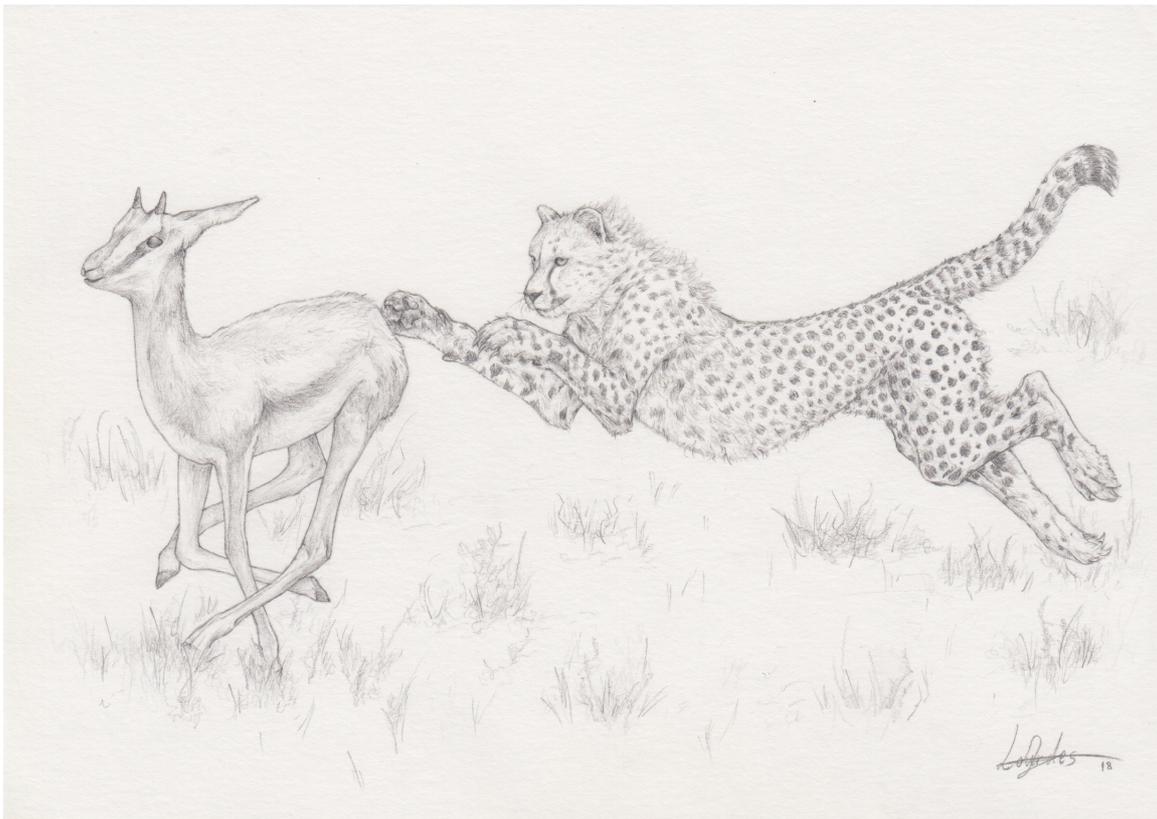


# encuentros en la **b**iología



Premios Nobel 2018

| Música y el canto de las aves

| Mujeres STEM@UMA

Vol XI | No 165  
OTOÑO | 2018

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

**Entidad editora:**

Universidad de Málaga

EDITADA SIN FINANCIACIÓN INSTITUCIONAL, PÚBLICA NI  
PRIVADA

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 A. Pérez Claros  
Departamento de Geología  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Málaga  
29071 - Málaga  
[johnny@uma.es](mailto:johnny@uma.es)

**EQUIPO EDITORIAL**

**COEDITORES**

- Juan A. Pérez Claros  
[johnny@uma.es](mailto:johnny@uma.es)  
Paleontología  
*Encuentros con las novedades.*
- Ana Grande Pérez  
[agrande@uma.es](mailto:agrande@uma.es)  
Genética-virología,  
Patogénesis virales.  
*Jóvenes científicos.*

**COMITÉ EDITORIAL EJECUTIVO**

- Antonio Diéguez  
[dieguez@uma.es](mailto:dieguez@uma.es)  
Filosofía de la ciencia  
*A debate, reseñiones*
- 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>a</sup> Pérez Pomares  
[jmperezp@uma.es](mailto:jmperezp@uma.es)  
Biología del desarrollo y  
cardiovascular  
*Entrevistas*
- Héctor Valverde Pareja  
[hvalverde@uma.es](mailto:hvalverde@uma.es)  
Biología evolutiva  
molecular  
*Maquetación y difusión*
- 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*
- Ramón Muñoz-Chápuli  
[chapuli@uma.es](mailto:chapuli@uma.es)  
Biología del desarrollo y  
cardiovascular

*Coordinación de la edición  
electrónica, foros de la ciencia*

**COMITÉ EDITORIAL ASOCIADO**

- Alicia Rivera  
[arivera@uma.es](mailto:arivera@uma.es)  
Neurobiología y  
enfermedades  
neurodegenerativas
- Belén Delgado Martín  
[belendm@uma.es](mailto:belendm@uma.es)  
Bioquímica y Biología  
Molecular
- Jesús Olivero  
[jesusolivero@uma.es](mailto:jesusolivero@uma.es)  
Zoogeografía y  
biodiversidad animal
- José Carlos Dávila  
[davila@uma.es](mailto:davila@uma.es)  
Biología celular y  
neurobiología
- 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)

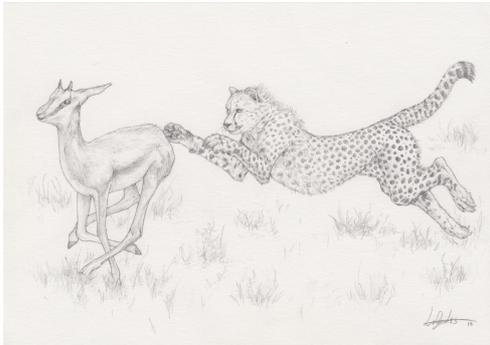
Microbiología, educación  
secundaria

- Luis Díaz Martínez  
[luisdiaz@uma.es](mailto:luisdiaz@uma.es)  
Biotecnología y  
bioinformática
- Luis Rodríguez Caso  
[caso@eelm.csic.es](mailto:caso@eelm.csic.es)  
Técnicas de laboratorio
- Margarita Pérez Martín  
[marper@uma.es](mailto:marper@uma.es)  
Fisiología animal,  
neurogénesis
- María Rosa López Ramírez  
[mrlopez@uma.es](mailto:mrlopez@uma.es)  
Química física, astronomía
- Raúl Montañez Martínez  
[raulmm@gmail.com](mailto:raulmm@gmail.com)  
Biología sintética y de  
sistemas

**COMITÉ EDITORIAL DE HONOR**

- 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



La gacela de Thompson constituye la presa principal del guepardo en ciertas regiones de nuestro planeta tales como el Serengeti. En este número de Encuentros se aborda el estudio de la predación de los grandes felinos en diversos ecosistemas.

*Página 6* Dibujo de Lourdes Morales Ramos, alumna del grado en Biología

## Índice

Editorial	3
La imagen comentada	4
Tamaño predadores felinos	6
Mujeres STEM@UMA	11
Photobacterium: un simbiote peculiar	15
Jóvenes científicos	18
Música y el canto de las aves	21
Ciencia sin límites	26
Vida y Obra: <i>Cristina Escarmís</i>	28
Escribir bien no cuesta trabajo: Rancias esenciales: ¿absorbancia/dormancia o absorbencia/durmenca?	31
Premio Nobel de Química 2018	33
Premio Nobel de Física 2018	36

## Editorial

### El bárbaro especialista

Estimado lector, ¿por qué tiene sentido para algunos una revista de amplio espectro en el campo de la Biología? Espero contestarte, o al menos hacerte reflexionar, tomando prestados tres párrafos de alguien que nos puede ilustrar al respecto:

“Sería de gran interés, y mayor utilidad que la aparente a primera vista, hacer una historia de las ciencias físicas y biológicas mostrando el proceso de creciente especialización en la labor de los investigadores. Ella haría ver cómo, generación tras generación, el hombre de ciencia ha ido constriñéndose, recluyéndose, en un campo de ocupación intelectual cada vez más estrecho. Pero no es esto lo importante que esa historia nos enseñaría, sino más bien lo inverso: cómo en cada generación el científico, por tener que reducir su órbita de trabajo, iba progresivamente perdiendo contacto con las demás partes de la ciencia, con una interpretación integral del universo, que es lo único merecedor de los nombres de ciencia, cultura, civilización europea.”

[...] “[El especialista] [e]s un hombre que, de todo lo que hay que saber para ser un personaje discreto, conoce sólo una ciencia determinada, y aun de esa ciencia sólo conoce la pequeña porción en que él es activo investigador. Llega a proclamar como una virtud el no enterarse de cuanto quede fuera del angosto paisaje que especialmente cultiva, y llama dilettantismo a la curiosidad por el conjunto del saber.”

“El caso es que, recluido en la estrechez de su campo visual, consigue, en efecto, descubrir nuevos hechos y hacer avanzar su ciencia, que él apenas conoce, y con ella la enciclopedia del pensamiento, que concienzudamente desconoce. ¿Cómo ha sido y es posible cosa semejante? Porque conviene recalcar la extravagancia de este hecho innegable: la ciencia experimental ha progresado en buena parte merced al trabajo de hombres fabulosamente mediocres, y aun menos que mediocres. Es decir, que la ciencia moderna, raíz, y símbolo de la civilización actual, da acogida dentro de sí al hombre intelectualmente medio y le permite operar con buen éxito. La razón de ello está en lo que es, a la par, ventaja

mayor y peligro máximo de la ciencia nueva y de toda civilización que ésta dirige y representa: la mecanización. Una buena parte de las cosas que hay que hacer en física o en biología es faena mecánica de pensamiento que puede ser ejecutada por cualquiera, o poco menos.”

José Ortega y Gasset. “La barbarie del ‘especialis-

mo’”, en *La rebelión de las masas*.

