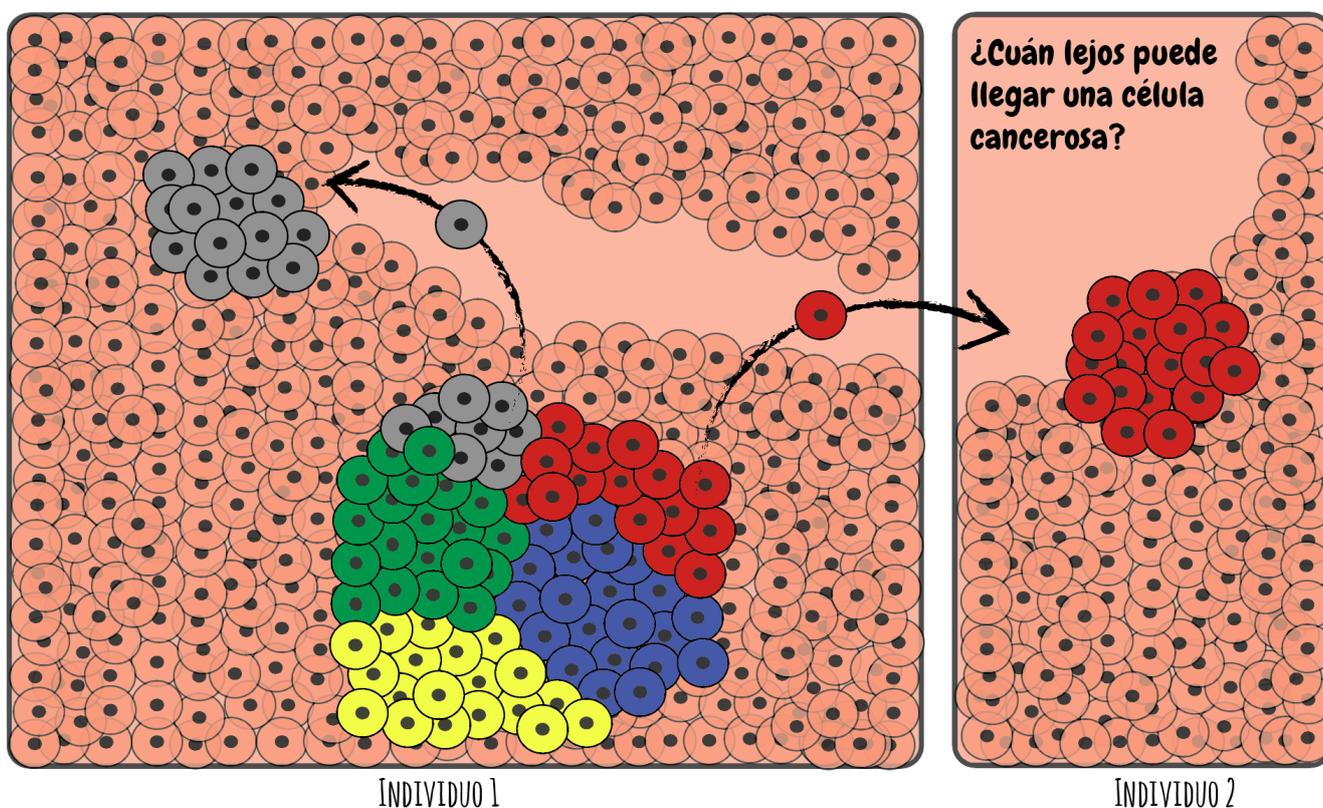


# Encuentros en la **b**iología



Cánceres transmisibles

Diversidad en mamíferos  
placentarios

Premios Nobel 2019

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

**Entidad editora:**

Universidad de Málaga. EDITADA CON LA COLABORACIÓN DE LA UNIDAD DE IGUALDAD DE GÉNERO DE LA UMA, DEL INSTITUTO DE HORTOFRUTICULTURA SUBTROPICAL Y MEDITERRÁNEA "LA MAYORA" (IHSM-UMA-CSIC) Y EL DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

Depósito legal: MA-1.133/94

ISSN (versión electrónica): 2254-0296

ISSN (versión impresa): 1134-8496

**Periodicidad:**

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

**Correspondencia a:**

JUAN ANTONIO PÉREZ CLAROS  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA  
29071 - MÁLAGA

[ENCUENTROSENLABIOLOGIA@UMA.ES](mailto:ENCUENTROSENLABIOLOGIA@UMA.ES)

EQUIPO EDITORIAL

COMITÉ EDITORIAL EJECUTIVO

- Juan A. Pérez Claros  
[johnny@uma.es](mailto:johnny@uma.es)  
Paleontología  
*Encuentros con las novedades.*
- Ramón Muñoz-Chápuli  
[chapuli@uma.es](mailto:chapuli@uma.es)  
Biología del desarrollo y cardiovascular  
*Coordinación de la edición electrónica, foros de la ciencia*
- Elena Rojano Rivera  
[elenarojano@uma.es](mailto:elenarojano@uma.es)  
Bioinformática y biología de sistemas.  
*Maquetación*

COMITÉ EDITORIAL ASOCIADO

- Ana Grande Pérez  
[agrande@uma.es](mailto:agrande@uma.es)  
Genética-virología, Patogénesis virales.  
*Jóvenes científicos*
- Antonio Diéguez  
[dieguez@uma.es](mailto:dieguez@uma.es)  
Filosofía de la ciencia

*A debate, reseñaciones*

- Beatriz Martínez Poveda  
[bmpoveda@uma.es](mailto:bmpoveda@uma.es)  
Biología molecular del cáncer y enfermedades cardiovasculares
- Enrique Viguera  
[eviguera@uma.es](mailto:eviguera@uma.es)  
Genética y genómica  
*Eventos especiales*
- Francisco José Villena  
[francis.villena@icloud.com](mailto:francis.villena@icloud.com)  
*Jóvenes científicos*
- José M<sup>o</sup> Pérez Pomares  
[jmperezp@uma.es](mailto:jmperezp@uma.es)  
Biología del desarrollo y cardiovascular  
*Entrevistas*
- M. Gonzalo Claros  
[claros@uma.es](mailto:claros@uma.es)  
Bioquímica, biología molecular y bioinformática.  
*Escribir bien no cuesta trabajo*
- Miguel Á. Medina Torres  
[medina@uma.es](mailto:medina@uma.es)  
Biología molecular y de

sistemas, biofísica y bioquímica  
*Monitor*

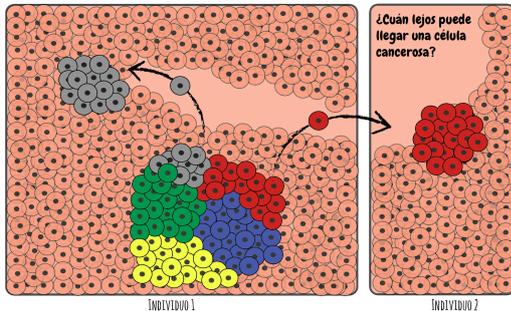
- Belén Delgado Martín  
[belendm@uma.es](mailto:belendm@uma.es)  
Bioquímica y Biología Molecular. *Maquetación*
- Jesús Olivero  
[jesusolivero@uma.es](mailto:jesusolivero@uma.es)  
Zoogeografía y biodiversidad animal
- Juan Antonio Guadix Domínguez  
[jaguadix@uma.es](mailto:jaguadix@uma.es)  
Desarrollo embrionario, diferenciación celular y biología de células madre
- Juan Carlos Codina  
[jccodina@uma.es](mailto:jccodina@uma.es)  
Microbiología, educación secundaria
- Luis Rodríguez Caso  
[caso@eelm.csic.es](mailto:caso@eelm.csic.es)  
Técnicas de laboratorio
- María Rosa López Ramírez  
[mrlopez@uma.es](mailto:mrlopez@uma.es)  
Química física, astronomía

- Rafael Antonio Cañas Pendon  
[rcanas@uma.es](mailto:rcanas@uma.es)  
Biología Molecular de plantas
- A. Victoria de Andrés Fernández  
[deandres@uma.es](mailto:deandres@uma.es)  
Biología animal aplicada  
*Directora de Ciencia Sin Límites*
- Héctor Valverde Pareja  
[hvalverde@uma.es](mailto:hvalverde@uma.es)  
Biología evolutiva molecular  
*Maquetación y difusión*

COMITÉ EDITORIAL DE HONOR

- Salvador Guirado Hidalgo  
[guirado@uma.es](mailto:guirado@uma.es)  
Biología Celular
- 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



En este número de Encuentros se explica cómo los cánceres transmisibles sirven como modelo para estudiar la evolución de esta enfermedad, así como su interacción con el entorno que rodea a las células.

Ilustración realizada por Alicia L. Bruzos

## Índice

Editorial	3
La imagen comentada	4
Las claves de la metástasis enterradas en la arena	5
Diversidad de placentarios frente a marsupiales	8
Aplicación de la electrofisiología en acuicultura	13
Mujeres STEM@UMA	16
El enemigo de mi enemigo es mi amigo	21
Jóvenes científicos	24
Premios Nobel en 2019	27

## Editorial

Estimado lector de *Encuentros en la Biología*:

Con este último número de otoño terminamos el año 2019 y no está mal mirar atrás para hacer un balance anual del recorrido de nuestra querida publicación en este periodo. La revista ha conseguido su propósito de publicar sus cuatro números ordinarios y uno especial, lo cual nos devuelve a la senda de la regularidad, elemento esencial que marca la vitalidad de este querido proyecto. Otro hecho que merece especial mención es que los números no sólo se componen de contribuciones realizadas por profesionales estabilizados, si no que han participado científicos en todos los «estados ontogenéticos» de sus carreras: estudiantes de grado, graduados egresados, becarios predoctorales y postdoctorales, así como otras figuras profesionales previas a una estabilización. Esta diversidad no sólo nos otorga color, si no que nos confirma como una empresa de todos.

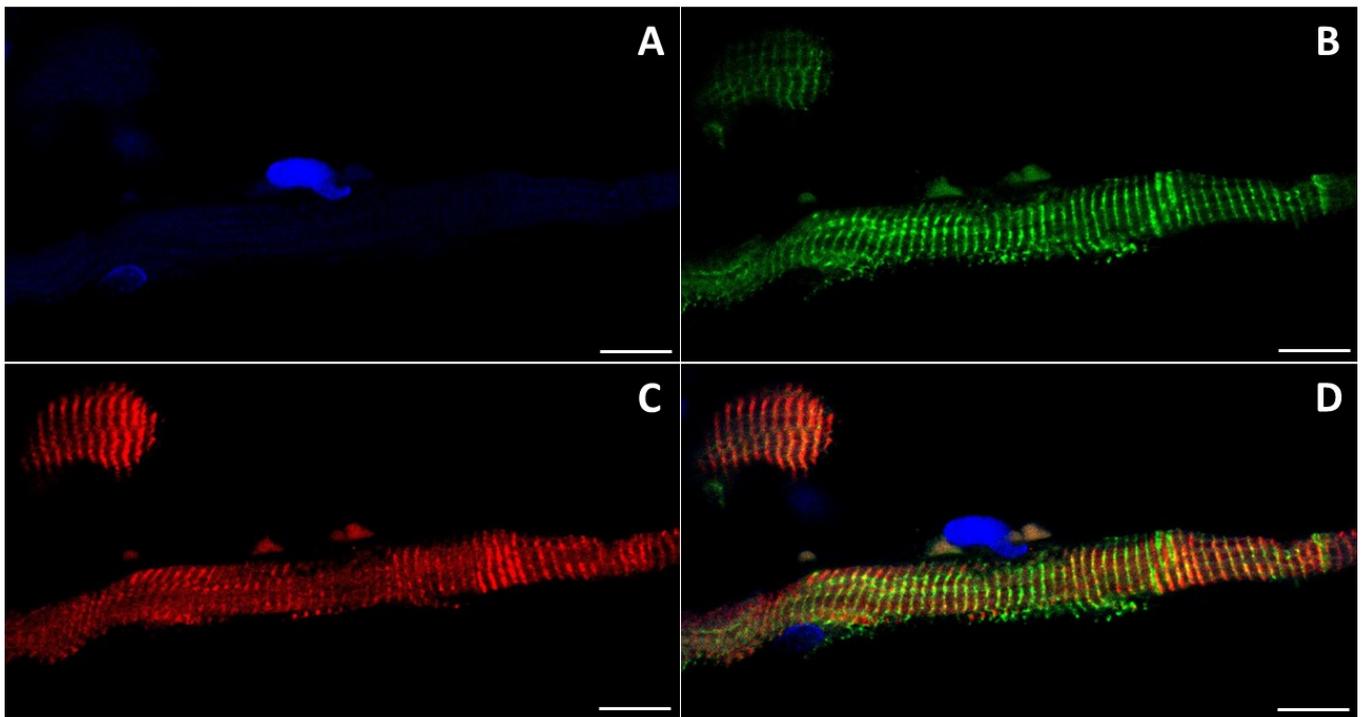
Tampoco puedo dejar de resaltar que la seriedad,

trabajo y amor por la Biología impregnan todas las contribuciones, desde el artículo de revisión más exhaustivo hasta los dibujos de carácter científico (¡tan cuidadosos y realistas!). Es difícil encontrar labores tan estimulantes y genuinas, pero que no tendrían sentido sin ti leyendo la revista.

