcriptomic changes reveal the genetic pathways involved in insect migration. *Molecular Ecology* 31: 4332-4350, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.16588>
  - [10] Guerra, P. A. The monarch butterfly as a model for understanding the role of environmental sensory cues in long-distance migratory phenomena. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* 14: 600737, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.600737>
  - [11] Malcolm, S. B. Anthropogenic impacts on mortality and population viability of the monarch butterfly. *Annual Review of Entomology* 63: 277-302, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043241>
- 
-

## LO QUE EL OJO NO VE. ¿O SÍ?

por JUAN CARLOS CODINA ESCOBAR

COLABORADOR HONORARIO EN EL DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA DE LA UMA

*Palabras clave:* megabacterias; volumen celular; difusión; relación superficie-volumen.

*Keywords:* megabacteria; cellular volume; diffusion, surface-volume ratio.

**Resumen:** No fue hasta el siglo XVII, con los trabajos de Leeuwenhoek, que el mundo microbiano se nos hizo visible a pesar de habernos acompañado antes incluso de nuestra existencia. El tamaño de las bacterias quedaba por debajo del límite de resolución de nuestro ojo y en principio todas ellas fueron adscritas al mundo microscópico. Sin embargo, su pertenencia a este mundo debería cuestionarse por el descubrimiento de las denominadas bacterias gigantes o megabacterias, cuyo tamaño supera el límite de resolución del ojo humano, haciéndolas pues visibles a simple vista. El problema de este tamaño para poder realizar eficientemente sus funciones metabólicas, basadas en el proceso de difusión, es solventado por adaptaciones estructurales y morfológicas a las que habría que añadir la movilidad y el tipo de ambiente en el que se encuentran. Como siempre que intentamos clasificar y ordenar el mundo que nos rodea surgen las excepciones.

**Abstract:** *Until the studies of Leewenhoek in the XVIIth century, the microbial world was not visible for us despite the fact that they have been accompanied us even before of our existence. Bacterial size was under the limit power of our eyes and they were assigned to the microscopic world. However, its belonging to this world has been put in evidence after the discovery of the so called gigantic bacteria or megabacteria, whose size is over the limit power of the human eye, making them visible at simple sight. The problem of this size in order to carry out their metabolic functions, based in the process of diffusion, is solved through structural and morphological adaptations and also to the mobility and the environment where they live. As happens ever that we try to classify the world that surrounds us, exceptions arise.*

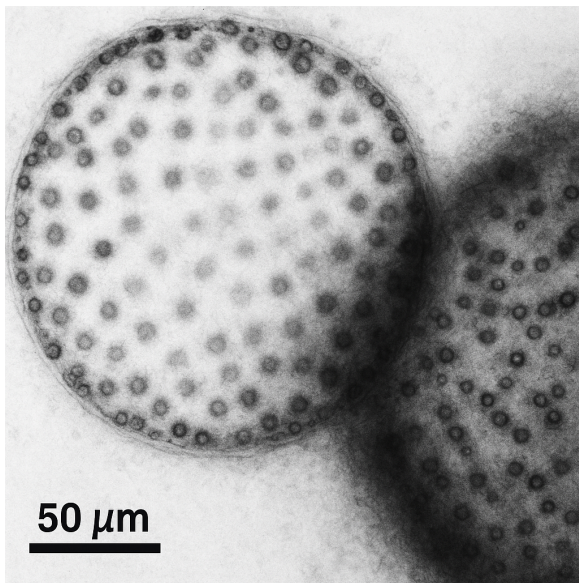
Los seres humanos hemos sufrido desde el comienzo de los tiempos los efectos producidos por los microorganismos, especialmente los causados por infecciones y enfermedades, pero sin llegar a ser conscientes de la importancia de estos diminutos seres a los cuales debemos también parte de nuestra existencia. Sin embargo, en la mayor parte de la historia de los humanos no hemos sido conscientes de su presencia al quedar por su tamaño fuera del límite de resolución de nuestro ojo y ello a pesar de su extraordinaria abundancia global (de aproximadamente 1030 células) y de su importante contribución a la biomasa total de nuestro planeta<sup>[1]</sup>. Ese mundo invisible y misterioso que nos rodeaba, del cual éramos ajenos, no fue desvelado hasta el siglo XVII cuando Antoni van Leeuwenhoek llevó a cabo sus observaciones, reflejadas en la carta que envió a la Royal Society de Londres<sup>[2]</sup>. Mediante el uso de lentes muy simples, Leeuwenhoek llevó a cabo los primeros estudios de lo que hoy denominamos microbioma humano, describiendo bacilos, cocos y espiroquetas que encontró en muestras tomadas de entre sus propios dientes.