Estimado lector, no te resignes a ser un bárbaro especialista, al menos sin un sentimiento de pérdida. En *Encuentros...* puedes encontrar ayuda para evitarlo.

eb

## *La imagen comentada*



Todos nos hemos topado alguna vez con un insecto verde, de mediano tamaño, con un porte erguido y elegante. Concretamente nos referimos a las mantis que, por cierto, no todas son "religiosas". El espécimen que se presenta en la fotografía es *Sphodromantis viridis*, comúnmente conocida como 'gran mantis africana', una especie de insecto mantodeo de la familia Mantidae cuya distribución geográfica es el centro y norte de África, sur de la península ibérica y la península arábiga. Las características que nos llevan a afirmar que este ejemplar se trata de *S. viridis* son su localización, que en este caso se trata de Frigiliana (Málaga), unas manchas blancas en los élitros (alas anteriores) y su gran tamaño, pudiendo llegar hasta los 8 cm. Este último aspecto nos ayuda a establecer una clara diferencia respecto a *Mantis religiosa* cuya longitud máxima es de 5 cm. *S. viridis* ha sido objeto de interesantes experimentos relacionados con la visión estereoscópica, esto es, la capacidad de formar una imagen tridimensional a partir de dos imágenes dimensionales. Este carácter evolutivo se da gracias a la visión binocular, mediante la cual el cerebro es capaz de tomar la imagen de cada ojo para formar la imagen tridimensional y así calcular distancias distinguiendo profundidades, volúmenes, etc. La visión estereoscópica o "3D" es un proceso importante pero costoso que se observa en varios linajes evolutivamente distintos, incluidos los primates, los pájaros y los insectos. Muchas ventajas selectivas podrían haber posibilitado la evolución de la visión estereoscópica, incluido el alcance a una presa o a un objeto, poder ver a través del camuflaje o estimar el tamaño de la presa. Para averiguar qué importaba más si el tamaño o la distancia a la presa se llevaron a cabo diversos experimentos con mantis. En uno de ellos se colocaron unos prismas delante de los ojos de *S. viridis* para distorsionar la imagen. El resultado fue que la mayoría de los ataques que la mantis llevaba a cabo fracasaban<sup>[1]</sup>. En este estudio se sugería que, efectivamente, las mantis se valen de su visión binocular para calcular la distancia a su presa con precisión para dar el golpe con sus patas delanteras pero lo hacen sin

ningún conocimiento del tamaño absoluto de las presas. Además se descartaron otros factores como el olor o el tacto para localizar a sus presas. Para profundizar más en el tema se llevaron a cabo otra serie de experimentos algo más complejos, pero, esta vez, con una especie diferente: *Sphodromantis lineola*, o también conocida simplemente como 'mantis africana'<sup>[2]</sup>. Básicamente, se creaba un "cine 3D" para insectos. Las "gafas 3D" consistían en unos filtros azul y verde que se "pegaban" en cada ojo de la mantis con cera de abeja. En uno de estos experimentos, se colocaba a la mantis boca abajo en una superficie circular enfrente de una pantalla, aproximadamente a 3 cm, que es la distancia media de ataque de estos insectos y se proyectaban imágenes en diferentes sitios de la pantalla. Se observó que únicamente cuando la imagen se colocaba a la distancia apropiada para que el mántido fuese capaz de formar una imagen tridimensional, éste lanzaba su ataque. Sin embargo, el tamaño no importaba tanto. Estos estudios apoyan la idea de que la visión estereoscópica de la mantis es fundamental para la caza y que estos insectos no la usan para estimar un tamaño constante en sus presas sino la distancia a sus presas. Por tanto, otras ventajas selectivas, pero no la constancia del tamaño, han impulsado la evolución de la visión estereoscópica en las mantis.

*Imagen por: Manuel Garrido Martín (estudiante de ingeniería industrial, Universidad de Málaga) y texto por: Esmeralda Muñoz Fernández (estudiante de biología, Universidad de Málaga).*

### Referencias

<sup>1</sup>Rossel S . *Spatial vision in the praying mantis: is distance implicated in size detection?*. Journal of Comparative Physiology A 169: 101-108, 1991.

<sup>2</sup>Nityananda S y otros. *Small or far away? Size and distance perception in the praying mantis*. Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences 371: 20150262. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0262>, 2016.

# INFLUENCIA DEL TAMAÑO CORPORAL EN LAS RELACIONES PREDADOR-PRESA DE LOS GRANDES FELINOS ACTUALES Y SU APLICACIÓN AL REGISTRO FÓSIL

*INFLUENCE OF BODY SIZE ON THE PREDATOR-PREY RELATIONSHIPS OF LIVING FELIDS AND ITS APLICATION TO THE FOSSIL*

RECORD

por **LOURDES MORALES RAMOS**

FACULTAD DE CIENCIAS - MÁLAGA (ESPAÑA)

LMORALES@UMA.ES

*Palabras clave:* felinos, predación, predador-presa, tamaño, registro fósil, Venta Micena  
*Keywords:* felids, predation, predator-prey, body size, fossil record, Venta Micena

Enviado: 20 julio 2018  
Aceptado: 2 octubre 2018

El tamaño corporal es un factor crucial a tener en cuenta a la hora de analizar las relaciones predador-presa de los grandes felinos actuales y pese a la gran cantidad de estudios centrados en dichas relaciones, los patrones de alimentación de estos predadores según las clases de edad de las presas han sido escasamente investigados. El estudio de los mismos muestra una tendencia general hacia la caza de un mayor número de crías de las especies de presa de mayor tamaño. Un mayor peso corporal y la formación de grupos organizados permiten a felinos como el león el acceso a especies de presa de mayor tamaño así como a una mayor proporción de adultos, mientras que los felinos más pequeños tienen más limitaciones. La aplicación de estos resultados a la información existente sobre los felinos hipercarnívoros extintos de Venta Micena permite una aproximación a los posibles patrones de caza de estos predadores de la antigüedad.

*Body size is a crucial factor to take into account when analyzing the predator-prey relationships of the current felids and, despite the large number of studies focused on these relationships, the feeding patterns of these predators according to the age-class of prey have been poorly investigated. The study of those patterns shows a general trend towards the hunting of a greater number of calves of the larger prey species. A higher body mass and the existence of organized hunting groups allow predators like the lion to access the largest prey species as well as a higher number of adults of these prey, while the smaller felids have more limitations. The application of these results to the existing information on the extinct hypercarnivorous felids of Venta Micena allows an approximation to the hunting patterns of these antique predators.*

## Introducción

A lo largo de los últimos años un gran número de investigadores se han aventurado a desentrañar la complejidad de la selección de presas de los grandes carnívoros actuales, intentando entender las estrategias que siguen las diferentes especies y sus preferencias de caza<sup>[1-4]</sup>. De estos estudios se puede obtener una conclusión global: la caza por parte de estos grandes predadores no tiene lugar al azar, sino que se lleva a cabo una rigurosa selección con el fin de maximizar las ganancias energéticas y reducir la probabilidad de ser herido durante la captura.

Las características de las presas que componen la alimentación de los grandes felinos varían según el tamaño de los mismos, así, los predadores de mayor peso corporal son capaces de capturar presas de mayor tamaño<sup>[1]</sup>, siendo el león el felino capaz de abarcar el rango de peso más amplio<sup>[2]</sup>. Además, en el caso de este predador, la formación de grupos organizados aumenta sus posibilidades de éxito a la hora de atacar a presas de tamaños muy superiores al suyo<sup>[1]</sup>, como es el elefante africano. Sorprendentemente, la correlación entre el

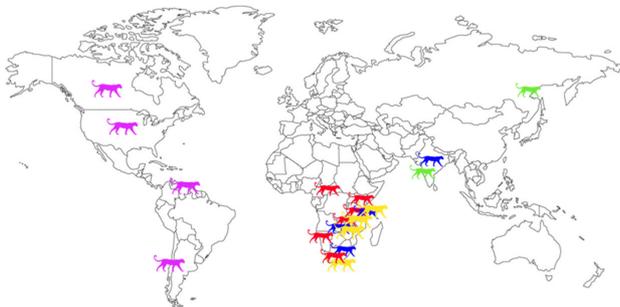
tamaño del predador respecto al de la presa y el patrón de consumo según la clase de edad de las mismas ha sido poco estudiados.

Ese precisamente ha sido el objetivo principal del TFG cuyo resumen se recoge en este artículo: comparar los patrones de caza de cinco de los grandes felinos actuales según el tamaño de la especie de presa que incluyen en su dieta. La idea es comprobar si los felinos se centran más en los individuos juveniles de las especies de presas más grandes. Además, estos resultados se han aplicado al estudio de comunidades fósiles de grandes felinos extintos como son los «tigres dientes de sable», lo que nos ha permitido formular una hipótesis sobre el tamaño de las presas que habrían consumido estos carnívoros en la comunidad fósil de Venta Micena hace un millón y medio de años.

## Método

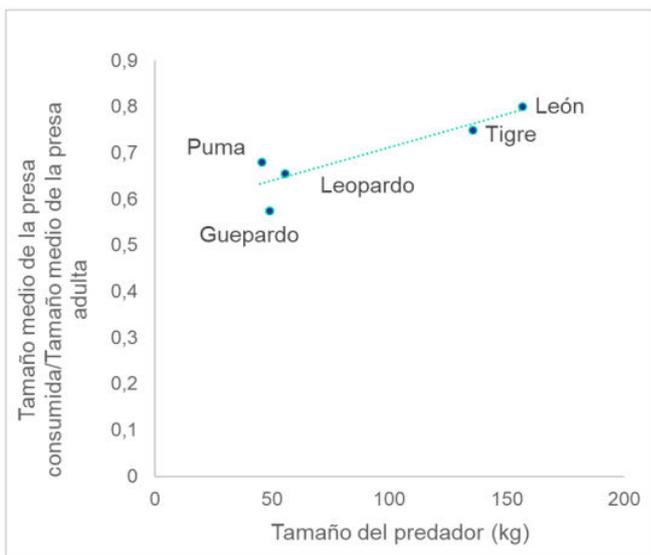
Para iniciar el estudio de la relación entre el tamaño de la presa y la proporción de individuos juveniles consumida se emplearon registros de caza de cinco grandes

felinos actuales: el león, el leopardo, el guepardo, el tigre y el puma. Estos felinos no han sido estudiados con la misma intensidad en aquellas localidades donde habitan. Así, la mayoría de registros con los datos necesarios para este estudio procedieron de Sudáfrica (Figura 1).



**Figura 1.** Localización de los registros de caza empleados para este estudio.

Los datos que se extrajeron de los registros de caza fueron la proporción de presas adultas y juveniles cazadas por cada predador y los pesos corporales tanto de las presas como de los predadores adultos (los pesos de los individuos juveniles cazados fueron mayormente estimados). Una vez obtenidos los datos se calculó el tamaño medio de cada presa consumida por cada predador.



**Figura 2.** Media del peso de las presas consumidas respecto a la media del peso del individuo adulto de dichas presas según el peso del predador.

## Resultados

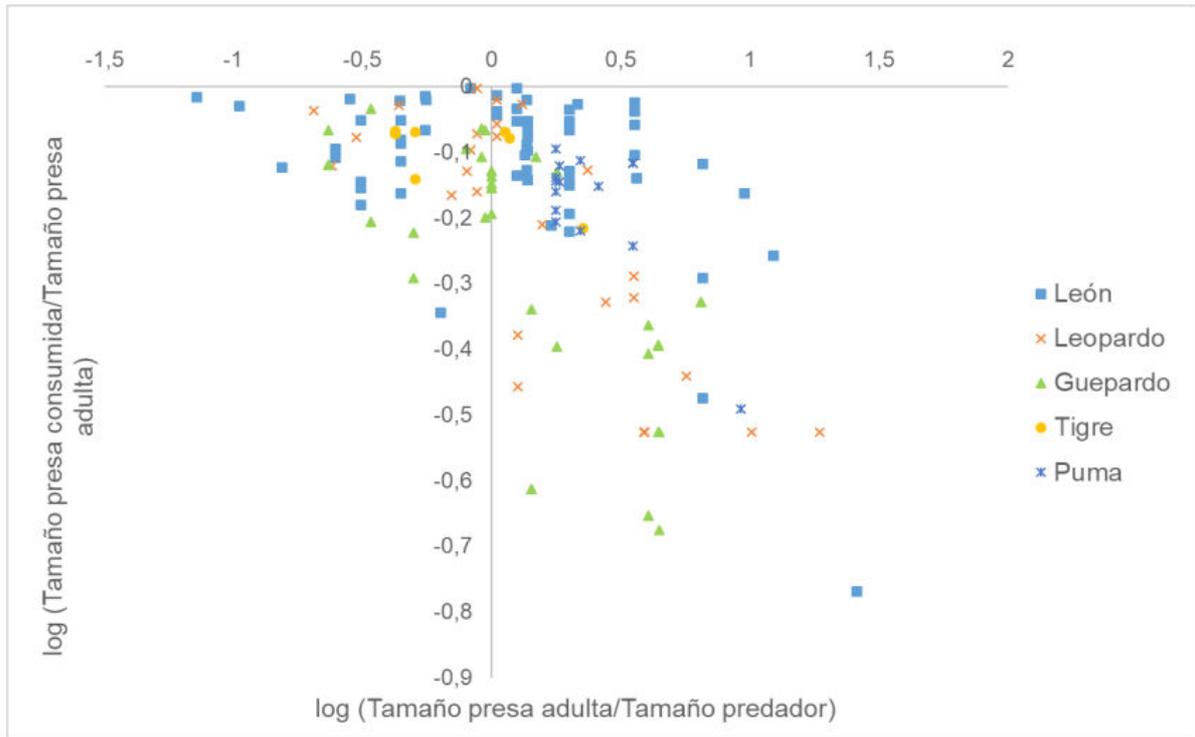
El tamaño medio de presa consumida respecto al de la presa adulta frente al tamaño del predador (Figura 2) mostró que a medida que el tamaño del predador aumentaba, la relación tamaño de presa consumida/tamaño de presa adulta también aumentaba, es decir, los predadores más grandes cazan individuos de un peso muy cercano al del adulto para cada especie de presa. Esto implica una selección de presas dado que consumo de juveniles aumenta a medida que las presas aumentan de tamaño.