Pero nuestra vocación es ir a más y esperamos seguir avanzando en nuestro campo natural que es la divulgación en la lengua hispana. Competimos con muchas otras iniciativas, en un mundo cada vez más voraz por captar la atención de lector y es aquí dónde deseamos hacer hincapié, pues en un mundo inundado de información se hace imprescindible seleccionar aquellas de más calidad.

Te deseamos una feliz descanso navideño y te esperamos para nuestro próximo número.

## La imagen comentada



Crédito de la imagen: Juan Antonio Guadix Domínguez

### LA CAPACIDAD CONTRÁCTIL DE LOS CARDIOMIOCITOS

Tanto las células musculares que forman el músculo esquelético (contracción voluntaria) como los cardiomiocitos que forman el músculo cardiaco (contracción involuntaria) se caracterizan por poseer un citoesqueleto muy desarrollado que le permite a las células acortar o elongar su tamaño, y por tanto producir movimiento. En la imagen se puede contemplar un cardiomiocito murino adulto al cual se le ha realizado un procesamiento inmunohistoquímico para poder identificar la presencia de algunas de las proteínas estructurales básicas de dicho citoesqueleto. Podemos visualizar los núcleos celulares mediante el uso de un marcador fluorescente denominado DAPI (4',6-diamidino-2-fenilindol), que tiene la capacidad de unirse a regiones enriquecidas en los amino ácidos adenina y timina (figura A, señal azul); podemos identificar las proteínas de tipo III de los filamentos intermedios del citoesqueleto mediante el uso del anticuerpo anti-desmina (figura B, señal verde) y algunas de las proteínas que son fundamentales en la interacción actina-miosina mediante el uso del anticuerpo anti-troponina I (figura C, señal roja). En la figura D se puede apreciar una superposición de las imágenes A, B y C en una misma imagen, y se puede ver cómo la

distribución de las proteínas desmina y de las proteínas troponina I solapan en el espacio interior de los sarcómeros de los cardiomiocitos murinos adultos (figura D, señal amarilla). Tamaño barra de escalas figura A-D: 10  $\mu\text{m}$ .

Juan Antonio Guadix Domínguez. Investigador Postdoctoral. Departamento Biología Animal, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, 29071, España. [jaguadix@uma.es](mailto:jaguadix@uma.es)

# LAS CLAVES DE LA METÁSTASIS ENTERRADAS EN LA ARENA

## *Metastasis keystones buried in the sand*

por ALICIA L. BRUZOS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN MEDICINA MOLECULAR – UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA (ESPAÑA)

ALBRUZOS@GMAIL.COM

*Palabras clave:* cáncer transmisible, metástasis, evolución del cáncer, bivalvos  
*Keywords:* transmissible cancer, metastasis, cancer evolution, bivalves

Enviado: 17/05/2019  
 Aceptado: 23/10/2019

El reciente descubrimiento de los cánceres transmisibles, tumores que son capaces de infectar a otros individuos mediante la transferencia física de células, trajo consigo un buen modelo para estudiar la evolución del cáncer y la interacción de sus células con el entorno. Comprender los mecanismos generales del cáncer puede ser el primer paso para encontrar una cura para este conjunto de enfermedades que conocemos como cáncer.

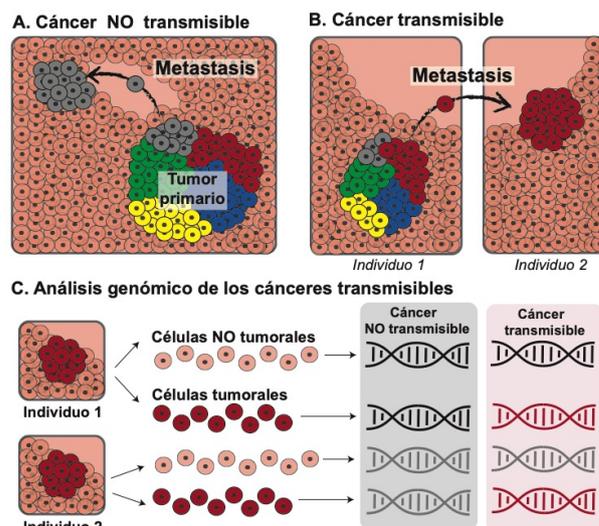
*The recent discovery of transmissible cancers, tumors capable of infecting other individuals through the physical transfer of living cells, reveals a good model to study the evolution of cancer and the interaction of cancer cells with their environment. Understanding the general mechanisms of cancer could be the first step to find a cure for this set of diseases called cancer.*

¿Cuánto sabemos del cáncer y cuánto queda por descubrir? Hemos pasado las últimas décadas centrados en curar el cáncer con cientos de ingeniosos experimentos y todavía no hemos encontrado una cura.

El cáncer es un conjunto de diferentes enfermedades y, por ello, mucha gente es escéptica ante la idea de que algún día encontremos una cura para el cáncer, en su lugar, argumentan que se irán curando uno a uno con diferentes estrategias. Entonces, ¿por qué nos referimos a este conjunto de enfermedades como cáncer? ¿algo tendrán en común? Así es, en todas ellas algún tipo celular adquiere ciertas mutaciones que lo capacitan para dividirse descontroladamente provocando, en la mayoría de los casos, un tumor primario. Las células de este tumor siguen mutando y, con el paso del tiempo, el tumor es capaz de liberar alguna de sus células que migrarán a otros órganos o tejidos para crear nuevos tumores; a este proceso se lo conoce como metástasis (Figura 1A). A día de hoy todavía hay muchas incógnitas por resolver sobre cómo evoluciona un cáncer y mientras no resolvamos esta pregunta básica seguiremos viendo sólo una pequeña parte del cuadro.

El descubrimiento reciente de varios cánceres transmisibles en diversas especies ha abierto una línea de investigación prometedora para esclarecer los mecanismos de la metástasis, proceso clave para entender la evolución del cáncer. Un cáncer es transmisible cuando tiene la capacidad de transferir

algunas de sus células a otro individuo que desarrollará ese mismo cáncer. En otras palabras, un cáncer transmisible es un cáncer que metastatiza en otro individuo, por lo que sobrevive más allá del período de vida y del cuerpo del hospedador en el que se originó (Figura 1B).



**Figura 1.** Comparación esquemática de (A) cáncer no transmisible y (B) transmisible. (C) Modelo esperado al analizar genomas de células tumorales y no tumorales de diferentes individuos con ambos tipos de cáncer.

Estudiar desde un punto de vista genético estos cánceres transmisibles es la mejor forma de esclarecer la naturaleza transmisible del cáncer. Para ello se comparan los genomas de las células tumorales y de

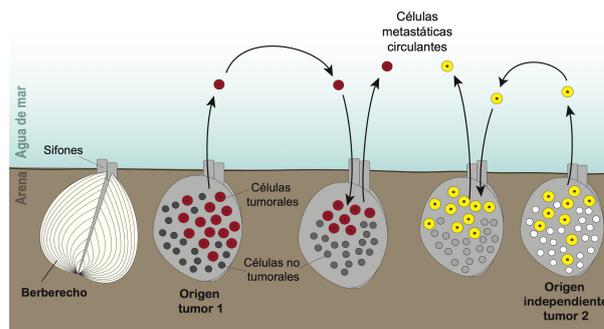
las células no tumorales de un mismo individuo con las de otros individuos infectados. En el caso de un cáncer NO transmisible, nos encontramos con que las células tumorales son más parecidas a las células no tumorales del mismo individuo que a las células tumorales de otros individuos. En cambio, cuando hablamos de cánceres transmisibles, las células tumorales de un individuo son más parecidas a las células tumorales de otro individuo distinto que a las propias células sanas (Figura 1C). Esto es indicativo de la transferencia de células tumorales de unos individuos a otros.

El primer cáncer transmisible descrito fue un tumor venéreo que afecta a perros (CTVT), este cáncer se conocía desde 1810 pero no fue hasta 2006 que se descubrió que las células de esos tumores descienden de un tumor de otro individuo. La transferencia de células tumorales de un perro a otro ocurre, generalmente, durante el apareamiento resultando en el desarrollo de tumores en los genitales de hembras y machos. Al transmitirse, esa línea celular tumoral permanece viva y diversos grupos de investigación han analizado filogenéticamente las mutaciones que presenta su genoma datando al CTVT entre 8.000 y 11.000 años de antigüedad. Efectivamente, este es el cáncer más antiguo conocido. Esto no siempre es así pues podemos decir que otro cáncer transmisible que hay descrito está llevando a su hospedador al borde de la extinción, hablamos del tumor facial que afecta a los demonios de Tasmania (DFTD) y que en tan sólo 25 años ha reducido la población de estos animales un 77%.

Hace tres años se descubrió un tercer tipo de cáncer transmisible que afecta a diversas especies de bivalvos y muestra gran potencial como modelo para estudiar la evolución del cáncer y los procesos metastásicos. La neoplasia diseminada es un cáncer transmisible que afecta a la hemolinfa de estos animales siendo, por tanto, un cáncer parecido a la leucemia de los humanos con la diferencia de que sus células, de alguna forma, salen al medio marino e infectan otros individuos (Figura 2). Esta última característica supone un cambio notable con respecto a los cánceres transmisibles descritos anteriormente pues no es necesario el contacto físico entre dos animales para la transmisión del cáncer.

La manera en la que las células tumorales salen al medio marino todavía es un misterio, tal vez salen activamente, o tal vez algún proceso como la depredación produce su diseminación pasiva. Sea cual sea el modo de transmisión, investigarlo es interesante para profundizar en el estudio de la metástasis, además de entender mejor la evolución del cáncer y el cómo las células tumorales evaden las defensas de los hospedadores o su grado de patogenicidad.

La neoplasia diseminada lleva descrita desde los años 60 con prevalencias bastante bajas. Lo más curioso de esta enfermedad es que ha surgido en varias especies y en el caso de los berberechos, se sabe que ha surgido al menos dos veces de manera independiente, es decir, actualmente coexisten dos clones diferentes de cáncer transmisible de berberecho propagándose por la población.



**Figura 2.** Transmisión del cáncer transmisible neoplasia diseminada en berberechos, una especie de bivalvos.

Pese al reciente descubrimiento de los cánceres transmisibles, ya se han encontrado en varias especies muy diferentes y en dos de ellas se sabe que han surgido más de una vez de manera independiente. Esto evidencia la posibilidad de que surjan en la naturaleza con mayor frecuencia de la esperada y asusta la idea de que puedan afectarnos a nosotros. Entre humanos, sólo se han descrito dos casos de transmisión de cáncer sin inmunosupresión; un cirujano que se cortó con un bisturí y un investigador que se pinchó con una aguja que llevaba células de un tumor, pero en ambos casos, los tumores fueron extirpados y no recurrieron por lo cual no estamos ante nuevos casos de cáncer transmisible. Sin embargo, un caso curioso es el de un paciente de SIDA con las defensas bajas que desarrolló el cáncer que le había transmitido un parásito intestinal que lo había infectado previamente.

La buena noticia de todo esto es que el cáncer transmisible que afecta a bivalvos es un buen modelo animal, pequeño y manejable, con un ciclo vital relativamente rápido, ideal para realizar experimentos en el laboratorio y así estudiar más exhaustivamente la transmisión del cáncer y su respuesta en los hospedadores.

En definitiva, los cánceres transmisibles pueden enseñarnos mucho sobre la evolución de las células del cáncer y su interacción con el entorno. Y, además de descifrar nuevos conocimientos biológicos sobre los mecanismos generales del cáncer, pueden llegar a proporcionarnos nuevas estrategias preventivas y terapéuticas en cánceres tanto transmisibles como no transmisibles. ¿Es posible que las respuestas que estamos buscando estén enterradas en la arena?

---

**Para saber más:**

Ostrander EA y otros. Transmissible Tumours: Breaking the Cancer Paradigm. *Trends Genet.* 32: 1–15, 2016.

Murchinson E.P. Transmissible tumours under the sea. *Nature* 534: 628–629, 2016.

Metzger MJ y Goff SP. A Sixth Modality of Infectious Disease: Contagious Cancer from Devils to Clams and Beyond. *PLoS Pathog.* 12: 1–7, 2016.

Casás-Selves M y DeGregori J. How cancer shapes evolution, and how evolution shapes cancer. *Evolution*, 4: 624–634, 2011.

Ujvari B y otros. Transmissible cancers in an evolutionary context. *Bioessays* 38: 14–23, 2015.

---

---

## ¿POR QUÉ SON MÁS DIVERSOS LOS MAMÍFEROS PLACENTARIOS QUE LOS MARSUPIALES?

por ALBERTO MARTÍN SERRA

DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA Y GEOLOGÍA, FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ALMARSE@UMA.ES

Los mamíferos (Clase Mammalia) están presentes en todos los biomas terrestres, desde selvas tropicales hasta los polos y en todos los océanos. Para ello, se han tenido que adaptar a modos de vida muy diferentes, como el modo de vida aéreo (murciélagos), acuático (cetáceos) o subterráneo (topos). Toda esta variabilidad de hábitats y adaptaciones viene acompañada de una alta diversidad taxonómica, con casi 5.500 especies de mamíferos actuales. Sin embargo, esta diversidad no está repartida por igual entre los distintos grupos, pues más de 5.100 especies son placentarios, mientras que tan solo 5 especies son monotremas y 340 marsupiales.