Hoy somos conscientes no sólo de su presencia sino también de su enorme importancia dado que debemos nuestra propia existencia a procesos microbianos fundamentales que van desde la producción de

energía por parte de los endosimbiontes bacterianos que dieron lugar a nuestras mitocondrias hasta la generación de oxígeno en la atmósfera por un proceso parecido en el caso de los cloroplastos. Su pequeño tamaño no resta pues importancia a sus funciones. *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* o *Staphylococcus aureus*, modelos primarios para el estudio de la biología celular bacteriana presentan lo que serían tamaños más o menos típicos, con volúmenes de 0.4-3  $\mu\text{m}^3$ . Tamaños inferiores se encuentran en ultramicrobacterias marinas de vida libre cuyo volumen celular por término medio es de aproximadamente un 1 % del de *E. coli* (0.013  $\mu\text{m}^3$ )<sup>[3]</sup>.

Todos estos tamaños se sitúan lejos del límite de resolución del ojo humano. Pero la pertenencia de todas las bacterias al mundo microscópico quedó alterada con el descubrimiento de *Thiomargarita namibiensis*, la perla de azufre de Namibia, un organismo esférico localizado en sedimentos marinos con un volumen ocho órdenes de magnitud mayor que el de *E. coli*, aproximadamente 750  $\mu\text{m}$  de diámetro; un tamaño ligeramente más grande que el ojo de *Drosophila*. Y, por tanto, visible al ojo humano<sup>[4]</sup>. El nombre procede del hecho de que forma cadenas de células que debido a las acumulaciones de azufre que refractan la luz, brillan en un tono claro que

resalta sobre el fango oscuro del fondo marino, como un collar de perlas (Figura 1). A *Thiomargarita* le siguieron otras bacterias como *Epulopiscium* spp. a las que se ha denominado con el nombre de megabacterias o de bacterias gigantes, rompiendo con ello la norma de pertenencia de las bacterias al mundo microscópico. La diferencia de tamaño entre estas bacterias y las ultramicrobacterias citadas anteriormente sería equivalente a la existente entre un ratón y el Empire State. En general, las células bacterianas deben ser lo suficientemente grandes para realizar sus funciones reproductivas y metabólicas pero lo suficientemente pequeñas para poder llevar a cabo la toma de nutrientes, la eliminación de residuos y el transporte de moléculas en su interior de forma eficiente. Existen pues unos límites en cuanto a tamaño que este tipo de bacterias solventan de alguna manera. En cualquier caso, se necesita un volumen celular suficiente para el material genético necesario para llevar a cabo su ciclo vital, al mismo tiempo que contenga la maquinaria requerida para la expresión de los genes que componen este material genético, así como las proteínas y otras sustancias esenciales para el funcionamiento celular<sup>[5]</sup>.



**Figura 1.** La bacteria del azufre *Thiomargarita namibiensis*. A partir de Schultz, HN y Barker, B. Big bacteria. *Annu Rev Microbiol* 55: 105-37, 2001.