Para ahondar en los resultados se analizó además cada felino por separado.

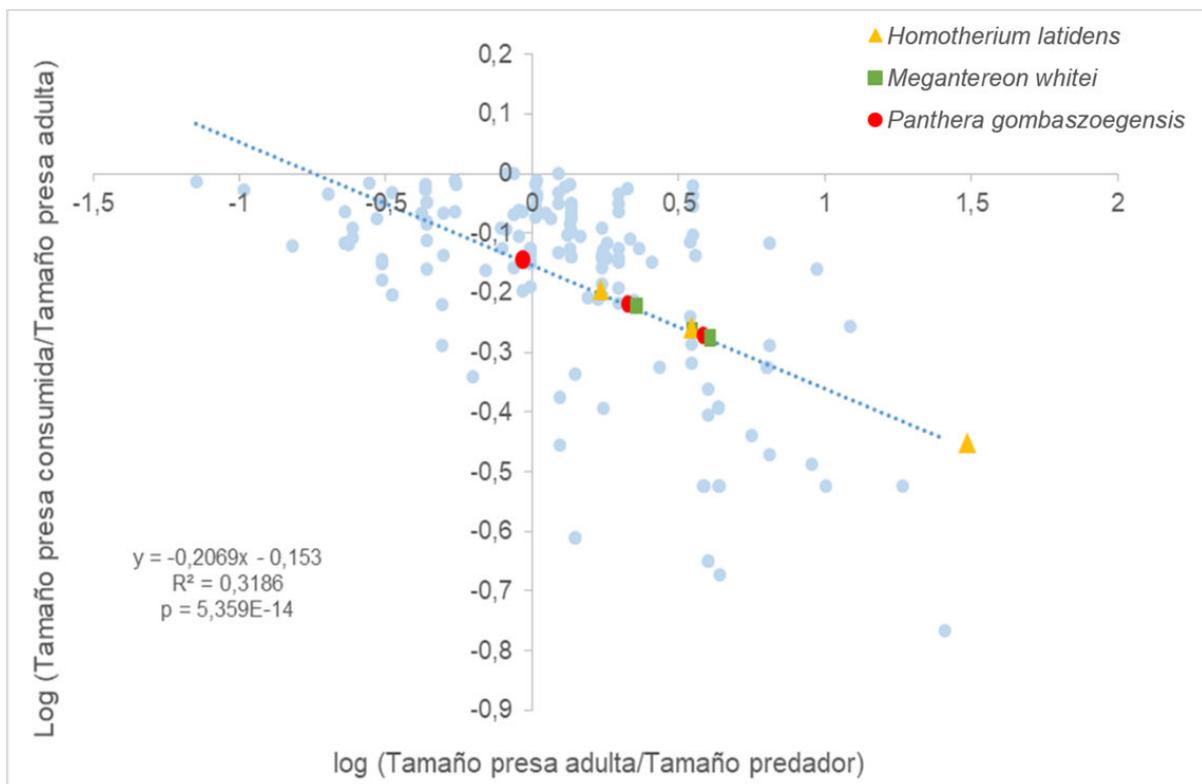
El león mostró el consumo de adultos más elevado, lo cual se puede asociar al hecho de que se trata del felino actual de mayor tamaño y a que a menudo realiza sus cacerías en grupo. Esto le permite capturar presas de tamaños muy superiores al suyo. En contraste, el leopardo, el guepardo y el puma, al ser de un tamaño más reducido, mostraron una tendencia más acusada al consumo de individuos juveniles a medida que el tamaño de la especie de presa adulta aumentaba. La caza en solitario también es un condicionante importante para estos tres felinos, así como para el tigre que, pese a ser de un tamaño cercano al del león, no mostró un rango de peso de presas tan amplio.

Para obtener una visión más global se incluyeron los cinco felinos en una misma gráfica, donde se representó el tamaño de presa consumida respecto al tamaño de la presa adulta frente al tamaño de la presa adulta respecto al del predador (Figura 3). A medida que el tamaño de la presa adulta respecto al del predador aumenta, el tamaño consumido es más reducido, es decir, los predadores se centran más en los individuos juveniles de las especies de presa de mayor tamaño.

La conclusión que se puede obtener es que el consumo de presas por parte de los felinos actuales está claramente influenciado por el tamaño corporal. Los felinos más grandes cazan un mayor número de individuos juveniles de aquellas presas de mayor tamaño ya que la probabilidad de éxito es mayor y el riesgo asociado a la captura menor. Los individuos adultos de las especies de mayor tamaño, pese a suponer un aporte de energía muy elevado, son más difíciles de abatir y pueden provocar heridas graves al predador, por lo que su caza no resulta rentable.



**Figura 3.** Tamaño del individuo consumido respecto al tamaño del individuo adulto para cada presa, frente al tamaño de la presa adulta respecto al tamaño del predador. Cada predador se identificó por un marcador distinto. Nótese que el valor 0 en el eje de abscisas indica que el predador es de igual tamaño que la presa.



**Figura 4.** Tamaño del individuo consumido respecto al tamaño del individuo adulto para cada presa, frente al tamaño de la presa adulta respecto al tamaño del predador. Los datos de tamaño de la presa adulta respecto al tamaño del predador para los tres felinos extintos se señalaron con marcadores diferenciados. Para cada hipercarnívoro se analizaron tres presas potenciales.

### Aplicación al registro fósil

Los resultados obtenidos se emplearon para el estudio de las comunidades fósiles de Venta Micena, Orce. Para ello, se realizó una búsqueda bibliográfica sobre los grandes felinos existentes en esta comunidad. Se recopilaron datos de tamaño corporal de tres hipercarnívoros extintos: dos tigres dientes de sable, *Homotherium latidens* y *Megantereon whitei*, y el jaguar europeo, *Panthera gombaszoegensis*, así como el tamaño corporal de tres de sus presas potencialmente más consumidas según análisis biogeoquímicos<sup>[3]</sup>. Dichos datos se incorporaron a los resultados obtenidos para los felinos actuales, con el fin

de obtener un peso de presa consumido aproximado para cada hipercarnívoro (Figura 4).

*H. latidens* mostró el rango más amplio de tamaño de presa, llegando a capturar al antecesor del mamut lanudo, *Mammuthus meridionalis*, aunque se concentraría en los juveniles de esta especie, siendo el tamaño medio de presa consumida de casi la mitad del peso de un adulto (Tabla 1). *M. whitei* y *P. gombaszoegensis* por su parte cazarían presas más pequeñas, aunque los tamaños consumidos serían cercanos al de la presa adulta. Esto apunta a una especialización hacia presas de gran tamaño.

Predador	Presas más probables	Tamaño corporal de la presa adulta (kg)	Tamaño corporal de la presa realmente consumida (kg)
<i>Homotherium latidens</i>	<i>Bison sp.</i>	700(4)	530
	<i>Equus altidens</i>	350(1)	290
	<i>Mammuthus meridionalis</i>	6000(1)	3800
<i>Megantereon whitei</i>	<i>Equus altidens</i>	350(1)	270
	<i>Praemegaceros verticornis</i>	400(2)	300
	<i>Soergelia minor</i>	225(1)	180
<i>Panthera gombaszoegensis</i>	<i>Praemegaceros verticornis</i>	400(2)	300
	<i>Soergelia minor</i>	225(1)	180
	<i>Pseudodama sp.</i>	100(4)	90

**Tabla 1.** Tamaño aproximado de presa consumida para las tres presas potencialmente más comunes de los tres hipercarnívoros de Venta Micena en relación al peso de la presa adulta. Los tamaños corporales de las presas se obtuvieron de (8) Raia et al. (2007), (9) Palmqvist et al. (1996), (10) Croitor y Brugal (2007) y (11) Brugal y Fosse (2004)

Es importante señalar sin embargo la existencia de diferencias anatómicas entre los felinos macaerodontinos<sup>[4]</sup>, grupo al que pertenecen los dos dientes de sable analizados y los felinos actuales, lo que quizás les permitiría abatir presas de mayor porte, consecuentemente los datos de peso consumido que aportamos deben ser tomados como una aproximación.

### Referencias

<sup>1</sup>Schaller GB. *The Serengeti lion. A study of predator-prey relations* Chicago University Press, Chicago, 1972.  
<sup>2</sup>Hunter L. *The behavioural ecology of reintroduced lions and cheetahs in the Phinda Resource Reserve, KwaZulu-Natal, South Africa.* PhD. thesis University of Pretoria, South Africa, 1998.  
<sup>3</sup>Hayward MW y Kerley GIH. Prey preferences and dietary over-

lap amongst Africa's large predators. *South African Journal of Wildlife Research* 38: 93-108, 2008.  
<sup>4</sup>Gervasi V y otros. Body mass relationships affect the age structure of predation across carnivore-ungulate systems: A review and synthesis. *Mammal Review* 45: 253-266, 2015.  
<sup>5</sup>Radloff FGT y DuToit J. Large predators and their prey in a southern African savanna: a predator's size determines its prey size range. *Journal of Animal Ecology* 73: 410-42, 2004.  
<sup>6</sup>Owen-Smith N y Mills MGL. Predator-prey size relationships in an African large-mammal food web. *Journal of Animal Ecology* 77: 173-183, 2008.  
<sup>7</sup>Palmqvist P y otros. Biogeochemical and ecomorphological inferences on prey selection and resource partitioning among mammalian carnivores in an early pleistocene community. *Palaios* 23: 724-737, 2008.  
<sup>8</sup>Antón M y otros. Co-existence of scimitar-toothed cats, lions and hominins in the European Pleistocene. Implications of the post-

cranial anatomy of *Homotherium latidens* (Owen) for comparative palaeoecology. *Quaternary Science Reviews* 24: 1287-1301, 2005.

<sup>9</sup>Raia P y otros. Inconstancy in predator/prey ratios in Quaternary large mammal communities of Italy, with an appraisal of mechanisms. *Quaternary Research* 67: 255-263, 2007.

<sup>10</sup>Palmqvist P y otros. Prey selection by terrestrial carnivores in a lower Pleistocene paleocommunity. *Paleobiology* 22: 514-534,

1996.

<sup>11</sup>Croitor R y Brugal JP. New insights concerning Early Pleistocene cervids and bovids in Europe: dispersal and correlation. *CFS Courier Forschungsinstitut Senckenberg* 259: 47-59, 2007.

<sup>12</sup>Brugal JP y Fosse P. Carnivores et hommes au Quaternaire en Europe de l'Ouest. *Revue de Paléobiologie* 23: 575-595, 2004.