Dejando a los monotremas de lado debido a su baja diversidad y su alto grado de especialización, este artículo se centra en las posibles diferencias entre marsupiales y placentarios. La comparación entre estos dos grupos ha sido un tema muy recurrente en anatomía comparada y en paleontología debido a la existencia de llamativas convergencias funcionales y ecológicas entre ambos. Por poner solo algunos ejemplos, existe un topo marsupial (género *Notoryctes*) de vida subterránea que presenta notables convergencias con los topos placentarios. También un marsupial mirmecófago (que se alimenta de termitas y hormigas), el numbat (*Myrmecobius fasciatus*) que presenta adaptaciones a ese tipo de dieta que lo asemejan a otras especies mirmecófagas placentarias como los osos hormigueros o los pangolines. Algunas de las convergencias más llamativas y estudiadas se dan entre especies carnívoras extintas, como el lobo marsupial (*Thylacinus cynocephalus*) o el león marsupial (*Thylacoleo carnifex*) que se asemejan a las especies placentarias que indica su nombre. Sin embargo, los mamíferos placentarios presentan una serie de adaptaciones que no tienen un equivalente entre los marsupiales, como es el caso de los placentarios acuáticos, voladores o ungulados (con pezuñas).

Aunque tales diferencias se han intentado explicar desde distintos puntos de vista, una de las hipótesis más aceptadas implica a la peculiar estrategia reproductiva de los marsupiales como la principal causa de su baja variabilidad tanto ecológica como taxonómica<sup>[1]</sup>.

### ¿Cómo puede afectar la estrategia reproductiva de los mamíferos marsupiales a su variabilidad?

En primer lugar hay que recordar las principales diferencias entre marsupiales y placentarios a nivel reproductivo. Precisamente los placentarios reciben su nombre por la presencia de una placenta, es decir, un órgano embrionario que permite a la madre gestante proporcionar nutrientes al embrión en desarrollo durante un largo periodo de tiempo. De este modo la cría nace con un grado de desarrollo bastante alto, tanto que en muchas especies (p. ej. ungulados) ésta puede mantenerse en pie y caminar a los pocos minutos de nacer. En el caso de los marsupiales, que carecen de una verdadera placenta, el periodo de gestación es muy corto (entre 8 y 43 días) y la cría nace en un estadio muy temprano de su desarrollo (Figura 1). Por lo tanto, la mayor parte del crecimiento se produce fuera del útero materno. Al nacer, la cría tiene que trepar por el cuerpo de la madre hasta llegar a las glándulas mamarias, que seguirán alimentándola hasta que sea capaz de valerse por sí misma. En muchas especies las glándulas mamarias se sitúan dentro del marsupio, una bolsa de piel que da nombre a este grupo de mamíferos pero que, curiosamente, no está presente en todos ellos. En cualquier caso, en un estadio tan temprano de su desarrollo, estas crías son capaces de recorrer por sí solas el cuerpo de la madre y de alimentarse de las glándulas mamarias. Para ello necesitan dos estructuras bien desarrolladas para ese momento: las extremidades anteriores, que les sirven para trepar por el cuerpo de la madre y la parte anterior del cráneo y la mandíbula para poder aferrarse a las glándulas mamarias<sup>[1,2]</sup>.

Centrándonos en las extremidades anteriores, existe un estudio sobre el desarrollo embrionario de los marsupiales que indica que ese desarrollo tan temprano va asociado a una disminución de la variabilidad de los patrones del desarrollo de las extremidades anteriores. Según la hipótesis que se plantea, esto a su vez reduciría las morfologías posibles en adultos, lo cual implicaría una limitación para la evolución morfológica y ecológica de los marsupiales. Esta sería la causa principal de la reducida variabilidad ecológica

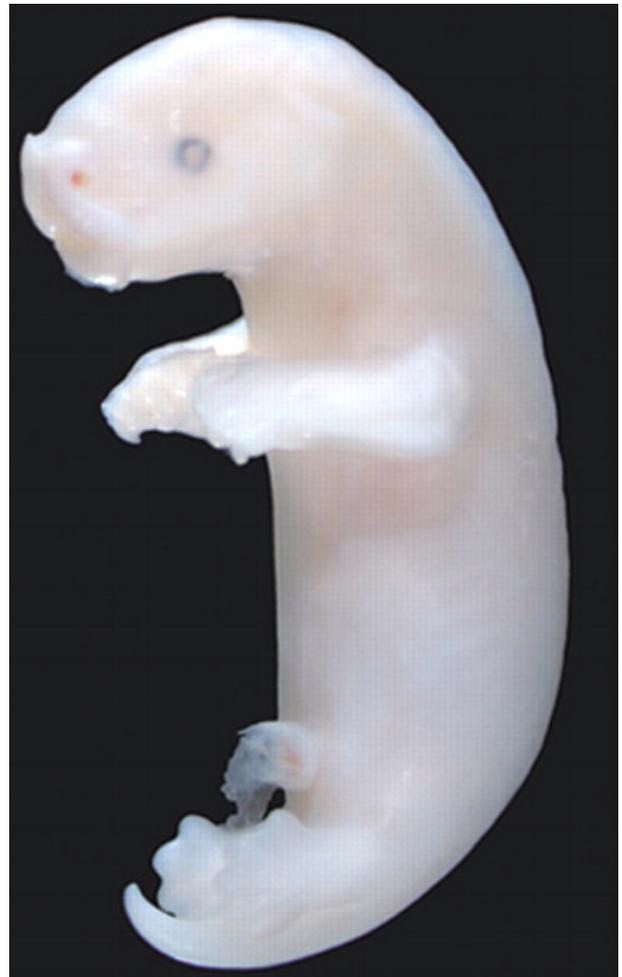
ca y taxonómica de los marsupiales en comparación con los placentarios<sup>[1]</sup>, al menos en lo que respecta a las extremidades anteriores.

### Consecuencias de la hipótesis de la limitación del desarrollo

En este punto, puede que algún lector ya se haya preguntado qué ocurre con las extremidades posteriores. Pues bien, en un marsupial recién nacido las extremidades posteriores casi no existen aún, solo son pequeños primordios (Figura 1). Esta diferencia en el momento del desarrollo de ambas extremidades es muy interesante, ya que se consideran homólogas seriales en los tetrápodos (una misma estructura repetida en el mismo individuo) y, por lo tanto, el estado ancestral debe ser que ambas extremidades se desarrollen al mismo tiempo. Esto quiere decir que en el origen de los marsupiales se produjo una heterocronía del desarrollo, un desacoplamiento temporal de los procesos del desarrollo de ambas extremidades: el desarrollo de la extremidad anterior se adelantó o aceleró respecto a la posterior o fue esta la que se retrasó o frenó. Uno de los efectos del desarrollo heterocrónico de las extremidades de los marsupiales es la reducción del grado de integración entre ellas, que se puede estimar cuantificando la covariación morfológica entre los distintos elementos osteológicos que conforman las extremidades. Esto ya se ha comprobado en varias especies de marsupiales a nivel intraespecífico (entre individuos de la misma especie): la covariación morfológica entre elementos homólogos de ambas extremidades (esto es, húmero-fémur, radio-tibia) es menor que el grado de covariación entre elementos de la misma extremidad (húmero-radio y fémur-tibia). Por el contrario, en placentarios el grado de integración entre extremidades y dentro de cada extremidad es similar. Este patrón de baja integración entre extremidades en marsupiales se ha considerado como una confirmación de la limitación que impone el desarrollo embrionario sobre la extremidad anterior<sup>[3,4,5]</sup>.

Hasta aquí todo parece muy claro, el desarrollo embrionario de la extremidad anterior presenta poca variabilidad y está desacoplado del de la extremidad posterior. Sin embargo, aún queda por saber hasta qué punto estos patrones del desarrollo realmente han limitado la evolución de los marsupiales. Es decir, si estas limitaciones se observan también a nivel macroevolutivo (entre especies). Si esto es así, ¿qué patrones deberíamos encontrar si realizamos un estudio de morfología comparada a este nivel? En primer lugar, la extremidad posterior (que no está sujeta a esa limitación) debería mostrar más variabilidad

morfológica que la anterior. En segundo lugar, el grado de integración entre extremidades y dentro de cada extremidad debería reflejar los mismos patrones encontrados a nivel del desarrollo (mayor integración dentro de la extremidad anterior que entre extremidades).



**Figura 1.** Cría recién nacida de la especie marsupial *Monodelphis domestica* (Didelphidae). Modificado de Keyte & Smith. 2010. *Development*, 137: 4283-4294.

Antes de comprobar si estas predicciones se cumplen, debemos profundizar un poco más en la biología reproductiva de los marsupiales, porque no todos se comportan igual en este aspecto. Por ejemplo, hay marsupiales en los que la cría tiene que hacer un recorrido corto, como es el caso de los dasiúridos (cuoles, demonios de Tasmania y otras especies) que, además, carecen de un marsupio definido. También hay marsupiales, como es el caso de los peramelemorfos (bandicuts y bilbies), en los que las extremidades anteriores están relativamente poco desarrolladas y la cría recién nacida se mueve haciendo un movimiento serpenteante. En este grupo, además, la entrada del marsupio se orienta hacia el canal del parto, con lo que el recorrido es muy corto. Sin embargo, el grupo que más nos interesa es el de los diprotodontos

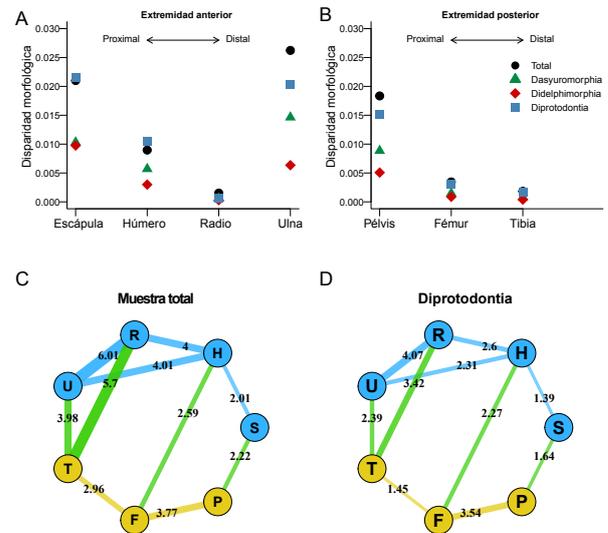
(koalas, uómbats, canguros, ualabíes y otras especies relacionadas), ya que el marsupio de estas especies se abre hacia delante, es decir, al lado contrario del canal del parto. Por lo tanto, la cría tiene que realizar un trayecto más largo que en otros grupos. Este hecho se ha relacionado con los resultados de los estudios de los patrones del desarrollo: en este grupo los patrones del desarrollo son los menos variables dentro de los marsupiales y además la integración entre extremidades a nivel intraespecífico también es comparativamente menor. En otras palabras, los diprotodontos es el grupo en el más se manifiesta la hipótesis de limitación del desarrollo de los marsupiales. De esto se deduce que a nivel macroevolutivo encontraremos que las dos predicciones hechas anteriormente serán más evidentes en este grupo que en los demás: mayor variabilidad morfológica de la extremidad posterior respecto a la anterior y mayor integración dentro de la extremidad anterior que entre extremidades<sup>[1,5]</sup>.

**Efectos a nivel macroevolutivo**

En un estudio, publicado recientemente en la revista *American Naturalist*<sup>[6]</sup>, se cuantificó la forma de los principales huesos de ambas extremidades (escápula, húmero, radio y ulna de la extremidad anterior y pelvis, fémur y tibia de la posterior) en 51 especies de marsupiales actuales o extintos en tiempos históricos, como es el caso del lobo marsupial *Thylacinus cynocephalus*. Sin entrar en detalles metodológicos, el análisis cuantitativo de la forma permite, entre otras muchas cosas, calcular la disparidad morfológica de cada elemento. Este análisis de disparidad mostró que, para los marsupiales, la disparidad morfológica es similar en ambas extremidades (Figura 2A, B). De hecho, el elemento con mayor disparidad morfológica es la ulna, un elemento de la extremidad anterior. En cuanto a diferencias entre los diprotodontos y el resto de grupos, los primeros muestran una disparidad significativamente mayor que el resto para ambas extremidades y además, en la misma proporción, con lo cual también se descarta que, aunque ambas sean más dispares, la extremidad posterior lo fuera en mayor medida que la anterior.

Asimismo, en este estudio se realizó un análisis de la covariación morfológica entre pares de elementos (estimador de la integración entre ellos) y en ningún caso se obtuvo que la covariación fuera significativamente mayor dentro de la extremidad anterior (esto es, escápula-húmero, húmero-radio y húmero-ulna) que entre extremidades (escápula-pelvis, húmero-fémur, radio-tibia y ulna-tibia; Figura 2C). Además, el resultado para los diprotodontos fue

similar al de los marsupiales en conjunto (Figura 2D).