La difusión es el principal mecanismo que emplean las células en la búsqueda de nutrientes y en el movimiento de moléculas en el citoplasma. De hecho la difusión es una forma muy rápida de transportar solutos en distancias cortas de tan sólo unos pocos micrómetros o menos. Velocidad, sin embargo, que disminuye mucho a grandes distancias. Una posible estrategia para conseguir incrementar la toma y el transporte interior de solutos es la de mantener una

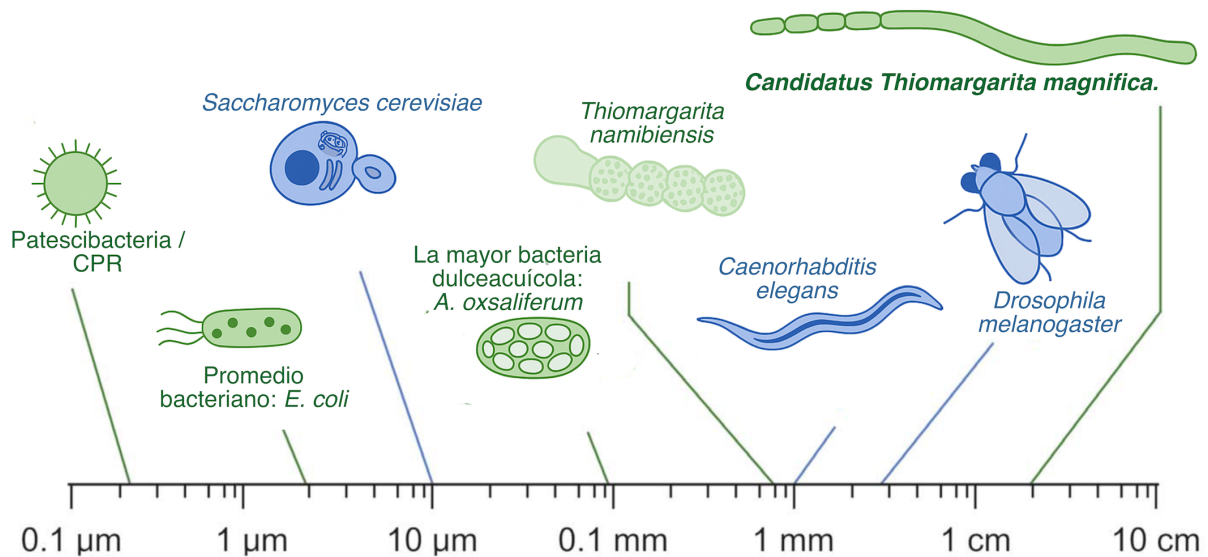
alta relación superficie-volumen, lo que se traduce en un organismo unicelular como las bacterias en ser de tamaño pequeño<sup>[6]</sup>. A diferencia de las células eucariotas que han conseguido superar estas restricciones de tamaño, mediante el citoesqueleto para el tráfico intracelular de sustancias y los orgánulos rodeados de membrana para la organización de funciones subcelulares, las células procariotas presentan una organización subcelular muy simple, dependiendo por tanto más del proceso de difusión. Por ello, la mayoría de las bacterias son de tamaño microscópico, del orden de 1  $\mu\text{m}$ . Solo las megabacterias son gigantes con diámetros que alcanzan cientos de micrómetros<sup>[7]</sup>.

¿Cómo consiguen las bacterias gigantes superar el problema de la difusión teniendo esos tamaños? Lo cierto es que existen diferentes estrategias. La mayor parte de las megabacterias consiguen mantener una alta relación superficie-volumen adoptando una forma alargada y delgada (caso de *Spirochaeta plicatilis*) o una morfología en la cual ninguna parte del citoplasma se encuentre a una distancia de un micrómetro del medio externo. *T. namibiensis* es un ejemplo de esto último, para lo cual mantiene una delgada capa de citoplasma que rodea a una gran vacuola rellena de fluido. Muchas otras tienen inclusiones celulares masivas con función conocida en algunos casos, desconocida en otros, que reducen el volumen del citoplasma metabólicamente activo y, posiblemente, de la limitación del proceso de difusión<sup>[8]</sup>. Sin embargo, *Epulopiscium* es una excepción a esta regla. Aunque su forma alargada ayuda al incremento en la relación superficie-volumen, las especies de este género presentan ciertas modificaciones estructurales que le permiten alcanzar gran tamaño. Su membrana celular presenta un alto grado de invaginación que compensaría el área superficial aparentemente pequeña de su envoltura celular<sup>[9]</sup>. A todo ello hay que sumar que se trata de bacterias con una elevada movilidad, lo que le permite mantener su posición dentro del intestino de su hospedador cerca de zonas con un suministro de nutrientes alto. La rotación de sus flagelos ayuda a mover el medio circundante, facilitando con ello el movimiento de los nutrientes a través de la membrana celular y su captura por los transportadores localizados en ella, al mismo tiempo que presenta un elevado número de invaginaciones.