Recreación de la predación del felino dientes de sable *Megantereon whitei* sobre *Equus altidens*. Ilustración de Mauricio

Antón financiada con el proyecto del Ministerio de Educación y Ciencia 256545C1/CCT001-04-00242

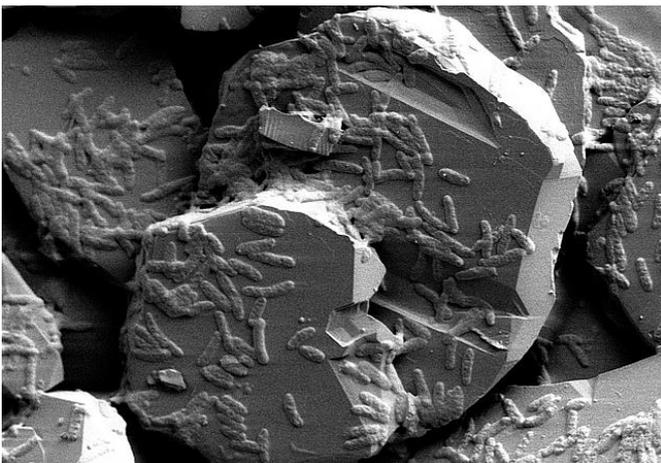
## Mujeres STEM@UMA

Aquí inauguramos esta nueva sección. Pretende ser una ventana para dar visibilidad a las mujeres investigadoras o tecnólogas de la UMA cuya labor se desarrolla en los campos llamados STEM, es decir, Ciencias, Tecnología, Ingenierías y Matemáticas. En cada número se destacará el papel de varias mujeres STEM que participen en el mismo campo de investigación. En este número presentamos a cinco mujeres que trabajan en acuicultura.



Unidad para la Igualdad  
entre mujeres y hombres

### Acuicultura



Células de *Shewanella putrefaciens* CN32 sobre partículas de hematita. Imagen obtenida mediante microscopía electrónica de barrido por investigadores del Departamento de Energía (EMSL). *Shewanella* es un género que incluye bacterias gram negativas, anaerobias facultativas, marinas, capaces de utilizar el hierro y el manganeso como aceptor final de electrones. Además, *S. putrefaciens* puede producir trimetilamina, compuesto responsable del olor característico que se asocia al pescado en descomposición. <https://www.flickr.com/photos/emsl/4584517878>

#### Dra. M<sup>a</sup> Carmen Balebona Accino

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

Área de Microbiología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga - Probióticos y vacunas de peces

Se doctoró por la Universidad de Málaga en 1994. En su tesis doctoral comenzó a estudiar cuáles era las principales bacterias responsables de infecciones en peces cultivados en el sur de la Península. Posteriormente, su trabajo en el centro de investigación marina de Aberdeen, dependiente del Ministerio de Agricultura y Acuicultura de Reino Unido se centró en *Photobacterium damsela* subsp. piscicida, una bacteria patógena

de relevancia en la acuicultura marina y que infecta a peces como la dorada o el lenguado. Actualmente es Profesora Titular del área de Microbiología, donde realiza tareas de docencia e investigación. Hasta el momento ha publicado numerosos trabajos en revistas científicas y dirigido cinco tesis doctorales relacionadas con las bacterias patógenas de peces cultivados. La línea de investigación en la que trabaja en la actualidad tiene como objetivo el desarrollo de medidas de prevención y tratamiento de las enfermedades infecciosas de los peces basadas en el empleo de probióticos y vacunas.



#### Dra. Silvana Teresa Tapia Paniagua

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

Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga - Probióticos y dietas funcionales en acuicultura

En 2015 obtuvo el doctorado en Microbiología por la Universidad de Málaga (premiada por el grupo de la Sociedad Española de Microbiología, grupo del medio acuático; y el premio a la mejor tesis doctoral por la Facultad de Ciencias en el curso académico 2015/2016). Actualmente trabaja en la Universidad de Málaga como investigadora en el grupo de investigación "Biocontrol y prevención de enfermedades en acuicultura", dentro del grupo PAIDI "Fotobiología y Biotecnología de Organismos Acuáticos", grupo al que pertenece desde el 2007. La línea de investigación principal en la que trabaja activamente se basa en el estudio y caracterización molecular de bacterias probióticas y su aplicación en acuicultura. Este conocimiento servirá para la prevención de enfermedades y mejorar el desarrollo de organismos piscícolas de importancia comercial, con el fin de mejorar la producción acuícola.

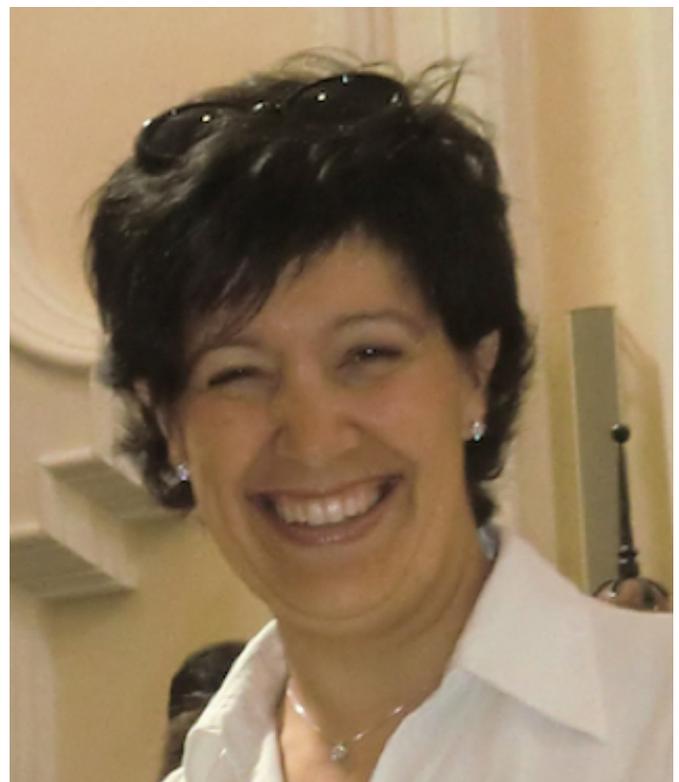


**Dra. Esther García Rosado**

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

*Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga - Virus patógenos de peces*

Se doctoró en 2000 por la Universidad de Málaga (UMA). Adquiriendo una amplia experiencia en el campo de las patologías víricas de peces, concretamente en el desarrollo de metodologías, tanto inmunológicas como moleculares, para la detección de patógenos víricos. Durante su estancia post-doctoral en "The Norwegian School of Veterinary Science", Oslo, 2002-2004, continuó su experiencia investigadora en el estudio de las interacciones entre el sistema inmune innato de peces e infecciones víricas. Dicha estancia fue subvencionada por una beca Marie Curie de la Unión Europea. Tras su reincorporación a la UMA, ha contribuido con su experiencia en la ejecución y dirección de diferentes proyectos de investigación, que forman parte de una línea de investigación basada en el estudio de la implicación del sistema inmune innato en el desarrollo de infecciones víricas en peces, fundamentalmente lubina, dorada y lenguado. El objetivo final de estos estudios es el conocimiento en profundidad del sistema inmune de peces, así como los mecanismos de evasión virales, con el fin de desarrollar vacunas efectivas frente a dichas infecciones. Desde 2012 es Profesora Titular de Universidad del Departamento de Microbiología donde compagina su actividad docente en la UMA, así como una labor de formación de estudiantes de doctorado.

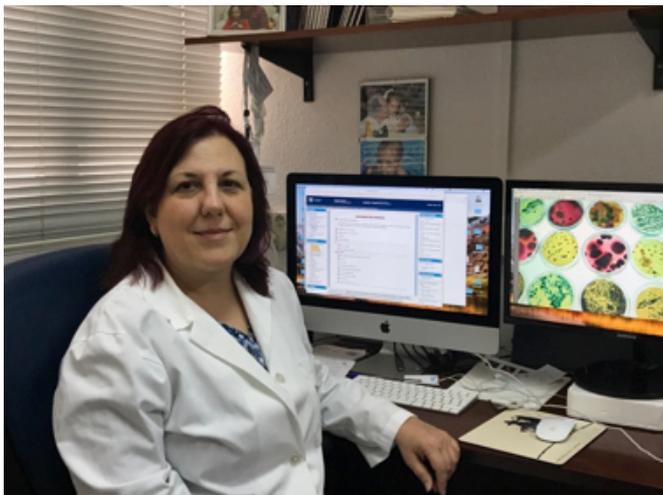


**Dra. Julia Béjar Alvarado**

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

*Área de Genética. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga - Inmunología de peces*

En el año 2000 se doctoró en Biología por la Universidad de Málaga (UMA). Después realizó una estancia postdoctoral en la Universidad de Würzburg, Alemania, hasta que a finales de 2003 se reincorporó a la UMA gracias al Programa de Reincorporación de Doctores de la Junta de Andalucía. Su trabajo siempre ha estado relacionado con el mundo de los peces. Ha trabajado tanto en especies modelo, como el pez cebrá o el pez medaka, durante su estancia postdoctoral, como en especies cultivadas, como la dorada, la lubina o el lenguado, en su trabajo en la Universidad de Málaga. El objetivo de su línea de investigación es comprender la interacción entre los virus patógenos de peces cultivados y el sistema inmune natural de estas especies. Este conocimiento servirá para desarrollar estrategias de mejora de la resistencia de los peces a las enfermedades virales en Acuicultura. Es miembro del comité editorial de la revista científica internacional *Genomics*. Desde 2012 es Profesora Titular del Área de Genética de la UMA donde compagina docencia e investigación.



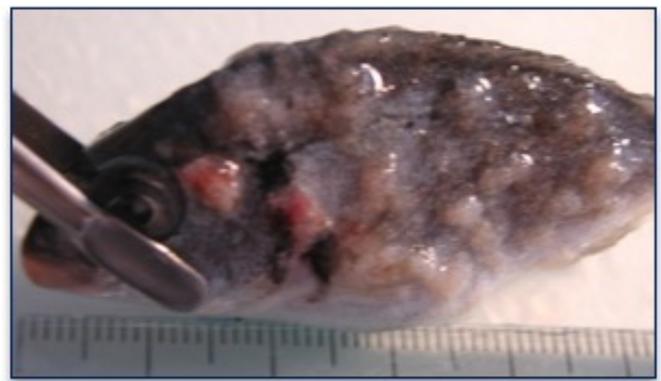
**Dra. Dolores Castro López**

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

*Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga - Patología de especies acuícolas cultivadas*

Doctora en Ciencias por la Universidad de Málaga (1994) y Profesora Titular de dicha Universidad desde 1999. Compatibiliza sus actividades docentes y de gestión con su labor investigadora como miembro del grupo de Investigación del Plan Andaluz de Investigación Desarrollo e Innovación (PAIDI, RNM112) "Patología, Genética y Biotecnología de especies acuícolas cultivadas", al que pertenece desde su creación en 1990. Durante su estancia postdoctoral en la Universidad de Glasgow (1995), comenzó el estudio de factores de virulencia bac-

terianos, que continuó a su vuelta a la Universidad de Málaga, estudiando patógenos bacterianos que afectan a moluscos y peces cultivados. Posteriormente participó en la puesta en marcha de una nueva línea de investigación sobre patologías de origen vírico en peces marinos, centrándose en el estudio de las infecciones producidas por diversos virus que afectan a dorada, lubina y lenguado. En esta línea de investigación se ha analizado la patogénesis y mecanismos de transmisión de los virus, evaluándose también la respuesta del sistema inmune de los animales frente a dichas infecciones. Este conocimiento se está aplicando al diseño de vacunas DNA que permitan proteger a los peces frente a infecciones víricas.