**Figura 2.** Resultados obtenidos para la disparidad y la covariación morfológica en marsupiales. Arriba, resultados de disparidad morfológica para los elementos de la extremidad anterior (A) y posterior (B) para todos los marsupiales y los tres órdenes principales (dasiuromorfos, didelfimorfos y diprotodontos). Abajo, resultados de covariación morfológica entre elementos de las extremidades para todos los marsupiales (C) y para los diprotodontos (D). S, escápula; H, húmero; R, radio; U, ulna; P, pelvis; F, fémur; T, tibia. El grosor de las líneas es proporcional al grado de covariación (número). Modificado de<sup>[6]</sup>.

Estos resultados contradicen claramente las predicciones hechas por la hipótesis de la limitación del desarrollo de la extremidad anterior. ¿Por qué la variabilidad morfológica de las extremidades anterior y posterior es similar si el desarrollo embrionario de la anterior está limitado? Probablemente, la variabilidad que se genera durante el desarrollo de la extremidad anterior es suficiente como para que se seleccionen las variaciones adaptativamente ventajosas, de modo que una presión de selección ligeramente mayor en la extremidad anterior respecto de la posterior durante millones de años de evolución podría haber compensado el efecto de la limitación a nivel embrionario.

¿Cómo es posible que la integración entre ambas extremidades sea alta a nivel macroevolutivo si su desarrollo embrionario está desacoplado? Aunque el desarrollo de ambas extremidades esté desacoplado a nivel embrionario, es bastante probable que estas hayan estado sometidas a presiones de selección similares. Todos los marsupiales son cuadrúpedos (incluso los canguros se apoyan sobre las cuatro extremidades la mayor parte del tiempo), por lo tanto, es compren-

sible que si, por ejemplo, a una especie le resulta ventajoso una extremidad posterior más larga o grácil, también le resultará ventajoso que la anterior sea igualmente larga o grácil. Así, aunque las variaciones se produzcan independientemente debido al desacoplamiento embrionario, estas se pueden ir seleccionando coordinadamente y aparecer integradas a nivel macroevolutivo.

En definitiva, lo que estos resultados de variabilidad morfológica e integración nos están indicando es que los efectos de la limitación en el desarrollo embrionario de la extremidad anterior de los marsupiales no se observan a nivel macroevolutivo. Probablemente porque durante los millones de años de evolución de los marsupiales, la selección natural ha sido capaz de contrarrestar estos efectos hasta enmascararlos por completo.

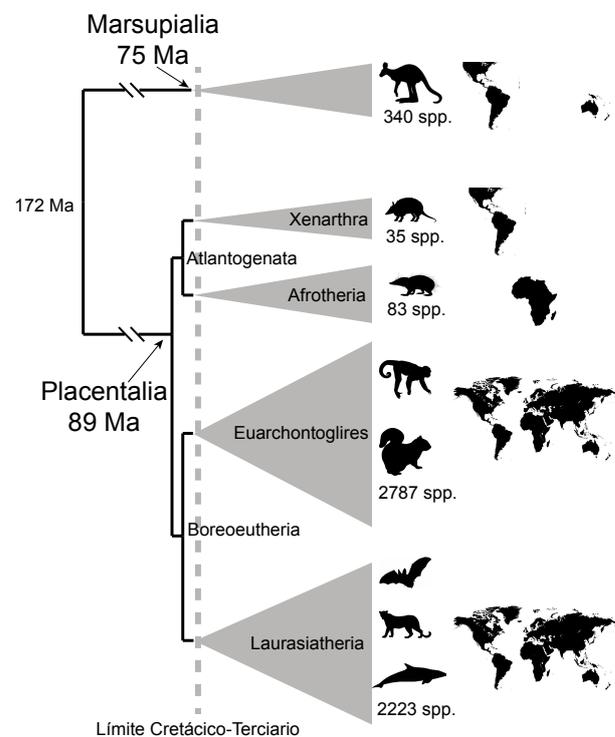
Ahora se plantean dos cuestiones, la primera es si, en vista de estos resultados podemos decir que esta limitación en el desarrollo de las extremidades anteriores de los marsupiales realmente existe. Los patrones del desarrollo encontrados en los estudios que apoyan esta hipótesis siguen siendo válidos, pero ¿hasta qué punto podemos hablar de limitación si no se observa tal limitación a nivel macroevolutivo? Desafortunadamente, para responder a esta pregunta habría que entrar en un debate que se escapa del objetivo de este artículo.

La segunda pregunta es mucho más concreta, ahora que parece que la «limitación» del desarrollo ya no puede explicar la reducida variabilidad ecológica y taxonómica de los marsupiales respecto a los placentarios ¿existe alguna hipótesis alternativa?

### Hipótesis alternativa: la distribución geográfica como factor clave

Hace ya algunos años se planteó la hipótesis de que la reducida variabilidad de los marsupiales se debe principalmente a la distribución geográfica de estos grupos durante el Cenozoico<sup>[7]</sup>. De manera resumida, esta hipótesis se sustenta en que la extinción finicretácica afectó más a los marsupiales que a los placentarios. Esto dejó a los primeros mayormente restringidos al hemisferio sur, radiando exclusivamente en Sudamérica, Antártida y Australia. Por el contrario, los placentarios radiaron principalmente en el hemisferio norte, ocupando Norteamérica, África y Eurasia (Figura 3). Aunque la relación entre superficie geográfica y tasa de especiación no es nada simple, parece evidente que cuanto más espacio tiene un linaje para evolucionar más fácilmente puede producirse la especiación y por tanto la diversificación. Esto podría explicar la diferencia de variabilidad ecológica y

taxonómica entre marsupiales y placentarios, ya que los primeros tuvieron menos superficie terrestre para diversificarse. Esta hipótesis concuerda también con el patrón que se observa dentro de los propios placentarios. Los dos principales linajes de placentarios que evolucionaron en el hemisferio sur, afroterios (África) y xenarthros (Sudamérica), también presentan muy poca diversidad en comparación con los boreoeuterios (los que evolucionaron en los continentes del norte; Figura 3). En definitiva, parece que las diferencias de variabilidad que se observan entre marsupiales y placentarios se puedan deber a un factor externo, (geográfico), en lugar de a un factor interno, como es el caso de la limitación del desarrollo.



**Figura 3.** Esquema de los principales grupos de mamíferos y su distribución geográfica. La representación de la diversidad taxonómica no está a escala. Modificado de<sup>[7]</sup>.

### Una última reflexión

Para finalizar voy a exponer una reflexión personal que se me ocurrió mientras escribía este artículo. Estas dos hipótesis alternativas, que aluden a un factor interno o a uno externo para explicar un determinado patrón evolutivo, me recuerda a los clásicos debates entre estructuralistas (o internalistas) y funcionalistas (o externalistas). En estos debates se discutía si el factor dominante en la evolución orgánica era la selección natural o, por el contrario, era el desarrollo embrionario el que, con sus varia-

ciones posibles e imposibles, marcaba el camino de la macroevolución. En aquel debate subyacía, por parte de muchos funcionalistas, la idea de que la evolución es progresiva, de que la selección natural va «perfeccionando» los linajes. Esta concepción de la evolución está ya superada, en gran parte gracias al concepto de limitación del desarrollo aportado por el estructuralismo. Sin embargo, en este debate sobre marsupiales y placentarios, tengo la sensación de que es la hipótesis de la limitación del desarrollo en los marsupiales la que parece heredar ese antiguo concepto de progresión: los placentarios han tenido más éxito evolutivo que los marsupiales porque son «mejores», y lo son, precisamente, gracias a la característica que los define.

Por el contrario, la hipótesis alternativa plantea que tal vez haya sido una cuestión de contingencia histórica, es decir, puede que el hecho de quedar restringidos en continentes más pequeños (lo que condicionó su evolución posterior) no se relacionara directamente con su biología reproductiva ni con sus limitaciones adaptativas sino que fuera tan solo «mala suerte». En otras palabras, esta hipótesis dejaría abierta la posibilidad de que, si los placentarios se hubieran quedado en los continentes del sur en lu-

gar de los marsupiales, su destino podría haber sido parecido al de estos.

## Referencias

- [1] Sears KE. Constraints on the morphological evolution of marsupial shoulder girdles. *Evolution* 58: 2353-2370, 2004.
- [2] Goswami A, Polly PD, Mock OB y Sánchez-Villagra MR. Shape, variance and integration during craniogenesis: contrasting marsupial and placental mammals. *J. Evol. Biol.* 25: 862-872, 2012.
- [3] Goswami A, Weisbecker V y Sánchez-Villagra MR. Developmental modularity and the marsupial-placental dichotomy. *J. Exp. Zool.* 312B: 186-195, 2009.
- [4] Bennett CV y Goswami A. Does developmental strategy drive limb integration in marsupials and monotremes? *Mammal. Biol.* 76: 79-83, 2011.
- [5] Kelly EM y Sears KE. Reduced phenotypic covariation in marsupial limbs and the implications for mammalian evolution. *Bio. J. Linn. Soc. Lon* 102: 22-36, 2011.
- [6] Martín-Serra A y Benson RBJ. Developmental constraints do not influence long-term phenotypic evolution of marsupial forelimbs as revealed by interspecific disparity and integration patterns. *American Naturalist* (In press), 2019.
- [7] Sánchez-Villagra MR. Why are there fewer marsupials than placentals? On the relevance of geography and physiology to evolutionary patterns of mammalian diversity and disparity. *J. Mamm. Evol.* 20: 279-290, 2013.

## APLICACIÓN DE LA ELECTROFISIOLOGÍA COMO HERRAMIENTA TÉCNICA EN ACUICULTURA

por ANDRÉ BÁRANY RUIZ<sup>\*,†</sup>, MARIA GUILLOTO<sup>\*</sup>, JUAN FUENTES<sup>+</sup> Y JUAN MIGUEL MANCERA<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y AMBIENTALES, CAMPUS DE EXCELENCIA (CEI-MAR), UNIVERSIDAD DE CÁDIZ, 11519 PUERTO REAL, CÁDIZ, ESPAÑA. <sup>†</sup>CENTRE OF MARINE SCIENCES (CCMAR), UNIVERSIDADE DO ALGARVE, CAMPUS DE GAMBELAS, 8005-139 FARO, PORTUGAL

ANDRE.BARANY@UCA.ES

Enviado: 03/09/2019  
Aceptado: 22/10/2019

### ¿Qué es la electrofisiología?

La electrofisiología es un conjunto de técnicas que permiten cuantificar la actividad biológica total de proteínas situadas en las membranas celulares y/o en los espacios entre ellas, en forma de parámetros eléctricos obtenidos en tejidos/epitelios analizados *ex vivo*: epitelio opercular, intestino anterior, intestino posterior, etc.

Para estos análisis *ex vivo*, los tejidos se montan en cámaras de Ussing, se airean bilateralmente con oxígeno (99,5%) y se mantienen a una temperatura constante de 18.5 °C. El potencial transepitelial ( $V_t$ , en mV) se referencia al lado de serosal (sangre) respecto al lumen intestinal, haciéndolo 0. La corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ , en  $\mu A/cm^2$ ) se monitorizada expresando: i) absorción de aniones/ secreción de cationes como valores negativos (de lumen a serosa); y ii) secreción de aniones/absorción de cationes como valores positivos (de serosa a lumen; Figura 1).

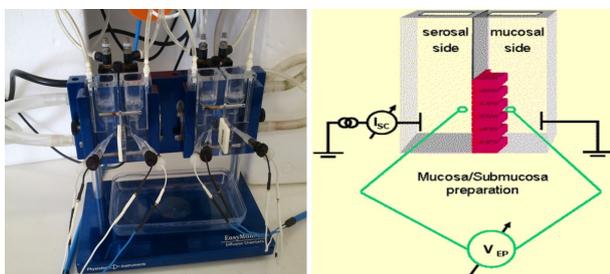


Figura 1. Cámara de Ussing (izq.) y representación esquemática de esta (dcha.).

La resistencia epitelial ( $R_t$ , en  $\Omega cm^2$ ) se calcula de acuerdo con:

$$\text{Ley de Ohm} \rightarrow R = \frac{V}{I}$$

usando las interferencias de corriente inducidas por pulsos de 2 mV de 3 segundos por minuto.

La corriente de cortocircuito y las interferencias se registran por medio de un amplificador epitelial DVC1000 (World Precision Instruments, Sarasota, USA) y se almacenan en un PC usando un sistema de adquisición de datos (LabTrax, World Precision Instruments, Sarasota, USA). Los parámetros bioeléctricos para cada tejido se registran después de lograr la estabilidad de cada uno, lo que sucedía transcurridos 30 o 40 minutos después del montaje de las biopsias en las cámaras.