Esto nos lleva a considerar dos aspectos importantes, el tipo de ambiente en el que viven estas bacterias y la movilidad que presentan. Muchas de las bacterias gigantes se encuentran en ambientes tales como el tracto intestinal de animales, sedimentos ricos en azufre o ambientes acuáticos iluminados. Podría parecer que una bacteria de gran tamaño se encontraría en

desventaja dado su capacidad reducida en la localización y toma de nutrientes. Pero está claro que alguna ventaja que se contraponga a lo anterior deben poseer. Por un lado, una gran célula dotada de movilidad puede tener un mejor control de su posición, ya sea en el tracto intestinal de un animal, en los gradientes químicos dentro de los sedimentos o

en los gradientes de luz en el ambiente acuático. La ventaja de todo ello es que serán capaces de localizar y captar nutrientes. Por otra parte, su mayor tamaño les puede hacer menos susceptibles a los procesos de depredación en un ambiente altamente complejo y competitivo<sup>[7]</sup>.



**Figura 2.** Comparación de tamaño de diferentes bacterias y organismos eucarióticos modelo en una escala logarítmica. A partir de Volland y otros<sup>[10]</sup>.

Más recientemente se ha descrito una bacteria de tamaño incluso superior, una especie de *Thiomargarita* *sésil* y filamentosa, unida a hojas hundidas de mangle, *Rhizophora mangle*, en aguas tropicales someras de la isla de Guadalupe. Sus células son más grandes que las de cualquier otra bacteria gigante conocida, superándolas en un valor de 50 veces<sup>[10]</sup>. Propuesta con el nombre de *Thiomargarita magnifica*, estas bacterias filamentosas de hasta 1 cm de longitud (Figura 2) poseen al igual que otros miembros del género una gran vacuola central que reduce el espacio citoplasmático, lo que como se ha indicado minimiza la limitación de crecimiento debida a la carencia de un sistema de transporte intracelular<sup>[11]</sup>. Pero lo más llamativo es la presencia de muchos compartimentos rodeados de membrana, estructuras similares a otras encontradas ocasionalmente en otras bacterias del azufre y denominadas como “ampollas de citoplasma” o “estructuras citoplasmáticas” que parecen contener material genético. Aunque estudios en otras bacterias han revelado la presencia en bacterias de orgánulos con funciones tan diversas como oxidación anaeróbica de amonio, y orientación magnética, no se conoce ningún caso en el que bacterias o arqueas

hayan segregado su material genético de la manera que lo hacen los organismos eucariotas<sup>[12]</sup>. Sin embargo existen evidencias de nucleoides rodeados de membrana en un miembro de las Atribacteria, y Planctomycetes como *Gemmata obscuriglobus* también poseen compartimentos citosólicos con ADN en su interior.

En el caso de *T. magnifica*, la tinción con DAPI reveló que su ADN estaba concentrado en dichos compartimentos rodeados de membrana. Pero también están presentes ribosomas en estas estructuras, lo cual se ha comprobado con hibridación fluorescente in situ. Existe pues una compartimentación de ADN y ribosomas que le permitiría superar las limitaciones fisiológicas y metabólicas impuestas con respecto al tamaño. A ello hay que sumar que *T. magnifica*, al igual que otras bacterias gigantes, es poliploide presentando el número estimado de copias del genoma más elevado dentro de una sola célula. El análisis de su genoma ha revelado una gran número de genes implicados en la oxidación del azufre y la fijación del carbono, lo que sugiera su asignación como quimioautotrofos. Al igual que otros miembros del género posee genes que codifican para un amplio rango de

capacidades metabólicas.