Ejemplar de dorada (*Sparus aurata*) infectado con un virus de DNA perteneciente a la familia Iridoviridae, el virus de la enfermedad de linfocistis (LCDV). Esta enfermedad infecciosa, que afecta a más de 150 especies de peces marinos y continentales, se caracteriza por la aparición de lesiones papilomatosas en la piel de los animales afectados que normalmente se resuelven con el tiempo. Tesis de Irene Cano año 2004 UMA

**Dra. M<sup>a</sup> Carmen Alonso Sánchez**

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

*Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga - Patología de especies acuícolas cultivadas*

M<sup>a</sup> Carmen Alonso Sánchez es Profesora Titular del departamento de Microbiología de la Universidad de Málaga, donde se doctoró en 1997. Aunque su trabajo doctoral versó sobre diversos aspectos de la Ecología Microbiana en el medio marino, en su etapa post-doctoral se especializó en el estudio de patologías víricas que afectan a especies piscícolas cultivadas. Sus primeros trabajos post-doctorales se centraron en el desarrollo y evaluación de técnicas inmunológicas y moleculares para el diagnóstico de dichas patologías. Posteriormente adquirió amplia experiencia en el estudio de patogénesis víricas en el laboratorio CEFAS, en Weymouth (centro de referencia de patologías de peces en el Reino Unido), en el que realizó dos estancias. Sus trabajos de investigación más recientes están relacionados con el sistema

inmune antivírico de las principales especies de peces cultivados en nuestra zona (dorada, lubina y lenguado), habiendo formado parte de proyectos de subvención pública relacionados con este tema. Simultáneamente lleva a cabo una diversa actividad docente y de formación de estudiantes de doctorado en la Universidad de Málaga.



**Dra. Mª Carmen Álvarez Herrero**

*Catedrática jubilada de Genética. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga - Genética y Biotecnología de peces aplicadas a la Acuicultura*

Tras realizar su tesis doctoral en el CSIC (Madrid) en 1974, se incorpora a la recién creada Universidad de Málaga, donde inicia en 1972 la docencia de la Genética. Crea en 1980 el grupo de investigación Genética de especies piscícolas marinas, posteriormente denominado Genética y Biotecnología de peces aplicadas a la Acuicultura, grupo que ha liderado hasta su jubilación en 2016. Inicialmente, el grupo centró su actividad en la caracterización genética de poblaciones de especies piscícolas mediterráneas, mediante técnicas de Citogenética y marcadores genéticos moleculares. El grupo fue incorporando nuevas estrategias, encaminadas a mejorar la producción de especies piscícolas cultivables en Andalucía. Como consecuencia, surgieron las líneas de investigación: i) Desarrollo de marcadores y herramientas genéticas moleculares ii) Transgenia mediante los sistemas de transposición SB/ST, FP y Toll2; iii) Inmunogenes: Caracterización genética, estructural y funcional. Se la puede considerar pionera en la incorporación de la Genética a la Acuicultura en el momento de su nacimiento en España, en la década de los 80, con una visión premonitoria de la importancia que la disciplina de Genética iría adquiriendo con el paso de los años. En su fase de jubilada, está orgullosa de haber contado en este largo recorrido, con un equipo de investigación de jóvenes entusiastas y honrados, que han hecho posible dignas aportaciones científicas al mundo de la Acuicultura. Desde aquí, ¡GRACIAS!

## PHOTOBACTERIUM: UN SIMBIONTE PECULIAR

PHOTOBACTERIUM: A PECULIAR SYMBIONT

por ALEJANDRO LABELLA Y JUAN J. BORREGO

DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA - FACULTAD DE CIENCIAS - MÁLAGA (ESPAÑA)

AMLABELLA@UMA.ES

Palabras clave: *Photobacterium*, simbiosis, fotóforos, bioluminiscencia

Keywords: *Photobacterium*, symbiosis, photophores, bioluminescence

Enviado: 5 julio 2018

Aceptado: 20 julio 2018

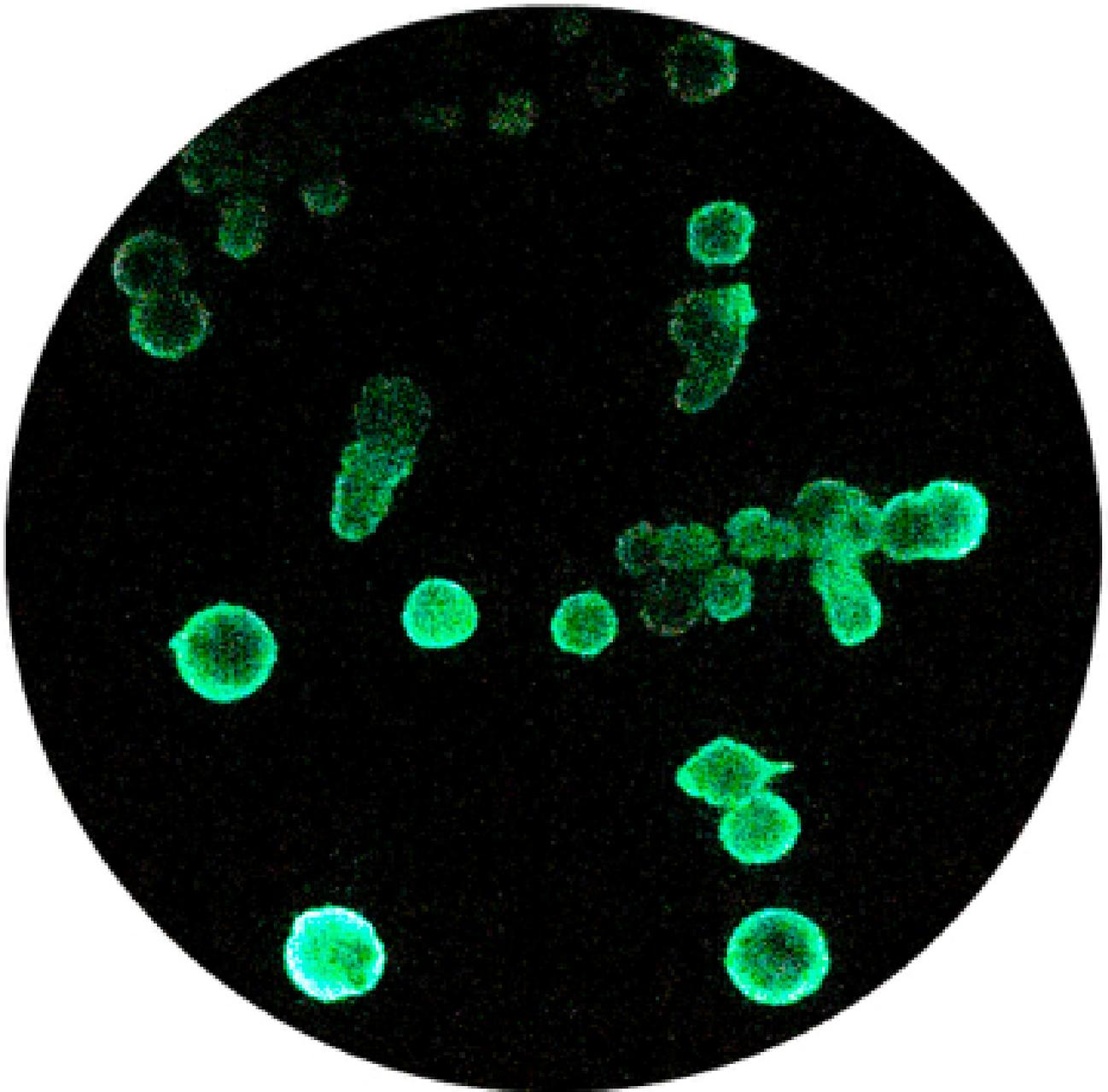
El género *Photobacterium* incluye diferentes especies capaces de producir bioluminiscencia. Algunos representantes de este género establecen una relación simbiótica con animales marinos en unos órganos especializados denominados fotóforos. Sin embargo, la simbiosis bioluminiscente de fotobacterias parece representar un paradigma de simbiosis que difiere significativamente de las asociaciones realizadas por simbioses obligados y que se transmite verticalmente. Por tanto, las fotobacterias luminiscentes parecen ser colonizadores oportunistas, capaces de persistir en los fotóforos como también en otros hábitats en los que estén adaptados.

*Photobacterium* genus includes several species characterized by the ability to produce bioluminescence. Some of these species establish a symbiotic relationship with several marine organisms in specialized organs named photophores. However, bioluminescent symbiosis of photobacteria appears to represent a paradigm of symbiosis that differs fundamentally from associations involving obligate, intracellularly transferred symbionts. Therefore, luminous bacteria seem to be opportunistic colonizers, able to persist in animal light-organs as well as in a variety of other habitats to which they are adapted.

*Photobacterium* (del griego Photo: luz y Bakterion: bacilo corto) significa bacteria productora de luz. La capacidad de ciertas bacterias para producir luz fue reconocida por primera vez hace 130 años por el microbiólogo holandés Beijerinck, quien agrupó todas las bacterias luminiscentes en el género *Photobacterium*. Las especies de este género que poseen cepas bioluminiscentes pertenecen a *P. angustum*, *P. aquimaris*, *P. damsela*, *P. ganghwense*, *P. kishitanii*, *P. leiognathi*, *P. phosphoreum* y *P. piscicola*. De ellas, *P. kishitanii* y *P. leiognathi* establecen simbiosis bioluminiscentes con peces y moluscos marinos. Estas asociaciones son típicamente específicas tanto a nivel de familia del animal como de la especie bacteriana: *P. leiognathi* se asocia con las familias de peces Leiognathidae, Acropomatidae y Apogonidae (Perciformes), y con Moridae (Gadiformes); mientras que *P. kishitanii* lo hace con las familias piscícolas Chlorophtslmidae (Acilopiformes), Macrouridae, Sleindachneriidae y Moridae (Gadiformes), Trachichthyidae (Beryciformes), Opisthoprectidae (Gemeriformes) y Acropomatidae (Perciformes). Los animales acumulan grandes poblaciones de bacterias luminiscentes en unos tejidos complejos glandulares denominados fotóforos, proporcionándoles nutrientes y oxígeno para su crecimiento y producción de luz. La luminiscencia bacteriana es utilizada por los animales simbióticos para diferentes funciones: señalización sexual, evitar depredación, localización y atracción de presas, por comentar algunas. La bacteria simbiote no tiene una dependencia

obligatoria del hospedador para su división, pero parece que existe cierta especificidad con su hospedador. Los animales que establecen una asociación con *P. leiognathi* como simbiote de los fotóforos suelen encontrarse en aguas superficiales, mientras que los peces que la establecen con *P. kishitanii* presentan un hábitat de aguas más profundas. Esta aparente especificidad, que posiblemente tenga una base genética, se piensa que es el resultado de un proceso de selección bacteriana por parte del pez o molusco, y además los animales poseen mecanismos que previenen la colonización de sus fotóforos por otras especies bacterianas. Se ha propuesto que la simbiosis bioluminiscente pueda implicar interacciones co-evolutivas, debido a la dependencia de la luminiscencia bacteriana del animal, la especialización anatómica del fotóforo para acumular bacterias, y a la especificidad de hospedación de la bacteria. Aunque aparentemente las asociaciones bioluminiscentes parecen ser muy específicas, en algunos casos pueden estar presentes en los fotóforos individuales dos especies diferentes de *Photobacterium*, representando un fenómeno denominado co-simbiosis. Además, diferentes especies de la misma familia piscícola a veces portan diferentes especies de *Photobacterium* o incluso otras bacterias de diferentes géneros, como *Aliivibrio* o *Vibrio*. Curiosamente, cepas diferentes de una misma especie bacteriana pueden detectarse en los fotóforos tanto en los peces adultos como en sus larvas. Esta variación a nivel de especie y cepa demuestra la carencia de una