Los valores de estos parámetros son el resultado de la integración de los movimientos en diferentes sentidos de aniones y cationes a través del tejido o membrana en cuestión. Estos movimientos dependen de proteínas específicas, denominadas transportadores iónicos, que pueden clasificarse en dos grandes grupos: i) transportadores activos, los cuales requieren de una fuente de energía (como el ATP) para el movimiento de cargas contra gradiente, generando así gradientes electrogénicos favorables para el organismo (p. ej. bombas ATPasas); y ii) transportadores pasivos, que al contrario que los anteriores funcionan en un rango de gradientes preestablecidos por las ATPasas. Dentro de este segundo grupo encontramos a) cotransportadores iónicos, los cuales mueven los iones en una misma dirección (p. ej. *nkcc* y/o *ncc*); b) canales iónicos, que son proteínas especializadas en el movimiento de un determinado tipo de ion (p. ej. *cftr* y/o *ENaC*); y c) intercambiadores iónicos que mueven un ion en cada dirección siendo la estequiometría del intercambio dependiente de la proteína e ion en cuestión (p. ej. intercambiador  $Cl^-/HCO_3^-$ ).

A nivel del intestino, este movimiento de iones entre ambos lados del epitelio intestinal también involucra procesos como la absorción de determinados nutrientes como la glucosa<sup>[1]</sup>, aminoácidos específicos<sup>[2]</sup> y algunas vitaminas y minerales<sup>[3]</sup>. Estos movimientos están ligados principalmente al movimiento del catión sodio hacia la sangre. De este modo, se

aprovechan los gradientes iónicos para introducir estas sustancias dentro de los enterocitos o facilitar una absorción paracelular de agua y/o péptidos de mayor peso molecular. La absorción de agua está ligada a la absorción del anión cloro, aunque aún no está claramente establecido la vía que usan mayormente las moléculas de agua para entrar a las células y al tejido, pudiendo ser vías paracelulares<sup>[4]</sup> y/o transcelulares mediadas por acuaporinas<sup>[5]</sup>.

Esta técnica permite por tanto cuantificar y caracterizar el estado bioeléctrico de un tejido en forma de corrientes iónicas absortivas (-) o secretoras (+), y a su vez la resistencia eléctrica puede considerarse reflejo de la apertura de la vía paracelular regulada entre otras por proteínas como las ocludinas y claudinas<sup>[6]</sup>. De esta manera se puede cuantificar las condiciones biológicas del tejido, así como detectar posibles interrupciones provocadas por agentes externos como la presencia de factores antinutricionales en la dieta, tóxicos o cambios en parámetros físico-químicos del agua.

### ¿Qué son las aflatoxinas?

Las aflotoxinas son micotoxinas, metabolitos secundarios producidos por los hongos, concretamente por hongos del género *Aspergillus* y de dos especies *A. flavus* y *A. parasiticus*. Estos hongos están muy presentes desde climas tropicales a templados si las condiciones de almacenamiento de pienso no son buenas y hay presencia de humedad. Existen de un total de 13 tipos de aflatoxinas, y las más conocidas son la B y la G. Los efectos biológicos producidos como respuesta al consumo de aflatoxinas dependen de la especie, la edad, el sexo, el estado nutricional, los componentes de los alimentos en los que estén presentes y las interacciones con sustancias químicas. Adicionalmente, la dosis y el periodo de exposición del organismo a la toxina también son muy importantes. Su peligrosidad está determinada básicamente por su toxicidad crónica<sup>[7]</sup>.

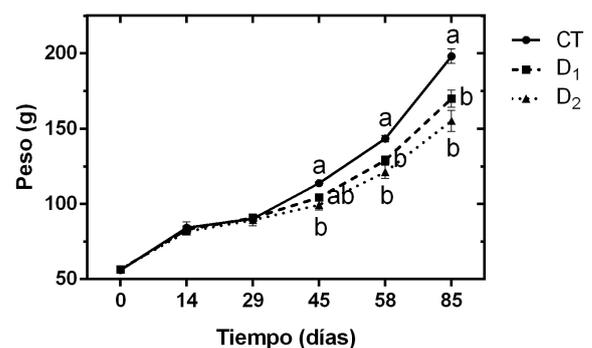
### Efectos negativos de las micotoxinas en la práctica acuícola: un ejemplo práctico

Nuestro grupo de investigación realizó una experiencia para probar el efecto de la aflatoxina B1 (AFB1, SIGMA, A6636) sobre el crecimiento y metabolismo de ejemplares de dorada (*Sparus aurata* L.).

Para ello se prepararon tres piensos: i) pienso control sin aflatoxina (CT); y ii) pienso conteniendo 1 mg AFB1/Kg de pienso AFB1 (D1); y iii) pienso conteniendo 2 mg AFB1/Kg de pienso AFB1 (D2).

De este modo, se establecieron 3 grupos experimentales por triplicado. Se emplearon juveniles de dorada que fueron aclimatados en 9 tanques de 500 L de capacidad, a una densidad de  $4 \pm 0,4$  g/L, con agua de mar (AM, 38‰ salinidad) en circuito abierto, con una temperatura constante (18-19 °C) y un fotoperiodo natural. La alimentación de los peces se realizó diariamente con comederos automáticos y se establecieron 3 tomas (10:00 h, 16:00 h y 21:00 h), ayunando el domingo. Se suministró una dosis del 2% diario de la biomasa total de cada tanque. El experimento duró un total de 85 días: desde el 24/04/2017 al 17/07/2017.

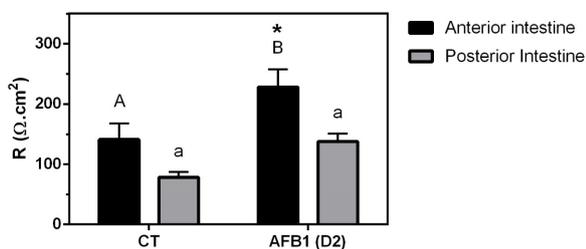
En el peso se apreció una relación lineal inversa entre crecimiento y dosis de aflatoxina, reduciéndose la tasa de crecimiento en biomasa (peso) a la mitad para el grupo de mayor concentración AFB1 respecto al grupo CT (Figura 2).



**Figura 2.** Evolución del peso corporal de doradas alimentadas con diferentes dietas experimentales (CT, D1 and D2) durante 85 días. Los datos son presentados como media  $\pm$  E.S.M. (n = 90). Diferentes letras indican diferencias significativas entre grupos para el mismo tiempo dado (ANOVA 2 Factores, P <0.05, completado con un test de Tukey).

En cuanto a los parámetros bioeléctricos analizados sólo se tomaron para grupos CT y D2, apreciándose que la resistencia eléctrica (R) aumenta significativamente para el caso del grupo D2 en el intestino anterior. También se aprecia como en el grupo CT no existen diferencias significativas entre intestino anterior y posterior en función de la resistividad eléctrica, pero ésta si aparece para el grupo D2 (Figura 3A). En relación a los valores de corriente eléctrica (Isc) se observa que el grupo CT muestra diferencias significativas entre intestino anterior y posterior, siendo los tejidos preferentemente absortivos. Para el grupo D2 estas diferencias desaparecen y se reducen los valores negativos, indicando mayores procesos de secreción o bien menos absortividad del tejido (Figura 3B).

Nuestros resultados indican que la Aflatoxina B1 afecta negativamente al crecimiento de los peces, reduciendo el mismo. Además, esta sustancia repercute directamente en la fisiología intestinal caracterizada a través de las propiedades bioeléctricas del tejido de dos maneras: i) aumenta significativamente la resistividad eléctrica ( $R_t$ ) en intestino anterior, lo que puede inducir una mayor oclusión de los espacios paracelulares, minimizando así el transporte de iones, agua y/o péptidos; y ii) reduce significativamente las corrientes de absorción iónicas en intestino posterior, lo que podría afectar negativamente a la absorción de aminoácidos, glucosa libre y otros nutrientes esenciales por parte de los transportadores dependientes del sodio.



**Figura 3.** Resistencia del tejido ( $R_t$ ,  $\Omega.cm^2$ ) (A) y corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ,  $\mu A/cm^2$ ) (B) en intestino anterior y posterior de doradas alimentadas durante 85 días con CT y AFB1 (D2). Cada columna se representa media  $\pm$  E.S.M. (n=13-14). Para mismas regiones intestinales diferentes letras indican diferencias significativas entre grupos experimentales (mayúsculas: intestino anterior, minúsculas: intestino posterior), asteriscos (\*) indican diferencias significativas entre regiones intestinales para el mismo tratamiento (ANOVA 2 Factores,  $P < 0.05$ , completado con un test de Bonferroni).

En resumen, la electrofisiología es una herramienta con potencial de aplicación en la productividad acuícola y con resultados a tiempo real pudiendo integrar parámetros bioeléctricos y biométricos para cuantificar el estado de los epitelios, efecto de piosos con formulación específica y en perspectiva para obtener una mayor garantía sobre el estado intestinal de la especie cultivada.

## Referencias

- [1] Wood I. S., y Trayhurn P. Glucose transporters (GLUT and SGLT): expanded families of sugar transport proteins. *British Journal of Nutrition*, 89 (1): 3-9, 2003.
- [2] McGivan J. D., and Pastor-Anglada M. Regulatory and molecular aspects of mammalian amino acid transport. *Biochemical Journal*, 299 (Pt 2): 321-334, 2015.
- [3] Kiela P.R., y Ghishan F.K. Physiology of intestinal absorption and secretion. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*, 30(2), 145-159, 2016.
- [4] Wood C. M., y Grosell M., Independence of net water flux from paracellular permeability in the intestine of *Fundulus heteroclitus*, a euryhaline teleost. *Journal of Experimental Biology*, 215: 508-517, 2012.
- [5] Preston G. M., y otros. Appearance of water channels in *Xenopus* oocytes expressing red cell CHIP28 protein. *Science* 256 (5055): 385-7, 1992.
- [6] Furuse M., y otros. Claudin-based tight junctions are crucial for the mammalian epidermal barrier: a lesson from claudin-1-deficient mice. *The Journal of Cell Biology* 156 (6): 1099-1111, 2002.
- [7] Cepeda S. A., y otros. Aflatoxicosis in chinchillas (*Chinchilla lanigera*). *MVZ Córdoba* vol. 16: 1, 2011.

## Mujeres STEM@UMA

El número de otoño de la sección Mujeres STEM pretende visibilizar la excelente labor de las investigadoras que trabajan en el área de Botánica, perteneciente al Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga.



Unidad para la Igualdad  
entre mujeres y hombres

### Investigación en Botánica



**Dra. María Altamirano Jeschke**

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

*Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal. Área de Botánica. Universidad de Málaga – Biodiversidad de flora marina*

Doctora en Biología por la Universidad de Málaga desde

el año 1999, siendo su tesis realizada en el marco de un proyecto europeo sobre los efectos de la radiación ultravioleta en macrófitos marinos. Ha dedicado toda su carrera investigadora al estudio de las algas, tanto marinas como dulceacuícolas, empleando diferentes técnicas para abordar diferentes proyectos. Desde el año 2000 al 2002 disfrutó de un contrato postdoctoral de la Comisión Europea para realizar investigaciones centradas en las creación de bosques marinos en la Universidad de Kobe (Japón). A su regreso participó en varios proyectos con el Ministerio de Defensa, como por ejemplo para el desarrollo de un biosensor algal para TNT, y con el Parque Nacional de Doñana para el estudio de cianobacterias tóxicas y su relación con mortandades masivas de aves. Se incorporó a la plantilla de profesores de la Universidad de Málaga en el año 2005, obteniendo su plaza como Profesora Titular en el año 2011.

Sus líneas de investigación actuales son las especies de macroalgas marinas invasoras, la flora marina de Galápagos y los organismos eucariotas extremófilos. Ha realizado estancias de investigación en la Universidad Federal da Bahia (Brasil), Helgoland Marine Research (Alemania), McMurdo USA Polar Station (Antártida), Kobe University Research Center for Inland Seas (Kobe, Japón), Nara Women's University (Nara, Japón), Australian Institute of Marine Science (Australia), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (Perú), MATIS Research Company (Islandia), Fundación Charles Darwin (Islas Galápagos, Ecuador) y recientemente

en la Universidad de California en Berkeley.

Compagina sus actividades docentes e investigadoras con la presidencia de la Sociedad Española de Fisiología, la actividad como profesora-tutora de la UNED en Málaga y la coordinación de una red PIMA de movilidad de estudiantes con Iberoamérica.



**Dra. Elena Bañares España**

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

*Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal. Área de Botánica. Universidad de Málaga – Evolución experimental de cianobacterias y estudio de poblaciones de macrófitos marinos*

En 2006 se doctoró en Biología por la Universidad de Málaga tras una estancia de 3 meses en el Instituto Holandés de Ecología (Holanda). Fue profesora bilingüe de alumnos de educación secundaria obligatoria en el año 2007 y, en el año 2008 ocupó una plaza de apoyo a alumnos con hipoacusia. A mediados de 2009 se incorporó a la Universidad de Málaga (UMA) como Profesora Ayudante Doctora donde continuó con los estudios relacionados con su tesis sobre adaptación de microorganismos a nuevos contaminantes ampliándola con estudios de evolución experimental. Además, inició una nueva línea de investigación sobre los efectos ambientales en el estrés y el grado de conservación de las poblaciones de macrófitos marinos (algas y fanerógamas marinas). Su grupo en la actualidad abarca ambas líneas con sendos proyectos. El primero de ellos estudia cómo los microorganismos fotosintéticos (microalgas

y cianobacterias) se adaptan a agentes nocivos tanto de origen antrópico (nuevos contaminantes sintéticos) como de origen natural aguas sulfurosas y salinidad. El segundo proyecto abarca el estudio de las poblaciones de Macrófitos frente a escenarios de cambio climático analizando el estrés, la conectividad genética y el grado de conservación de las poblaciones de algas pardas y fanerógamas marinas. En 2015 realizó una estancia en el Centro de Infraestructura Marina Sven Lovén de la Universidad de Gotemburgo (Kristineberg, Suecia) para estudiar las técnicas de repoblación de fanerógamas marinas. Es editora jefa de la revista internacional *Acta Botanica Malacitana*, revista científica especializada en estudios botánicos que edita el Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga. Desde 2012 es Profesora Contratada Doctora en la UMA donde compagina docencia e investigación con la divulgación de la ciencia en diversos centros educativos.