Al igual que ocurrió con el descubrimiento de los virus gigantes pertenecientes al filo Nucleocytoviricota, el descubrimiento de *T. magnifica* abre el camino al descubrimiento de bacterias más grandes y complejas que a pesar de su tamaño seguramente se encuentran ocultas. Tal como el programa Lo que el ojo no ve de la extinta Canal+ nos mostraba, tanto lo que ahora lo hace el VAR en el terreno de juego, como fuera de él, la investigación nos suministrará seguramente nuevos y fascinantes descubrimientos.

## Referencias

- [1] Kallmeyer, J y otros. Global distribution of microbial abundance and biomass in subseafloor sediment. *Proc Natl Acad Sci* 109: 16213–16216, 2012.
  - [2] Dobell, C. Antony van Leeuwenhoek and his “Little Animals”: being some Account of the Father of Protozoology and Bacteriology and his Multifarious Discoveries in these Disciplines. *Nature* 130, 679–680, 1932. New York, Harcourt, Brace and company, 1960.
  - [3] Levin, PA. y Anger, ER. Small but Mighty: Cell Size and Bacteria. *Cold Spring Harbour Perspectives Biology*, 2015.
  - [4] Schultz, HN. y otros. Dense populations of a giant sulfur bacterium in Namibian shelf sediments. *Science* 284: 493–495, 1999.
  - [5] . Koch AL. What size should a bacterium be? A question of scale. *Annu Rev Microbiol.* 50: 317–348, 1996.
  - [6] Gallet R y otros. The evolution of bacterial cell size: the internal diffusion-constraint hypothesis. *The ISME Journal* 11(7):1559–1568, 2017.
  - [7] Schultz, HN. y otros. Giant bacteria. *Encyclopedia of Life Sciences*. John Willey and Sons, ed. 1-7, 2007.
  - [8] Schultz, HN y Barker, B. Big bacteria. *i* 55: 105-37, 2001.
  - [9] Angert ER. DNA replication and genomic architecture of very large bacteria. *Annu Rev Microbiol* 66: 197–212, 2012.
  - [10] Volland, JM y otros. A centimeter-long bacterium with DNA contained in metabolically active, membrane-bound organelle. *Science* 376: 1453-1458, 2022.
  - [11] Ionescu, D y Bizic, M. Giant bacteria, en *eLS John Wiley and Sons Ltd.*, 2019. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0020371.pub2>.
  - [12] Greening, C y Lithgow, T. Formation and function of bacterial organelles. *Nat Rev Microbiol* 18, 677–689, 2020.
- 
-

## *Ámbito y política editorial*

La revista *Encuentros en la Biología* (ISSN 1134-8496) es una revista de divulgación científica con carácter interdisciplinar, está editada por la Universidad de Málaga y publica periódicamente (primavera, verano, otoño, invierno) aquellas contribuciones originales que se enmarcan en un ámbito de encuentro entre las ciencias biológicas y las demás fuentes de conocimiento científico; esto es, conocimiento testado experimentalmente y avalado al menos por una fuente primaria de documentación. Aceptará también la edición de biografías de autores relevantes, de reseñas de libros y trabajos especializados, de imágenes para la portada, la sección «La imagen comentada» y otras secciones especializadas, así como noticias, comunicaciones y eventos relacionados con la biología. La editorial valorará positivamente la contribución de los trabajos en un formato ameno y accesible para estudiantes y profesores de todas las áreas de la biología, al igual que la presentación de las últimas novedades científicas en este área.

*Encuentros en la Biología* es un foro de difusión abierto para todas aquellas personas que estén interesadas en enviar sus aportaciones. Las contribuciones así presentadas deberán ajustarse a la política editorial y a las normas que a continuación aparecen como «Instrucciones para los Autores». La revista se reserva el derecho a realizar cuantas modificaciones en forma y diseño estime oportunas.