estricta especificidad en la simbiosis bioluminiscente. La simbiosis bioluminiscente de peces y moluscos con bacterias luminiscentes aparentemente no presenta co-divergencia (coespecialización), ya que las filogenias del hospedador y del simbiote no poseen congruencia topológica. Los modelos de simbiosis bioluminiscentes observados en la naturaleza parecen que no surgen de interacciones coevolutivas. Sin embargo, la ausencia de bacterias no-luminiscentes en los fotóforos de los peces y moluscos indica que alguna clase de selección debe existir, como por ejemplo congruencia en el mismo hábitat. La congruencia entre la distribución medioambiental de una especie predominante de bacteria luminiscente y la etapa de desarrollo en la que es receptivo el fotóforo para la colonización bacteriana, determina a la postre las especies y cepas que establecen la simbiosis. Algunos factores medioambientales, como la temperatura, influyen en la abundancia de las diferentes especies de bacterias luminiscentes en el medio marino. Las bajas temperaturas de las aguas abisales favorecen la prevalencia de especies psicrófilas como *P. kishitani*, que es el principal simbiote en estas aguas. Por el contrario, aguas más templadas favorecen el crecimiento de las especies mesófilas de *Photobacterium*, como es el caso de *P. leiognathi*, siendo las larvas de peces más receptivas a recibir esta especie en sus fotóforos. La simbiosis bioluminiscente difiere completamente de otras asociaciones endosimbióticas, en las que existen relaciones mutualistas obligadas que hacen que la bacteria viva intracelularmente y se transmita verticalmente. Las bacterias luminiscentes se encuentran en una localización extracelular, y en la mayoría de los casos no tienen dependencia del hospedador para su división celular. A diferencia de una bacteria intracelular obligada, las bacterias simbióticas luminiscentes colonizan una gran variedad de otros hábitats marinos, tales como los tractos intestinales, piel y fluidos corporales de los animales, los sedimentos y el agua de mar. En estos hábitats estas bacterias coexisten y compiten con otras muchas clases de microorganismos. Una segunda e importante diferencia con las asociaciones endosimbióticas es que las bacterias luminiscentes simbióticas son captadas del medio ambiente en cada nueva generación de hospedador, en vez de ser transferidas verticalmente a través de los mecanismos de reproducción de peces y moluscos. A diferencia de la endosimbiosis, la asociación establecida entre fotobacterias y animales acuáticos en los fotóforos, no presenta evidencias de estar basada en una co-especialización. Se asume que la endosimbiosis implica interacciones co-evolutivas, es decir, cambios genéticos recíprocos en el hospedador y en el simbiote que resulta de la dependencia mutua y obligada de ambos organismos. Las filogenias de peces y moluscos son muy diferentes de las de sus bacterias simbióticas en sus fotóforos. Esta falta de relación filogenética demuestra que la divergencia evolutiva de las bacterias luminiscentes ocurre independientemente de la divergencia evolutiva de sus animales hospedadores. La simbiosis bioluminiscente parece representar un paradigma de simbiosis que difiere fundamentalmente de asociaciones producidas por simbioses obligadas transferidos intracelularmente. Mientras que los peces y moluscos son ecológicamente dependientes de las bacterias luminiscentes, estos microorganismos no dependen obligadamente de su hospedador. Las adaptaciones evolutivas para la simbiosis bioluminiscente, por ejemplo presencia de fotóforo, tejidos accesorios para el control, difusión y forma de emisión de la luz, y comportamiento asociado con la emisión de luz, son todos propios del animal. No se ha identificado ninguna adaptación genética en las bacterias que sean necesarias y específicas para los fotóforos en comparación con las cepas de estas bacterias que colonizan otros hábitats. Por tanto, las bacterias luminiscentes parecen ser colonizadores oportunistas, capaces de persistir en los fotóforos de animales marinos. Otro aspecto sin resolver es respecto al beneficio de la luminiscencia para las fotobacterias no-simbióticas. Para esta cuestión, aún no resuelta, se han planteado diversas hipótesis. Una de las más aceptadas es que la bioluminiscencia aumenta la diseminación y transmisión de las bacterias al atraer a peces y otros animales marinos para el consumo de material luminoso. Esta hipótesis se basa en la mayor prevalencia de las bacterias luminiscentes en el tracto intestinal de peces, aunque no se ha corroborado en base a los datos experimentales obtenidos. Se ha establecido que el zooplancton que contacta y se alimenta de *P. leiognathi* comienza a brillar, y los individuos brillantes son más vulnerables a la depredación en la oscuridad por peces. Las fotobacterias consumidas por los animales marinos (peces y zooplancton), si superan la degradación por la digestión, consiguen medios eficientes para su crecimiento y diseminación. En conclusión, la presencia de la bioluminiscencia parece ser una propiedad muy beneficiosa para las bacterias marinas, especialmente en áreas oligotróficas de zonas abisales oceánicas.



Fotografía de colonias bioluminiscentes de *P. aquimaris*. LMG 26951 Foto cedida por Pedro A. Pérez-Ferrer, Depto. Microbiología, UMA

## Jóvenes científicos

Hola, soy Víctor Zofío Ruiz y acabo de empezar a cursar el Grado de Biología. Decidí comenzar esta aventura por el hecho de que desde niño he sentido una curiosidad inmensa por lo que me rodea, su funcionamiento, como se organiza y, sobre todo, porque siempre he querido contribuir a entender nuestra evolución, poder poner ese grano de arena a partir del cual otros puedan conseguir grandes cosas. Es cierto que aún no he estudiado lo suficiente como para que me atraiga una disciplina concreta, pero desde siempre me ha interesado la Genética, poder estudiar la base de la vida que, en definitiva, nos hace ser como somos. Es por esto que en el momento que se me dio la oportunidad de entrevistar a Alba Moreno, doctoranda del Área de Genética de la Universidad de Málaga, no lo dudé un segundo pues era la oportunidad de acercarme a ese mundo que siempre me ha interesado y del cual aún me queda mucho por aprender.



VÍCTOR ZOFÍO RUIZ

Alba Moreno Pérez doctoranda en el Área de Genética de la UMA está investigando sobre el papel del sistema de secreción tipo III y el regulón HrpL en la especificidad de huésped en la bacteria fitopatogena *Pseudomonas savastanoi*. Alba es licenciada en Biología por la Universidad de Málaga en 2014 y Máster en Biotecnología Avanzada en 2015. Ha participado en varias publicaciones como "Knots Untie: Molecular Determinants Involved in Knot Formation Induced by *Pseudomonas savastanoi* in Woody Hosts" (2017), Caballo-Ponce E, Murillo J, Martínez-Gil M, Moreno-Pérez A, Pintado A, Ramos C.; "Suppression of Plant Immune Responses by the *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* NCPPB 3335 Type III Effector Tyrosine Phosphatases HopAO1 and HopAO2" (2017), Castañeda-Ojeda MP, Moreno-Pérez A, Ramos C, López-Solanilla E. y "New insights into the role of indole-3-acetic acid in the virulence of *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*" (2014), Aragón IM, Pérez-Martínez I, Moreno-Pérez A, Cerezo M, Ramos C.

**VZR:** Hola, buenas tardes Alba, gracias por atenderme. Bueno primero cuéntanos un poco sobre tu grupo de investigación.

**AMP:** Hola, no hay de qué. Bueno para empezar trabajamos con la especie *Pseudomonas savastanoi*, que se engloba dentro del complejo *Pseudomonas syringae*, el cual está constituido por un conjunto de bacterias Gram (-) patógenas de plantas de alto interés agrícola y económico. Dentro de *P. savastanoi* hay descritos 4 patovares que causan enfermedad en plantas leñosas, estos son: pv. *savastanoi* aislado del olivo, pv. *nerii* aislado de la adelfa, pv. *fraxini* aislado del fresno y pv. *retacarpa* aislado de la retama. La sintomatología característica producida por esta bacteria es la aparición de tumores o excrecencias en las partes aéreas de la planta. Los patógenos de plantas leñosas, como *P. savastanoi*, han sido mucho menos estudiados a lo largo del tiempo que los patógenos de plantas herbáceas por las limitaciones que presenta un modelo leñoso.

**VZR:** Dentro de todo este amplio campo ¿tú en que te especializas?

**AMP:** Yo exactamente me especializo en el sistema de secreción tipo III, el cual constituye una jeringa molecular que permite a la bacteria translocar proteínas, denominadas efectores, desde el citoplasma bacteriano al citoplasma de la célula vegetal. Estas proteínas van a cambiar la fisiología de la célula vegetal en base a las necesidades del patógeno y van a interactuar con el sistema de defensa de la planta, impidiendo que este patógeno sea reconocido.

**VZR:** ¿Por lo que has dicho conocer el repertorio de efectores de una bacteria patógena es importante ¿no?

**AMP:** Sí, por supuesto. Se ha descrito que el sistema de secreción tipo III y su repertorio de efectores constituye uno de los factores de patogenicidad más relevantes de las bacterias patógenas, y también de *P. savastanoi*. De hecho, en trabajos previos de nuestro grupo de investigación se ha observado que mutantes de *P. savastanoi* pv. *savastanoi* afectados en el sistema de secreción tipo III pierden la capacidad de formar tumores en plantas de olivo adultas, debido a que no pueden translocar efectores al citoplasma de la célula vegetal. La translo-

cación de efectores es muy importante, pues entre las funciones de estas proteínas, destaca la interferencia con el sistema de defensa de la planta, impidiendo que el patógeno sea reconocido y permitiendo el desarrollo de la infección en aquellos huéspedes sensibles. Por otro lado, estos efectores son reconocidos por el sistema de defensa en huéspedes resistentes y en lugar de producirse la infección se desencadena la denominada respuesta de hipersensibilidad. Por tanto, conocer el mecanismo de acción de estos efectores es esencial para poder entender el proceso de patogénesis ya que juegan un papel muy importante en la interacción patógeno-huésped.



Alba Moreno Pérez en el Área de Genética realizando investigaciones sobre genes implicados en la virulencia de bacterias patógenas de plantas del complejo *Pseudomonas syringae*. El objetivo de su trabajo es investigar el papel del sistema de secreción tipo III y el regulón HrpL en la especificidad de huésped en la bacteria fitopatógena *Pseudomonas savastanoi*. El trabajo de Alba Moreno Pérez se realiza bajo la supervisión del Catedrático de Genética Cayo Ramos Rodríguez. Créditos de la

fotografía: Juan Miguel Pérez Ramos <http://www.jmiguelperez.com>

**VZR:** Antes has dicho que vuestro modelo, al ser de plantas leñosas, tiene limitaciones. ¿Eso os hace ir más

lento? ¿Habéis conseguido resultados?

**AMP:** Si bueno, es verdad que tenemos un poco de limitaciones. Pero en nuestro grupo de investigación se ha puesto a punto un sistema de olivo *in vitro*, para poder trabajar y realizar ensayos muchos más cortos que con plantas de olivo adultas. Y sí, claro que hemos obtenido resultados, hay numerosas publicaciones de nuestro grupo de investigación gracias a las cuales hoy día los factores de virulencia de *P. savastanoi* están mucho más caracterizados. También por mi parte estoy empezando a tener resultados, aunque es cierto que me queda aún mucho trabajo por hacer. Estoy en mi segundo año de tesis y todo lo que he hecho hasta ahora es afianzar la base de mi proyecto con los resultados obtenidos en los análisis bioinformáticos de las secuencias genómicas de las cepas de *P. savastanoi*. Esto me ha permitido llevar a cabo una selección de genes que pueden estar implicados en el rango de huésped y que actualmente estoy estudiando en mayor profundidad.

**VZR:** El director de tu tesis doctoral es Cayo Ramos Rodríguez ¿cómo es trabajar con él? y ¿cómo se desenvuelve tu equipo en el laboratorio?

**AMP:** He tenido mucha suerte de estar en este grupo de investigación, Cayo Ramos es un director muy exigente que se preocupa mucho porque sus doctorandos hagan un buen trabajo y tengan una muy buena formación científica. Además, es una persona muy resolutiva, cuando tienes un problema y no sabes cómo seguir, te reúnes con él y no solo sales de su despacho con todas las dudas solucionadas sino que sales con 20 experimentos que hacer y que pueden solucionar todos tus problemas. Con respecto al grupo de investigación, he tenido también mucha suerte, hay muy buen ambiente, todos nos apoyamos y ayudamos los unos a los otros, algo que es muy importante para poder superar los altibajos que conlleva una tesis doctoral.