**Dra. Noelia Hidalgo Triana**

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

*Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal. Área de Botánica. Universidad de Málaga*

Licenciada en Ciencias Ambientales por la Universidad de Málaga en 2009, en 2010 obtuvo su Máster en Diversidad y Biología de la Conservación por la Universidad Pablo de Olavide. Finalizó su Doctorado con Mención Internacional en 2016 en la Universidad de Málaga con un trabajo de Tesis centrado en la búsqueda de adaptaciones funcionales (fenología y caracteres funcionales) de las plantas que viven sobre el ecosistema serpentínico mediterráneo (Serpentinófitos). Una estancia predoctoral en la Universidad Davis de California, le permitió

ampliar sus estudios en el ecosistema serpentínico. Además, dedica su carrera investigadora al estudio de la biodiversidad vegetal terrestre, el medio ambiente y la ordenación territorial. Ha contribuido en la descripción de nuevos taxones para la Ciencia. En 2017, Noelia se incorporó como Profesora Sustituta Interina al Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal, donde actualmente compagina su labor docente con sus líneas de investigación. Además de su labor docente e investigadora, Noelia ejerce de revisora en revistas científicas nacionales e internacionales.



**Dra. Teresa Navarro del Águila**

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

Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal. Área de Botánica. Universidad de Málaga

Licenciada en Ciencias Biológicas por Universidad de Granada en 1986, becaria pre- y postdoctoral del CSIC en la Estación Experimental de Zonas Áridas de Almería (EEZA) hasta 1993, fecha en la que se incorpora como Profesor Titular a la Universidad de Málaga. Se doctoró en Ciencias (área de Botánica) por la Universidad de Granada en 1988 tras una estancia pre-doctoral en el Instituto de Botánica de Montpellier (Universidad de Montpellier II, Francia). Su tesis versa en taxonomía y sistemática del género *Teucrium* L., (*Lamiaceae*) base de la publicación del libro sobre el género por Springer book «*Teucrium: Biology and Applications*» .

Su formación doctoral en taxonomía le permitió la elaboración de este género para la obra Flora Ibérica (Real Jardín Botánico de Madrid), la edición de la familia *Lamiaceae* para la Flora de Andalucía Oriental, la co-edición para la Flora Práctica de Marruecos y la edición del género para el Catálogo de la Flora Vascular del Rif y así como la edición de las especies de la

familia *Lamiaceae* para el Libro Rojo de la Flora Amenazada de Andalucía. El desarrollo de esta actividad ha implicado la colaboración de más de 20 años con el Instituto Científico de la Universidad Mohammed V Rabat (Marruecos).

Su otra línea de investigación actual, en ecología vegetal funcional, se inició con su beca postdoctoral en el CSIC-EEZA estudiando la fenología, dispersión y espectro económico foliar de especies vegetales en ecosistemas áridos y desérticos en España, Marruecos, República Democrática del Congo y Golfo de Arabia en colaboración con el Instituto Pirenaico de Ecología CSIC (Zaragoza), la Universidad Libre de Bruselas y la Universidad de Sharjah (Sharjah, EAU). En el año 2015 es la responsable de la creación y apertura de la Oficina de la Universidad de Málaga en La Universidad de Sharjah y de la creación del comité científico de la Dubái Desert Conservation Reserve (Dubai, EAU). Sus investigaciones han originado más 80 publicaciones en revistas internacionales de alto índice de impacto, ha dirigido 9 tesis doctorales y ha sido Investigador Principal de proyectos de i+d+i y de la AECID así como evaluadora frecuente de agencias nacionales e internacionales (ANEP, ANECA).



**Dra. Rosa Perán Quesada**

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

Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal. Área de Botánica. Universidad de Málaga – Conservación Vegetal

Tras licenciarse en Biología en la Universidad de Málaga (UMA), realizó un Máster en Gestión Medioambiental y en el 2001 se doctoró en esta Universidad elaborando una tesis doctoral sobre «Embriogénesis *in vitro* en aguacate (*Persea americana* Mill.)» .

Posteriormente inició una estancia posdoctoral en el Centro Agronómico de Investigación (CATIE) de Costa Rica, donde aplicó el cultivo *in vitro* como herramienta para la multiplicación de especies arbóreas tropicales

amenazadas. Durante su primer año en Costa Rica, cambió de tema y de país e inició otra nueva estancia posdoctoral, que duraría cuatro años, en la Universidad de Kwazulu Natal (Sudáfrica) para trabajar sobre crioconservación de germoplasma de especies arbóreas subtropicales amenazadas.

Actualmente se encuentra trabajando como profesora en la Universidad de Málaga. En esta nueva etapa combina la docencia con su participación en el huerto docente de la UMA, poniendo en práctica una nueva perspectiva dentro de la conservación vegetal, como es la recuperación y conservación *in situ* de germoplasma de variedades locales hortícolas. La formación y divulgación reglada y no reglada sobre huerto urbano constituye una herramienta vital para el mantenimiento del acervo sobre cultivos tradicionales, pilares de la soberanía alimentaria.

Paralelamente intenta llevar a cabo un proyecto personal sobre Agroforestería en Senegal.



**Dra. M.ª Marta Recio Criado**

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

*Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal. Área de Botánica. Universidad de Málaga – Aerobiología*

Actualmente es Profesora Titular del área de Botánica. Compatibiliza sus actividades docentes con su labor investigadora como miembro del grupo de Investigación del Plan Andaluz de Investigación Desarrollo e Innovación (PAIDI, RNM115) «Biodiversidad, Conservación y Recursos Vegetales», al que pertenece desde su creación en 1992. Se doctoró en Ciencias por la Universidad

de Málaga en 1995. Su tesis doctoral versa sobre el polen de la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. Realiza investigación en el campo de la Aerobiología, fundamentalmente en fenología, relación con la meteorología y cambio climático. Ha participado en varios convenios y proyectos de investigación científica, y en numerosos congresos internacionales, relacionados con su especialidad investigadora. Es coordinadora de la creación de un Atlas Fotográfico de Botánica, Flora, Vegetación y Paisaje vegetal, publicado en Internet, y de un libro de Prácticas de Botánica. Es miembro de la Red Española de Aerobiología (REA) y de la Red Andaluza de Aerobiología (RAA). Participa activamente en la difusión de información polínica de la atmósfera a través de los medios de comunicación social. Presenta numerosos artículos científicos publicados en revistas internacionales del campo de la aerobiología, palinología, botánica, alergología, ciencias medioambientales, biometeorología y cambio climático.



**Dra. M.ª del Mar Trigo Pérez**

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

*Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal. Área de Botánica. Universidad de Málaga – Palinología y Aerobiología*

Se licenció en Ciencias Biológicas en 1984 por la Universidad de Málaga, obteniendo una beca Formación de Personal Investigador (FPI) para la realización de su tesis doctoral, iniciando entonces sus estudios en palinología. En el año 1990 se doctoró en Biología por la Universidad de Málaga, compatibilizando la realización de su tesis doctoral con estancias en varias universidades españolas. Después de concatenar contratos como ayudante y profesora asociada a tiempo completo en la Universidad de Málaga, desde 1997 es profesora titular de dicha Universidad, donde imparte clases de Botánica y Aerobiología, entre otras asignaturas.

Actualmente se encuentra integrada en el grupo de investigación de Recursos Naturales y Medioambiente (RNM115), manteniendo varias líneas de investigación

en Palinología, Aerobiología y flora exótica y ornamental, que la han llevado a dirigir y participar en proyectos en colaboración con otros centros de investigación nacionales y extranjeros, como diferentes universidades andaluzas, consejo superior de investigaciones científicas, Estación Científica Charles Darwin (Galápagos, Ecuador), Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Addelmalek Essaadi (Tetuan, Marruecos), Universidad de Sharjah (Emiratos Árabes Unidos) o Hamad Medicadl Corporation (Catar).

Dentro de su grupo de investigación estudia el contenido polínico y esporal de la atmósfera, su tendencia y relación con el cambio climático, así como sus implicaciones en la alergia, habiendo colaborado con programas de información y prevención de varias entidades públicas, nacionales e internacionales. En relación con la

flora exótica y ornamental ha participado en varios proyectos con el Observatorio de Medio Ambiente Urbano de Málaga (OMAU), es asesora científica del Jardín Botánico de Cactus y Otras Suculentas de Casarabonela, así como Directora Científica del Jardín Botánico de la Universidad de Málaga. Desde el punto de vista de la divulgación ha participado en varias ediciones de los programas «Encuentros con la Ciencia», «Café con Ciencia» y «Beer con Ciencia». También coordina proyectos de cooperación internacional en Latinoamérica a través del programas UMA-AACID.

Participa en el comité editorial de revistas científicas españolas y extranjeras incluidas en el JCI y ha sido presidenta de varias asociaciones científicas con la Asociación de Palinólogos de Lengua Española (APLE) y la Asociación Española de Aerobiología (AEA).

EL ENEMIGO DE MI ENEMIGO ES MI AMIGO  
*The enemy of my enemy is my friend*

por JOSÉ ANTONIO GUTIÉRREZ BARRANQUERO<sup>1</sup> Y JUAN CARLOS CODINA ESCOBAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PROGRAMA DE DOCTORADO EN MEDICINA MOLECULAR, DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA, UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

<sup>2</sup>COLABORADOR HONORARIO DEL DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA DE LA UMA. PROFESOR DE EESS EN EL IES SIERRA BERMEJA, AVENIDA RAMÓN Y CAJAL, 113. 29014, MÁLAGA

JAGUTIERREZ@UMA.ES

*Palabras clave:* microbioma, biocontrol, análisis de red  
*Keywords:* microbiome, biocontrol, network analysis

Enviado: 04/06/2019  
Aceptado: 11/11/2019

La salud de las plantas se ve influenciada por las características de la propia planta, el medio ambiente, especialmente el suelo, y el microbioma asociado a las mismas. El estudio de las redes de interacción entre los componentes del microbioma puede proporcionar estrategias para el desarrollo de una agricultura sostenible a la par de respetuosas con el medio ambiente.

*Plants health is influenced by the characteristics of the plant, the environment, specially the soil, and the microbiome associated with them. The study of the interaction networks of the different components of the microbiome can provide strategies for the development of a sustainable agriculture as well as being environmental friendly.*

El microbioma fue descrito por primera vez, aplicado a los seres humanos, como «la comunidad de microorganismos comensales, simbióticos o patógenos que literalmente ocupan un espacio en nuestro cuerpo»<sup>[1]</sup>. Este término también ha sido empleado en el contexto de las plantas como «el ambiente entre la planta y todos los microorganismos asociados a él»<sup>[2]</sup>. En comparación con el microbioma de humanos, el de plantas ha sido menos estudiado aunque actualmente este área de investigación se encuentra en auge por sus efectos beneficiosos en agricultura<sup>[3]</sup>. La estructura del microbioma de las plantas viene determinada por varios factores, entre los que se encuentran el genotipo de las plantas y su estado de desarrollo, la presencia o ausencia de enfermedades y las condiciones ambientales. Por tanto, los estudios destinados a conocer las interacciones microbianas en la rizosfera, filosfera y endosfera son fundamentales para el desarrollo de técnicas y metodologías basadas en el uso de los microbiomas, como una alternativa al uso de agroquímicos, para promover una agricultura sostenible y respetuosa con el medio ambiente<sup>[4]</sup>.

La capacidad funcional del microbioma de plantas no es igual a la suma de la de cada uno de sus integrantes considerados de forma individual, sino que es el resultado de los diferentes tipos de interacciones que se producen entre los microorganismos y su hospedador, y que dan como resultado redes muy complejas. Particularmente, las redes microbianas están constituidas

en muchos casos por miles de microorganismos que interactúan entre sí siguiendo vías de mutualismo, de sinergia, comensalismo, amensalismo o parasitismo. Estas interacciones pueden condicionar el fitness de un determinado microorganismo o grupo de microorganismos, influyendo sobre la fertilidad del suelo y la salud de las plantas.

Las plantas son sistemas complejos cuya productividad también depende de interacciones con diversos organismos (bacterias, hongos, oomicetos) asociados a ellas (tanto en su superficie, especialmente rizosfera y filosfera, como en su interior) así como sus relaciones con los diferentes factores abióticos del medio en el que viven. Se trata de redes muy complejas de interacción con efectos observables a nivel del estado sanitario de la planta, tolerancia a situaciones de estrés, dinámica de crecimiento, etc.