## *Instrucciones para los autores*

1. Todas las contribuciones serán inéditas o contarán con la autorización expresa del organismo que posea los derechos para su reproducción, en cuyo caso la edición incluirá la referencia de su autoría. Los manuscritos recibidos podrán revisarse con medios técnicos para detección de plagios.
2. Cada contribución constará de un título, el nombre completo del autor o autores, su afiliación (institucional, académica o profesional) y correo electrónico. Para distinguir la afiliación de diferentes autores utilice símbolos (\*, †, ‡, §, ¶, etc.) después del nombre de cada uno.
3. El documento se puede enviar en formato txt, rtf, sww/odt (OpenOffice/LibreOffice), doc/docx (MS-Word) o tex (L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X). Manuscritos largos pueden dividirse en varias partes que aparecerían en números distintos.
4. Los nombres de las proteínas se escribirán en mayúsculas y redondilla (ABC o Abc). Los de genes y especies aparecerán en cursiva (*ABC*, *Homo sapiens*). También se pondrán en cursiva los términos que se citen en un idioma distinto al castellano.
5. Los autores que no sean castellanohablantes pueden remitir sus manuscritos en inglés. Una vez aceptado, el equipo editorial elaborará un resumen en castellano.
6. Las tablas, figuras, dibujos y demás elementos gráficos deberán adjuntarse en ficheros independientes. Cuando sea posible, utilice el formato vectorial no propietario pdf, svg, eps o ps. En caso de fotografías o figuras tipo *bitmap* se pueden enviar en formato jpg, tif o png con una resolución mínima de 300 ppp. Existe la posibilidad de incorporar breves animaciones en formato gif a baja resolución.
7. Las referencias bibliográficas se citarán dentro del propio texto de acuerdo con la norma APA. Ver ejemplos en la plantilla. Si el texto principal no incluye referencias bibliográficas se ruega a los autores que aporten 3-4 referencias generales «para saber más» o «para más información».
8. Se anima a contribuir a la sección «La imagen comentada» con imágenes originales o de libre distribución (300 ppp de resolución como mínimo) acompañadas en documento aparte con un breve comentario de unas 300 palabras relacionado con la misma (descripción, información, técnica, etc.).
9. Se considerará cualquier contribución para las distintas secciones de la revista.
10. Envío de contribuciones: cualquier tipo de contribución ha de enviarse en formato electrónico a: <https://revistas.uma.es/index.php/enbio>
11. La aceptación de todas las contribuciones se hará a petición de los miembros del equipo editorial, manteniendo en todo caso los coeditores la decisión final sobre la misma. También se podrá sugerir al autor mejoras formales o de contenido para adaptar el artículo al perfil de la revista. La notificación se enviará por correo electrónico al autor que figure como corresponsal.

Desde *Encuentros en la Biología*, animamos a todos los lectores a acercarse al mundo de la Divulgación Científica a través de la microcredencial "Divulgación científica escrita: Una perspectiva diferente de la ciencia". La impartirá online la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA) en colaboración la plataforma divulgativa *The Conversation* y con profesores de la Universidad de Málaga y Sevilla, del *National Geographic* y del Hospital La Paz de Madrid. Es un curso de 4 ECTS, dirigida por la Dra. Victoria de Andrés, Profesora Titular de la UMA y divulgadora científica en más de 21 países, donde siguen sus artículos cerca de dos millones de lectores en 179 periódicos y revistas.

Será un curso muy práctico, donde técnica y experiencia de profesionales acreditados favorecerán una enseñanza que, a buen seguro, hará disfrutar a los matriculados. La comodidad de hacer el curso online permitirá el acceso a todos los interesados, independientemente de su lugar de residencia y sus horarios de disponibilidad. Además, esta modalidad de estudios permitirá la acumulación de créditos con sucesivas microcredenciales hasta completar una formación en divulgación científica constitutiva de categoría máster.

Toda la información y la vía de matriculación la podéis encontrar en <https://www.unia.es/estudios-y-acceso/oferta-academica/ciencias/divulgacion-cientifica-escrita-una-perspectiva-diferente-de-la-ciencia..>