**VZR:** Muchísimas gracias por concederme esta entrevista Alba, pero antes de irnos ¿un consejo para nuestros futuros investigadores?

**AMP:** Sí, como no. Ante todo, que no tengan prisas de elegir una rama de investigación, primero hay que preocuparse de acabar la carrera y de tener un buen expediente, este será su carta de presentación al mundo real. Que no tengan miedo de conocer, que amplíen la visión y busquen entre todo el amplio abanico que les ofrece la universidad para poder elegir bien, y si encuentran ese algo que de verdad les fascine que vayan a por ello con todo, sacando buenas notas en las asignaturas relacionadas y mostrando mucho interés. También es verdad que la vida de investigador es muy sacrificada y que vas a tener tus más y tus menos, pero si de verdad es lo que te gusta lo disfrutarás. Como dicen, ningún camino fácil te llevará a algún lugar que merezca la pena.

---

**VZR:** Muchas gracias por tu simpatía y por atenderme Alba, ha sido una experiencia muy gratificante tener el placer de entrevistarte. Espero que de verdad todo el esfuerzo y empeño que estás empleando en tu investigación de sus frutos lo más pronto posible. Mucha suerte en tu actual y futuros proyectos.

---

---

## ¿HAY MÚSICA EN EL CANTO DE LAS AVES?

*MUSIC IN THE BIRD SINGING?*

por RAMÓN MUÑOZ CHÁPULI

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA ANIMAL - FACULTAD DE CIENCIAS - MÁLAGA (ESPAÑA)

CHAPULI@UMA.ES

*Palabras clave: canto de las aves, música, armonía, melodía**Keywords: bird songs, music, harmony, melody*

Enviado: 5 julio 2018

Aceptado: 20 julio 2018

La música occidental está basada en unas reglas armónicas que tienen su origen en la Grecia clásica y que a partir de la Edad Media dieron lugar a las composiciones polifónicas. Las aves se comunican entre sí a través de sonidos que pueden ser muy sofisticados y agradables al oído humano. De hecho en muchas composiciones clásicas se utilizan motivos musicales del canto de las aves. En este artículo revisamos las relaciones entre el canto de las aves y las reglas de melodía, ritmo y armonía que definen a la música.

*Western music is based on harmonic rules that were first defined in the ancient Greece. These rules gave rise to western poliphonic music by the Middle Ages. Birds communicate through sounds that can be very sophisticated and pleasant for human ear. In fact, musical motifs taken from bird songs are used in many classical pieces. In this article, we review the relationships between bird songs and the rules of melody, rythm and armony defining music.*

A la pregunta del título la mayor parte de los encuestados respondería que sí, sin dudar. De hecho, el canto de muchas aves encaja sin discusión con una de las acepciones que da para «música» el Diccionario de la Lengua Española: «Sucesión de sonidos modulados para recrear el oído». Pero el mismo diccionario nos da otra acepción, mucho más específica. Música es «melodía, ritmo y armonía, combinados». Por tanto, se impone, para responder con cierto rigor a esta pregunta, contemplar el canto de las aves desde la perspectiva de su melodía, ritmo y armonía.

Primero son necesarias unas nociones musicales básicas, que utilizaremos más adelante, en el terreno ornitológico. Cuando hablamos de música, normalmente nos referimos a la música occidental, cuyas bases, como las de tantas otras cosas, se establecieron en la Grecia clásica. Pitágoras observó que existía una relación entre el sonido especial producido por una cuerda tensada y el que emitía una cuerda con la misma tensión y la mitad (o el doble) de longitud. Esta relación es la que denominamos octava, y se caracteriza porque la frecuencia del sonido emitido es el doble, cuando la cuerda mide la mitad, y viceversa. En la música occidental dividimos este intervalo de octava en doce partes, separadas por intervalos que llamamos semitonos. Las notas clásicas, *do, re, mi, fa, sol, la, si*, ocupan posiciones definidas dentro de estas doce partes. A la hora de componer una melodía, podemos seleccionar un conjunto básico de notas entre las doce posibles, con lo que formamos una escala, a la que denominamos en función de la primera nota o fundamental. La más clásica es la diatónica,

que puede ser mayor o menor, pero también existen otras como la pentatónica, que se usa en la música de muchas culturas no europeas y en el jazz (Figura 1). Un descubrimiento fundamental en la historia de la música occidental, que se produjo en la Edad Media, es la polifonía, es decir, el hecho de que dos o más notas simultáneas podían sonar de forma agradable (consonancia), mientras que otras combinaciones resultan extrañas, chocantes o desagradables (disonancia). Por ejemplo, una fundamental y su tercera mayor (*do-mi*) o menor (*do-mi* bemol), una fundamental y su quinta (*do-sol*) o una fundamental y su octava siempre resultan agradables al oído. Cuando suenan tres notas al mismo tiempo hablamos de acorde.

Bien, con estas nociones elementales podemos volver a la pregunta inicial acerca de si las «composiciones» musicales de las aves y las de los humanos guardan alguna relación. Habría que empezar por decir que muchísimos pasajes musicales se han inspirado en el canto de los pájaros. Los favoritos de los compositores han sido el ruiseñor y el cuco, cuyos cantos aparecen en varias obras de Haendel, en la *Tercera Sinfonía* y en la *Pastoral* de Beethoven, en *Los pájaros* de Respighi (quien añade la paloma y la gallina al lote), en Liszt, Grieg, Ravel, Vivaldi, Saint-Saens y muchos más. Mucho más específico y exótico es el poema sinfónico *Uirapuru* que el músico brasileño Heitor Villa-Lobos compuso en 1917 inspirado en el canto del ave del mismo nombre, a la que nos referiremos más tarde. Pero hubo quien incluyó realmente a los ruiseñores como intérpretes o al menos acompañantes musicales. La célebre chelista Beatrice

Harrison interpretó una pieza de Antonín Dvořák en el jardín de su casa en Surrey el 19 de mayo de 1924. Varios ruiseñores acudieron atraídos por el sonido y participaron espontáneamente en el concierto. Esta fue la primera retransmisión hecha por la BBC desde un entorno exterior. Pueden escucharse fragmentos muy deteriorados de este acontecimiento histórico en la red ([https://www.youtube.com/watch?v=iOUb48W1\\_90](https://www.youtube.com/watch?v=iOUb48W1_90)). Pero no estamos hablando de las aves en la música, sino del canto de las aves y hasta qué punto puede entenderse dicho canto como ajustado a las reglas de melodía, ritmo y armonía, que, como dijimos al principio, definen a la música.

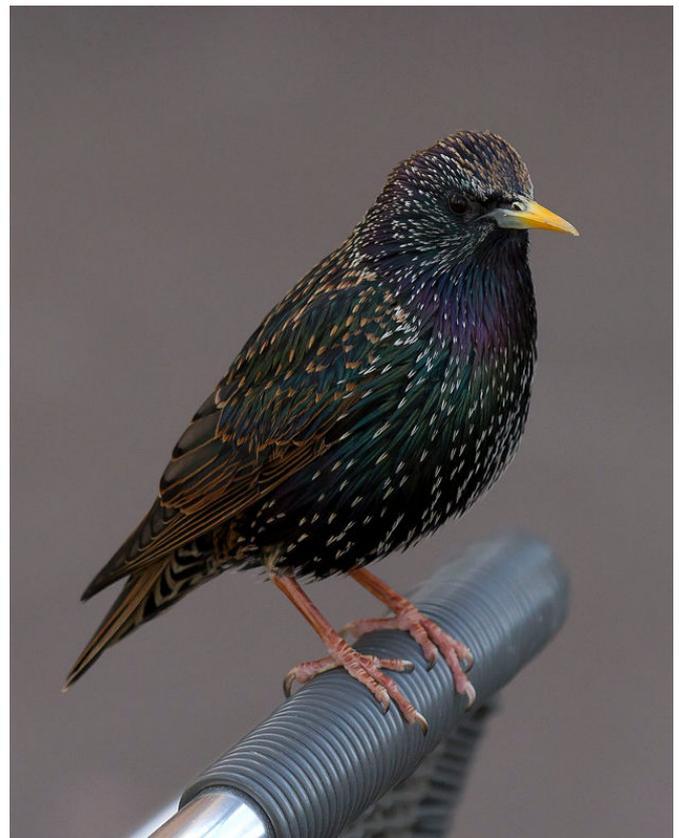


**Figura 1.** Ejemplos de escalas. Se ha tomado en los tres casos la nota *do* como fundamental. En la escala cromática se representan los 12 semitonos indicando su relación respecto a la fundamental. Esta relación se representa con un número (segunda, tercera, cuarta...) y con una letra o símbolo. M: mayor, m: menor, J: justa, +: aumentada, -: disminuida, (8): octavada (la fundamental una octava superior). La escala diatónica mayor de *do* utiliza las siete notas clásicas. La pentatónica sólo cinco de ellas.

Elaboración propia

En los últimos años han aparecido varios trabajos que han analizado esta cuestión, llegando a veces a resultados contradictorios. En 2005, David Rothenberg, un filósofo, naturalista y músico de jazz que trabaja en el Instituto de Tecnología de New Jersey, publicó el libro *Why Birds Sing*. Rothenberg se había interesado por este tema cuando escuchó el canto de un zorzal americano (*Catharus guttatus*), en el que descubrió una estructura que recordaba a un solo de Miles Davis. En su libro, Rothenberg afirma que hay aves que vocalizan escalas tradicionales usadas por los humanos, en concreto escalas pentatónicas en el caso de *Catharus guttatus*, o diatónicas en otras especies de zorzales. El autor acompañaba su libro con un CD en el que improvisaba duetos al clarinete con algunos pájaros. Al año siguiente, la BBC elaboró un excelente documental ([https://www.youtube.com/watch?v=f\\_cqJsdnOrg](https://www.youtube.com/watch?v=f_cqJsdnOrg)) basado en este libro, que también está disponible en

la red. David Rothenberg es el autor de un artículo aparecido en la revista digital *emphTerrain.org* (<http://terrain.org/columns/28/rothenberg.htm>), en el que analiza el canto del zorzalillo rojo, *Catharus fuscescens*. Rothenberg reproduce el canto de este pájaro a muy baja velocidad, y encuentra sorprendentes semejanzas con líneas sincopadas de Miles Davis, acentuando notas en los tiempos débiles del compás.