En la búsqueda de nuevas estrategias en la lucha contra las enfermedades microbianas de las plantas se intenta conseguir identificar microorganismos antagonistas de los agentes causales de dichas enfermedades. Microorganismos que compitan o sean patógenos de sus congéneres causantes de enfermedades en plantas y que no ocasionen daños ni a la propia planta ni al ambiente pueden resultar armas útiles en dicha lucha; además de ayudar al establecimiento de una agricultura más sostenible, con menor dependencia de fertilizantes, pesticidas y herbicidas y una mayor productividad y un mejor contenido nutricional de los productos obtenidos<sup>[1]</sup>.

Durante mucho tiempo, los métodos empleados para determinar los efectos negativos de microorganismos patógenos sobre las plantas se han basado en la caracterización de la abundancia relativa y la diversidad de los mismos; métodos que han resultado especialmente fructíferos en el descubrimiento de nuevos agentes de biocontrol para suprimir a dichos patógenos<sup>[2]</sup>. La limitación de este tipo de aproximación es que la búsqueda de poblaciones microbianas importantes desde el punto de vista funcional se basa en un determinado grupo de marcadores obviando las posibles relaciones y conexiones que se dan entre dichas poblaciones.

Por ello en los últimos años, el estudio de los microbiomas de plantas emplean cada vez más los denominados análisis de red que evalúan no sólo las interacciones directas sino también las potenciales interacciones indirectas entre los diferentes miembros de la comunidad microbiana. Los análisis de red pueden estar basados en el hospedador o en el patógeno, pero los más interesantes son los centrados en la enfermedad, que suministran información tanto del hospedador como del patógeno. Los grupos de componentes del microbioma que pueden resultar interesantes serían aquéllos que muestran asociaciones que producen respuestas positivas en determinadas características de la planta y aquellos otros que muestran una asociación que repercute de forma negativa en la frecuencia del patógeno o en el nivel de enfermedad.

Por ello, una estrategia muy útil en la búsqueda de una mayor comprensión de las posibles interacciones dentro del microbioma es la construcción de redes de coexistencia. Estas redes se construyen basándose en el cálculo de las correlaciones de abundancia de diferentes grupos microbianos. Se trata de buscar microorganismos o grupos microbianos que coexistan de manera frecuente en estas redes, ya que podrían jugar un papel potencial dentro del microbioma al interactuar con muchos grupos microbianos diferentes. Dichos microorganismos se pueden convertir en especies clave al poder mostrar un amplio efecto regulatorio sobre el ambiente y sobre otros miembros del microbioma<sup>[5]</sup>.

Dentro de las redes microbianas resulta interesante determinar la presencia de especies microbianas con muchas relaciones de interconexión, que reciben la denominación de centros o núcleos microbianos. Algunos estudios indican que estos centros microbianos son especies importantes para el estado de salud de la planta, actuando como mediadores entre éstas y el resto del microbioma. En este sentido, las especies que forman los centros microbianos pueden ser mediadores que recluten a microorganismos beneficiosos para la planta o impidan la invasión de posibles microorganismos patógenos, en la búsqueda de una mejora de su propia fitness, pero al mismo tiempo beneficiando al sistema en

su conjunto. Lamentablemente, también puede darse el caso de que los centros microbianos sean patógenos que inicien la colonización de él y de otros microorganismos, influyendo de forma negativa en la planta<sup>[6]</sup>.

La estructura que se observa en las redes de microbioma, con sus centros microbianos de importancia, es el punto de partida para el desarrollo de técnicas de manejo de suelos y cosechas; ya que la presencia de ciertos centros microbianos o la pérdida de los mismos o de otros, puede resultar clave en el mantenimiento de la fertilidad del suelo y del estado de salud de la planta. Se trata de intentar usar y manipular el microbioma de las plantas para incrementar la productividad de las mismas de una manera sostenible. El genotipo de las plantas parece tener un efecto importante sobre la composición del microbioma, por lo que la selección de determinados tipos de plantas con los genotipos adecuados puede ser una forma de obtener buenos resultados de productividad, al seleccionarse un microbioma adecuado para la planta.

En el caso de la introducción de un patógeno en el sistema, se pueden contemplar tres situaciones. Una primera en la cual existe una elevada productividad de la planta, reflejo de un estado de salud de la misma adecuada; una segunda en la cual existe un patógeno que causa enfermedad de la planta y consecuentemente una disminución de la productividad; y una tercera en la que se observe una disminución de la productividad de la planta, resultado de un estado de enfermedad ocasionado no por un único patógeno, sino por una alteración del microbioma en su conjunto. En este tipo de escenario, la abundancia del patógeno y del resto de grupos asociados al mismo es mayor, siendo baja la abundancia de los taxones beneficiosos para la planta. En este caso, la estrategia a seguir más que buscar solamente agentes de biocontrol efectivos contra el patógeno sería la búsqueda de especies microbianas que actúen negativamente sobre los «amigos» del patógeno y de otras que favorezcan a los «enemigos» del mismo<sup>[7]</sup>.

A las relaciones e interacciones entre los diferentes grupos microbianos que integran el microbioma habría que sumar los factores fisicoquímicos del medio ambiente, especialmente el suelo y las características de la especie vegetal en cuestión. Quedan pues, muchos aspectos por estudiar en esta trama compleja en la que participan plantas, ambiente y microbioma. En cualquier caso, en la búsqueda de estrategias para el desarrollo de una agricultura sostenible que al mismo tiempo sean respetuosas con el medio ambiente, el estudio del microbioma resulta fundamental. Y como reza en el título de este trabajo, no siempre hay que basarse en los amigos en la lucha contra un enemigo. A veces, los enemigos del enemigo se convierten en amigos.

---

## Referencias

- [1] Lederberg J y McCray AT. Ome Sweet Omics, a genealogical treasury of words. *The Scientist*. 15:8, 2001.
- [2] Melcher U, Verma R y Schneider WL. Metagenomic search strategies for interaction among plants and multiple microbes. *Front. Plant. Sci*. 5:268, 2014.
- [3] Hunter P. Plant microbiome and sustainable agriculture. *EMBO reports* 17(12): 1696-1699, 2016.
- [4] Rossman M, Sarango-Flores SW, y otros. Plant microbiome: composition and functions in plant compartments. *En The Brazilian Microbiome*. V. Pyro, L. Roesch (eds). pp 7-20, 2017.
- [5] van der Heijden, MGA y Hartmann, M. Networking in the plant microbiome. *PLOS Biol*. 14: e1002378, 2016.
- [6] Agler TA, Ruhe J, y otros. Microbial hub taxa link host and abiotic factors to plant microbiome variation. *PLoS Biol* 14(1):e1002352, 2016.
- [7] Poudel R, Jumpponen A y otros. Microbiome networks: a systems framework for identifying candidate microbial assemblages for disease management. *Phytopathol*. 106(10): 1083-1096, 2016.
- 
-

## Jóvenes científicos

*Saludos, soy Olga Mérida y estudio en la UMA el grado de Biología. Desde que tengo memoria he tenido claro que iba a dedicar mi vida a los animales, y que para ello tenía que entenderlos, desde cómo se configuran molecularmente hasta cómo se relacionan entre sí en grandes grupos. Así fue cómo decidí seguir esta carrera, aunque teniendo presente que posteriormente completaré mi aprendizaje sobre ellos con más estudios. Cuando llegué en 1º, se me dio la posibilidad de probar muchas cosas nuevas relacionadas con lo que me gustaba, desde anillamiento de aves, ¡hasta contribuir en una revista de divulgación! A ella traigo, por primera vez en mi vida, una entrevista al Dr. Francisco José Serrano Alarcón, familiarmente «Kiko», cuyos estudios de gran relevancia para la comprensión de las formas de vuelo de las antiguas aves prehistóricas me ha apasionado.*



OLGA MÉRIDA SÁNCHEZ

**Kiko Serrano.** Fue estudiante de Biología en la Universidad de Málaga y se especializó en Paleontología. Realizó sus estudios de doctorado en la Universidad Autónoma de Madrid y en la Universidad de Málaga bajo la dirección de los catedráticos de Paleontología Paul Palmqvist (UMA) y José Luis Sanz (UAM). Ha sido investigador postdoctoral del Museo de Historia Natural de Los Ángeles (California, Estados Unidos) durante tres años y medio, y sigue vinculado a esta institución como Investigador Asociado. Actualmente es investigador Juan de la Cierva en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Madrid) e imparte clases de Paleontología en la UMA como profesor visitante.

**Olga Mérida Sánchez (OMS):** Antes que nada, buenas tardes y muchas gracias por hacerme un hueco para llevar a cabo esta entrevista. Para comenzar con ella, ¿me podría hablar sobre su campo de estudio y las últimas investigaciones que está llevando a cabo?

hace entre 140 y 120 millones de años favorecieron una primera gran radiación de las aves. Recientemente, también he colaborado con paleontólogos chinos y norteamericanos en la descripción de dos nuevas especies de aves tempranas (concretamente del grupo de las Enantiornithes), encargándome de reconstruir su manera de volar.

**Kiko Serrano Alarcón (KSA):** Mi principal línea de investigación se centra en entender cómo evolucionaron las primeras aves a partir de sus ancestros que eran dinosaurios corredores y cómo estas aves primitivas dieron lugar a la extraordinaria diversidad de especies y formas que conocemos hoy día. Mis estudios se enfocan principalmente en el vuelo, ya que la conquista del aire fue fundamental para que el grupo de las aves alcanzara su gran éxito evolutivo, que les ha permitido poblar prácticamente todos los ambientes del planeta y ser, con más de 10.000 especies, el grupo más numeroso de vertebrados terrestres. En una de las últimas investigaciones que he liderado hemos estudiado cómo los cambios atmosféricos ocurridos en los últimos 180 millones de años afectaron al vuelo de las aves. Encontramos que un aumento de oxígeno y de densidad atmosférica

**OMS:** ¿Cómo se aplica la Paleontología para que sirva de ayuda en temas de actualidad, es decir, la información que obtienes del pasado sobre las aves antiguas, cómo se aplica a las aves presentes?

**KSA:** Bueno, la Paleontología resulta muy útil para comprender fenómenos como por ejemplo el cambio climático. Pero no es una ciencia aplicada. La Paleontología estudia la historia de la biota en el marco de la historia del planeta, a través de los fósiles. Cada fósil nuevo que se describe rellena un hueco en el puzle de la historia de la vida. En el caso de las aves es igual. A partir del estudio de los fósiles que se conocen desde hace 150 millones de años podemos estudiar las modifi-

caciones anatómicas y las adaptaciones locomotoras que han ocurrido en las aves y que nos permiten entender la historia que ha tenido este grupo hasta llegar a las formas modernas. También podemos estudiar el papel que tuvieron las aves extintas en sus comunidades antes y después de la extinción en masa provocada por el impacto de un meteorito hace unos 66 millones de años.

**OMS:** Al parecer, hay ciertas teorías que indican que dicho meteorito no fue lo que extinguió a los dinosaurios, si no el impacto que tuvo tan grande en la atmósfera el incremento de  $CO_2$  y la disminución del oxígeno, que seguro que tuvo su papel en el cambio evolutivo de las aves. ¿Cuál es su opinión sobre este tema?

**KSA:** Primero hay que aclarar que no todos los dinosaurios se extinguieron ya que las aves pertenecen al grupo de los dinosaurios, y sobrevivieron a esta gran extinción. Segundo, también aclarar que en esta extinción no solo perecieron los dinosaurios no avianos sino otros muchos organismos que vivían a finales del periodo Cretácico, como los ammonites, los pterosaurios o los mosasaurios (reptiles gigantes marinos), por mencionar algunos. Las estimaciones hablan de una extinción que afectó al 60-70% de las especies que habitaban el planeta. En cuanto a las causas que provocaron dicha extinción, tenemos evidencias muy sólidas de que en efecto, un gran meteorito impactó sobre la Tierra hace unos 66 millones de años. El cráter que dejó está cartografiado en el fondo marino del Golfo de México. Además hay un estrato que se observa en las rocas de esa edad en todos continentes que es muy rica en iridio, un metal muy escaso en la corteza terrestre pero abundante en los meteoritos. Ahora bien, el impacto del meteorito y los tsunamis gigantes que generaría poco después pudieron acabar directamente con los organismos que estuvieran en las zonas afectadas. Pero lo que produjo la extinción en masa fueron los cambios a nivel planetario que provocó el impacto en la atmósfera y en las corrientes oceánicas, y que dejaron un planeta en el que las condiciones para sobrevivir habrían sido muy duras. También hay evidencia de que los volcanes del Decán, en la zona de Indochina, presentaron una extraordinaria actividad durante esa época y que produjeron grandes emisiones de humos y gases que habrían tenido consecuencias globales relacionadas con la gran extinción. El efecto conjunto del impacto del meteorito y de la intensa actividad volcánica en un corto período de tiempo habría producido una atmósfera prácticamente irrespirable, con altos niveles de  $CO_2$  que elevarían la temperatura, y con gran cantidad de partículas que impedirían la fotosíntesis provocando una disminución importante de los niveles de oxígeno. Podría decirse que a las aves, y

también a los mamíferos, esta gran extinción les vino muy bien. Los representantes de ambos grupos que sobrevivieron se encontraron con una gran cantidad de nichos ecológicos vacíos que fueron ocupando a lo largo del Cenozoico (desde hace 66 millones de años hasta la actualidad).

**OMS:** De hecho, los descubrimientos paleontológicos están en auge, tales como la reconstrucción completa del cráneo del *Homo naledi*<sup>1</sup>, por poner un ejemplo. ¿Cómo se evita el error cuando el material fosilizado que se trata tiene tantos miles de años, qué precauciones son necesarias para su manejo?



*Durante su doctorado, Francisco José Serrano Alarcón determinó las características aerodinámicas y biomecánicas de las aves extintas a partir de un análisis comparado con las aves modernas. El conocimiento de la capacidad de vuelo de las aves primitivas le permitió explorar la adaptación de este modo de locomoción a los cambios externos y su efecto sobre la historia evolutiva de las aves. El trabajo de Tesis de Francisco José Serrano Alarcón fue dirigido por el Catedrático de Paleontología de la UMA, Paul Palmqvist Barrena, y por el Catedrático de Paleontología de la Universidad Autónoma de Madrid, José Luis Sanz.*

**KSA:** Lo primero es, sin duda, desenterrar y sacar el fósil con cuidado del yacimiento. Para eso es impor-

<sup>1</sup><http://www.encuentros.uma.es/assets/journals/10/163.pdf>

tante la pericia de los excavadores. Después el fósil tiene que ser transportado y guardado en condiciones óptimas. A continuación pasa a los restauradores, que son como unos artistas a los que llevas una masa de roca donde hay, un húmero de dinosaurio, por ejemplo, y con diferentes técnicas (percutores, ácidos, etc.), van extrayendo y aislando el fósil de su matriz rocosa. Sin embargo, por mucho cuidado que se tenga no es raro que los fósiles puedan verse afectados en cualquiera de estos pasos ya que son procesos delicados.

**OMS:** Ahora, si me lo permites, me voy a llevar la entrevista a mi terreno. Yo soy de 1º, y soy consciente de que hay personas que se han metido en la carrera de Biología para estudiar Paleontología, y hay unas expectativas al respecto que no sé si se corresponden con la realidad. ¿Cuáles son tus pensamientos al respecto?

**KSA:** Pues, tenéis un pequeño problema con eso. Cuando yo hice la carrera de Biología teníamos una asignatura obligatoria de Teorías de la Evolución y luego teníamos tres optativas como eran la Paleobiología, la Paleontología Evolutiva y la Paleoantropología. Actualmente los estudiantes sólo tenéis una asignatura en todo el grado, la Paleontología y Evolución de 2º curso, que aunque intenta aglutinar lo más importante de las 4 asignaturas anteriores, es imposible que cubra la materia que se daba antes. Con la adecuación al grado del nuevo plan de estudios mucha gente consideró que la Paleontología era menos importante que otras áreas y se perdieron todas las asignaturas menos una (afortunadamente se salvó una). Esto no deja de ser sorprendente ya que, como dijo Dobzhansky, no se puede entender la Biología si no es dentro del marco de la Evolución, y la Paleontología debería ser una disciplina que liderara la enseñanza de la Teoría de la Evolución. La buena noticia es que los profesores e investigadores del Área de Paleontología de la UMA

somos un grupo muy activo, y tenemos las puertas abiertas para aquellos alumnos con vocación y ganas de trabajar. Pero, antes que nada, a sacar bien el primer curso, a dar la asignatura de Paleontología de 2º, y ver si es lo vuestro.

**OMS:** ¿Algún consejo para futuros paleontólogos o investigadores en general?

**KSA:** La nota del expediente es fundamental, porque la investigación es un terreno muy competitivo. La primera prueba de competitividad a la que te enfrentarás será acceder a una beca para hacer un doctorado cuando termines el grado. Hay varias formas de conseguirlo, pero la forma más directa y mejor es un buen expediente. Luego, también puedes estar en contacto con grupos de investigación que tengan financiación, y esos grupos ofrecen alguna beca predoctoral (como ocurrió en mi caso). El factor de que te guste lo que haces es fundamental, ya que la carrera investigadora es muy dura. Pagas un precio por dedicarte a tu vocación, que es la falta de estabilidad, pero también tiene cosas buenas: conoces a mucha gente, viajas muchísimo, estudias y trabajas con lo que te gusta. Sientes que haces Ciencia, lo cual personalmente es muy gratificante. Pero mi consejo es, primero, estudiar y sacar buenas notas, luego trabajar duro: hay que ser constante, moverse mucho y hacer muchos contactos (nacionales e internacionales). Pero al final, creo que la vocación es lo que más cuenta.

**OMS:** Muchísimas gracias por su tiempo y por toda la información. ¡Ojalá nuestros nuevos investigadores lo tengan más fácil!

**KSA:** Un placer haberte atendido y enhorabuena por esta iniciativa. Mucho ánimo y suerte.

---

---

## LOS PREMIOS NOBEL DE 2019

por JOSÉ MARÍA PÉREZ POMARES

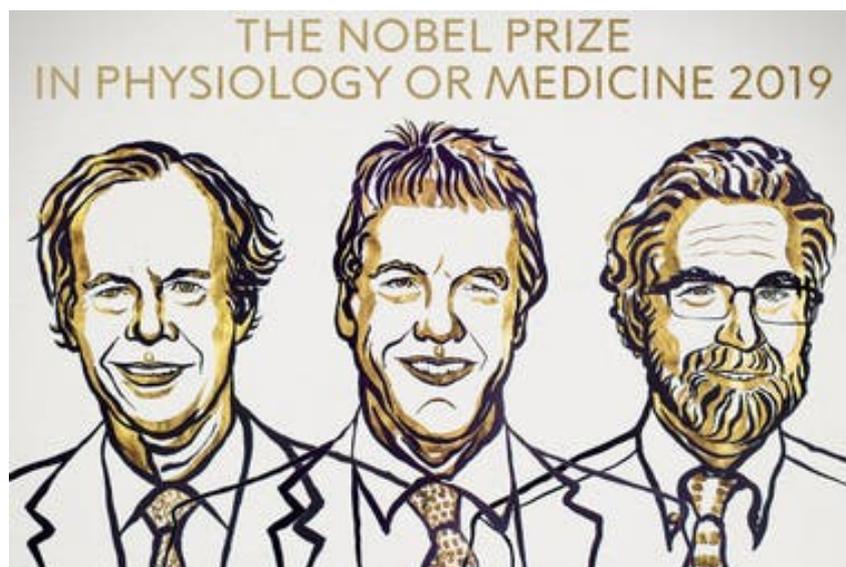
CATEDRÁTICO DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA ANIMAL DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

JMPEREZP@UMA.ES

El Premio Nobel en Fisiología o Medicina de 2019 ha recaído en tres científicos por sus contribuciones al conocimiento de los mecanismos que facultan a las células para percibir el oxígeno disponible en el medio y adaptarse a los cambios en su disponibilidad. Gregg L. Semenza (americano), Sir Peter Ratcliffe (británico) y William G. Kaelin Jr. (americano), han desentrañado el núcleo de los mecanismos moleculares de los que depende el metabolismo aerobio celular. Cada uno de ellos ha dedicado una buena parte de su carrera a un aspecto distinto en el estudio de estos fenómenos. G. Semenza estudió la regulación del gen que codifica para la eritropoyetina (EPO), una proteína de naturaleza hormonal producida en los riñones que induce la producción masiva de eritrocitos, el tipo celular responsable de la distribución de oxígeno en los tejidos. La identificación de una secuencia potenciadora sensible a oxígeno implicada en el control de la transcripción del gen de la eritropoyetina permitió progresar en la comprensión de la mecánica del proceso, que pasó a considerarse universal cuando P. Ratcliffe demostró que dicha secuencia había sido conservada evolutivamente y aparecía en el genoma de todos los animales. Al mismo tiempo, otros estudios de Semenza apuntaron al ahora conocido como Factor Inducible por Hipoxia (HIF) como elemento

esencial en la detección de los niveles de oxígeno; en condiciones normales la proteína HIF es degradada de forma constitutiva, mientras que cuando los niveles de oxígeno son bajos la proteína se acumula y desencadena una respuesta génica compleja para optimizar el uso de oxígeno que incluye la activación de la transcripción del gen *EPO*. En paralelo a estos estudios, W. Kaelin descubre la relevancia del gen *VHL*, que recibe su nombre por su asociación con la enfermedad de von Hippel-Lindau, como sensor de oxígeno celular. Este gen codifica una proteína que interactúa con HIF (forma parte del complejo proteico de ubiquitinación de la proteína HIF) y que es imprescindible para su degradación en condiciones de normoxia. En relación con el mecanismo de acción de VHL, Ratcliffe y Kaelin descubrieron también que cierto tipo de enzimas sensibles a los niveles de oxígeno (prolil-hidroxilasas) son cruciales en la adición de grupos hidroxilo al HIF, modificación necesaria para la unión HIF-VHL.

Todos estos descubrimientos han sido fundamentales para entender cómo se regulan procesos biológicos fundamentales según la disponibilidad de oxígeno en el medio y han contribuido de forma crítica a la comprensión de la fisiopatología de múltiples enfermedades.



De izquierda a derecha, W.G. Kaelin, P. Ratcliffe y G. Semenza, galardonados con Premio Nobel en Fisiología o Medicina de 2019.

**Referencias:**

William G. Kaelin Jr – Facts – 2019. [NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org). Nobel Media AB 2019. Thu. 24 Oct 2019.



# encuentros con la ciencia

## XVII EDICIÓN 2019 - 2020

Ámbito Cultural de El Corte Inglés Avda. de Andalucía, 4 y 6, Málaga

### PROGRAMA DE CONFERENCIAS

Lunes, 18 de noviembre 2019. 19:30 h.  
**CAMBIO CLIMÁTICO: QUÉ HACE, QUÉ HARÁ Y QUÉ HACER**  
José Miguel Viñas Rubio. *Meteored*

Viernes, 13 de diciembre 2019. 19:30 h.  
**CRISIS CLIMÁTICA EN EL MEDITERRÁNEO**  
José Damián Ruiz Sinoya. *Universidad de Málaga*

Viernes, 20 de diciembre 2019. 19:30 h.  
**VERDADES Y MEDIAS VERDADES SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS OCEANOS**  
M. Carmen García Martínez. *Instituto Español de Oceanografía*

Viernes, 10 de enero 2020. 19:30 h.  
**INAUGURACIÓN EXPOSICIÓN "DICHOS: EL MUNDO DE LOS INSECTOS"**  
Comisarios exposición: José Olivero, Enrique García, Francisco Villena, Ana Grande Pérez y Enrique Viguera

Viernes, 24 de enero. 2020. 19:30 h.  
**¿Y TÚ ME LO PREGUNTAS? QUÍMICA ERES TÚ**  
Ana Isabel Elduque Palomo. *Universidad de Zaragoza*

Viernes, 7 de febrero. 2020. 19:30 h.  
**EL PAPEL DE LA ENERGÍA NUCLEAR FRENTE AL CALENTAMIENTO GLOBAL**  
Alfredo García @Operador Nuclear

Viernes, 21 de febrero. 2020. 19:30 h.  
**EL PLÁSTICO QUE COMEMOS Y QUE RESPIRAMOS**  
Éthel Eljarrat. *Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (CSIC)*

Viernes, 6 de marzo. 2020. 19:30 h.  
**MUSEO ANDALUZ DE LA EDUCACIÓN: EDUCANDO A LO LARGO DE LA HISTORIA**  
José Antonio Mañas Valle. *MAE*

Viernes, 20 de marzo. 2020. 19:30 h.  
**EL FUTURO DE LA TIERRA Y DEL UNIVERSO**  
Alberto Castro Tirado. *Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC)*

Viernes, 3 de abril. 2020. 19:30 h.  
**CAMBIO CLIMÁTICO. TU PIEL BAJO AMENAZA**  
José Aguilera Arjona. *Universidad de Málaga*

Actividades complementarias:  
**GUÍAME-AG-UMA. Talleres para alumnado AACC COMO TÚ**  
**EXPOSICIONES Y RUTAS DE CIENCIA**



Organizan:  
**Dr. Enrique Viguera, Dra. Ana Grande. UMA**  
**Julia Toval. Sociedad Malagueña de Astronomía**  
**Mariola Argibay. IES Cánovas del Castillo**  
**Juan Carlos Aznar. IES Vega de Mijas**  
**José J. Reina. Colegio El Pinar**



¡Dale clic!  
Facebook.com/encuentrosconciencia  
www.encuentrosconciencia.es

## *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 podrían 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, numeradas por orden de aparición, entre corchetes en superíndice<sup>[1]</sup>. Al final del mismo, se incluirá la sección de *Bibliografía* o *Referencias* de acuerdo con el estilo del siguiente ejemplo:  
<sup>1</sup>Einstein Z y Zwestein D. Spatial integration in the temporal cortex. *Res Proc Neurophysiol Fanatic Soc* 1: 45-52, 1974.  
 Si hay más de dos autores, se citará el primero seguido de «y otros».  
 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: el original se enviará por correo a los coeditores o a cualquier otro miembro del comité editorial que consideren más afín al tema de la contribución. Como último recurso, se pueden enviar por correo postal acompañados de un CD. No se devolverá ningún original a los autores.
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.