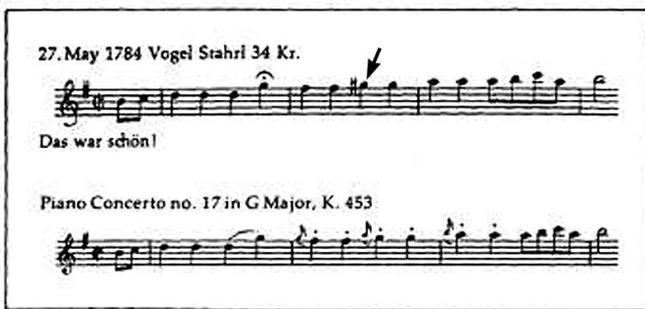


**Figura 2.** Estornino (*Sturnus vulgaris*)

Creador: Pierre-Selim Huard. Derechos de autor: CC-BY-SA

Ese mismo año de 2005, Luis Felipe Baptista y Robin Keister, dos ornitólogos de la Universidad de California en Davis, publican un análisis musical del canto de muchas especies de aves, en el que encuentran variaciones rítmicas, relaciones tonales y combinaciones de notas homologables a las de la música occidental<sup>[1]</sup>, incluyendo ejemplos de aceleración, retardo, crescendo y disminuyendo, y relaciones armónicas de terceras, cuartas, quintas y octavas. Por poner un ejemplo, el canto del cuco sigue un patrón de dos notas de frecuencias 667 Hz (equivale a la nota *mi*-5 del piano) y 545 Hz (un poco por debajo del *do* sostenido-5). Esto se llama *tercera menor descendente*, dos notas separadas por tres semitonos. Luego volveremos con esta relación. En este mismo artículo se narra la fascinante historia del estornino de Mozart. Los estorninos (Figura 2) tienen un canto complejo <http://www.canto-pajaros.es/estornino-pinto/>, con repetición de motivos, algo que es apreciado

por las hembras en su elección de pareja. El canto es aprendido y se transmite por separado en machos y hembras, como ocurre en otras especies. Los machos jóvenes aprenden de machos adultos y lo mismo sucede con las hembras. Según anota Mozart en su diario, adquirió el estornino cuando lo escuchó cantar las primeras notas del último movimiento de su *Concierto para piano en sol mayor, K.453*, aunque no se sabe si lo había aprendido del mismo compositor o de alguna otra forma. Mozart destaca cómo el pájaro se atrevió a alterar una nota, convirtiendo en *sol* sostenido lo que él había escrito como *sol* natural (Figura 3). El caso es que muchos elementos del canto del estornino aparecen en el conocido *Divertimento K.522 «Una broma musical»* de Mozart. El estornino murió tras acompañar a su dueño durante tres años, el 27 de mayo de 1784 y fue enterrado con honores, himnos y poemas en el jardín. El *Divertimento* de Mozart fue terminado ocho días después de este luctuoso suceso.



**Figura 3.** Anotación hecha por Mozart sobre la «interpretación» que hace su estornino de las primeras notas del tercer movimiento del *Concierto para piano en sol mayor*. La flecha señala la alteración que hace el pájaro, creando una curiosa disonancia. La anotación dice «jera hermoso!».

<https://alchetron.com/Mozart%27s-starling>

El motivo «fundamental-tercera menor descendente» del que hablábamos antes, está sorprendentemente extendido entre las aves, tal como describen en publicaciones digitales Chris Durdin (<http://www.honeyguide.co.uk/minorthird.htm>) y Joanne Garton (<http://blog.uvm.edu/fntrlst/2015/04/29/the-musicality-of-birdsong/>). Ya hemos hablado del canto del cuco, basado en este motivo. Lo curioso es que el cuco va modulando su canto a medida que avanza la primavera, pasando de una tercera menor descendente (*mi-do* sostenido) a una tercera mayor (*mi-do*) e incluso a una cuarta descendente (*mi-si*) al principio del verano. Esta misma estructura de tercera menor descendente la encontramos en el canto de la grulla (<http://www.canto-pajaros.es/grulla-comun/>), del chickadee (un párido del género *Poecile*) y del escribano hortelano (*Emberiza hortulana*).



**Figura 4.** El uirapuru (*Cyphorhinus arada*) reproducido del libro de William Swainson (1789-1855) *A selection of the birds of Brazil and Mexico*. (Ilustración de dominio público).

<https://lavozmarisol.wordpress.com/2016/02/06/la-leyenda-de-uirapuru-y-el-asno/>

Este caso es especialmente llamativo, porque repite la fundamental varias veces y el resultado recuerda ligeramente al comienzo de la famosísima *Quinta Sinfonía* de Beethoven, que utiliza el motivo fundamental-tercera mayor descendente, seguido de fundamental-tercera menor descendente (<http://www.canto-pajaros.es/escribano-hortelano/>). Otros motivos tonales reconocibles se encuentran en el canto del gorrión de garganta blanca (*Zonotrichia*), que sube una cuarta, como el comienzo de la marcha nupcial del *Lohengrin* wagneriano ([https://www.allaboutbirds.org/guide/White-throated\\_Sparrow/sounds](https://www.allaboutbirds.org/guide/White-throated_Sparrow/sounds)), o el chotacabras mexicano (*Antrostomus arizonae*), que salta de la fundamental a una quinta justa ([www.xeno-canto.org/species/Antrostomus-arizonae](http://www.xeno-canto.org/species/Antrostomus-arizonae)), exactamente como el comienzo de la banda sonora de *La guerra de las galaxias*.

Otros trabajos estudian la estructura tonal del canto de las aves. Tierney y colaboradores lo hacen en escribanos del Nuevo Mundo (*Spizella*) y en trepadores (*Certhia*), y proponen que similares restricciones derivadas de la estructura y la función del órgano productor

del sonido causan las similitudes entre el canto humano y el aviar<sup>[2]</sup>.

Este entusiasmo por la musicalidad del canto aviar fue enfriado en 2012 por un artículo de Marcelo Araya-Salas, de la Universidad de Costa Rica. Este autor estudió el sofisticado canto del chochín ruiseñor (*Microcerculus philomela*), para concluir que sólo seis de las 243 grabaciones realizadas se ajustaban a intervalos armónicos de escalas musicales, por lo que no seguían las reglas de la música tonal occidental<sup>[3]</sup>. Lo que ocurre, probablemente, es que no todos los cantos de las aves responden a un mismo patrón musical, y en este sentido, trabajos más recientes parecen contradecir los resultados de Araya-Salas. Por ejemplo, la musicóloga Emily Doolittle y el ornitólogo Henrik Brumm<sup>[4]</sup> estudiaron el canto del ya mencionado uirapuru, violinero o chochín musical del Amazonas (*Cyphorhinus arada*), encontrando en el mismo intervalos de octavas, quintas y cuartas, y pasajes similares a algunos presentes en la *Sinfonía n° 103* de Haydn y en una de las fugas pertenecientes a «*El clave bien temperado*» de Bach. Este pequeño pájaro (Figura 4) es protagonista de muchas leyendas entre las tribus amazónicas, una de ellas afirma que cuando canta el uirapuru todas las demás aves de la selva enmudecen para escucharlo. Otra asegura que quien oye el uirapuru será feliz el resto de su vida. Por si acaso, pueden escuchar este hermoso canto aquí: <https://www.youtube.com/watch?v=BZ8rCiUqX6s>.



**Figura 5.** Pájaro carnicero (*Cracticus nigrogularis*) en un café de Brisbane (Australia).

Autor: Quartl Licencia CC BY-SA 3.0

Más recientemente, Emily Doolittle, junto con otros investigadores, publicó un análisis del canto

del zorzal americano, *Catharus guttatus*, que tanto había inspirado a David Rothenberg. Su conclusión es que esta especie utiliza para su bellissimo canto ([https://en.wikipedia.org/wiki/Hermit\\_thrush](https://en.wikipedia.org/wiki/Hermit_thrush)) tonos que siguen relaciones matemáticamente simples, como en las escalas musicales más comunes, y que esta preferencia se debe a la selección, más que a restricciones funcionales<sup>[5]</sup>. Por otro lado, Hollis Taylor, una investigadora de la Universidad Macquarie en Sidney (Australia), además de violonista, compositora y ornitóloga, lleva muchos años estudiando una especie australiana, *Cracticus nigrogularis* o «pájaro carnicero», que a pesar de dicho nombre, posee uno de los cantos más variados y hermosos de todo el reino animal (Figura 5). Según los trabajos de la Dra. Taylor, este pájaro utiliza melodías que son diferentes en función de las poblaciones, participa en duetos y coros, es capaz de improvisar o de cantar en antífonas, es decir, por dos individuos que se alternan en la melodía. Estos resultados han sido recogidos en un libro de reciente aparición, titulado *Is birdsong music?*. Más aún, Taylor, junto con otros colegas músicos, ha grabado sorprendentes composiciones en las que el pájaro carnicero interviene como un intérprete más. Alguna de estas composiciones, junto con una reseña del libro pueden consultarse en: <http://www.realtime.org.au/is-birdsong-music-ask-the-butcherbird/>.

En cuanto al ritmo musical, la existencia de un mecanismo neurológico interno que lo regula, una especie de metrónomo, ha sido propuesta por dos biólogos de la Universidad de Berlín, Philipp Norton y Constance Scharff, trabajando con pinzones cebra (*Taenopygia*)<sup>[6]</sup>. Este pájaro ha sido también utilizado como modelo para el estudio del aprendizaje del canto, con sorprendentes resultados. El grupo de Ofer Tchernichovski en la City University of New York, constató que cuando el joven macho era aislado de los machos adultos de los que aprende el canto, desarrolla el suyo de forma irregular e imperfecta. Cuando este pájaro «mal-cantor» procrea con una hembra (no sin resistencia por parte de esta, que acepta al macho en última instancia), no es capaz de enseñar a cantar correctamente a sus hijos, que desarrollan también un canto imperfecto, pero algo más complejo que el paterno y enriquecido con notas maternas. Lo asombroso es que al cabo de sólo cinco generaciones de repetir el experimento, los machos de esta especie han recuperado el canto natural, sin haber tenido ocasión de aprenderlo de otros individuos de la población<sup>[7]</sup>. Esto indica que junto a una base genética, hay una especie de «desarrollo cultural» que lleva a una reconstrucción de la tradición perdida, algo parecido a los lenguajes que se desarrollan espontáneamente en grupos humanos que han perdido contacto con su cultura, lo que llaman los lingüistas el *pidgin*. Tchernichovski ha

publicado otro interesantísimo artículo junto con David Rothenberg sobre la musicalidad del canto del ruiseñor ruso (*Luscinia luscinia*)<sup>[8]</sup>, en el que revelan muchos de los principios de composición usados por los humanos, transiciones, anticipación, tensión y resolución.

### En resumen

La respuesta a la cuestión de si el canto de las aves puede ajustarse a las reglas de la música occidental es afirmativa, pero no puede ser generalizada a todas las especies de aves. Determinadas aves parecen haber avanzado más en el desarrollo de una especie de «cultura musical» paralela a la humana y de transmisión oral. ¿Qué mecanismos evolutivos, fisiológicos o neuronales pueden estar detrás de este paralelismo? Es difícil de decir, desde el momento en que seguimos debatiendo si la estética musical occidental basada en escalas, tonos y armonías tiene una base innata o cultural. Una propuesta estimulante, tan atractiva como difícil de sostener, es la que hace David Rothenberg, cuando intenta reunir a Darwin y Platón en su libro *Survival of the Beautiful: Art, Science, and Evolution*. ¿Es la belleza un concepto natural, innato y universal? En caso afirmativo, ¿puede

haber desempeñado la belleza, en este caso la belleza de la música, algún papel en la evolución?

### Referencias

- <sup>1</sup>Baptista LF y Keister RA. Why birdsong is sometimes like music. *Perspectives in Biology and Medicine* 48: 426-443, 2005.
- <sup>2</sup>Tierney AT y otros. The motor origins of human and avian song structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108: 15510-15515, 2011.
- <sup>3</sup>Araya-Salas M. Is birdsong music? Evaluating harmonic intervals in songs of a Neotropical songbird. *Animal Behaviour* 84: 309-313, 2012.
- <sup>4</sup>Doolittle E y Brumm H. O Canto do Uirapuru: Consonant intervals and patterns in the song of the musician wren. *Journal of Interdisciplinary Music Studies* 6: 55-85, 2012.
- <sup>5</sup>Doolittle E y otros. Overtone-based pitch selection in hermit thrush song: unexpected convergence with scale construction in human music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 16616-16621, 2014.
- <sup>6</sup>Norton P y Scharff C. "Bird Song Metronomics": Isochronous Organization of Zebra Finch Song Rhythm. *Frontiers in Neuroscience* 10: 309, 2016.
- <sup>7</sup>Fehér O y otros. De novo establishment of wild-type song culture in the zebra finch. *Nature* 459: 564-568, 2009.
- <sup>8</sup>Rothenberg D y otros. Investigation of musicality in birdsong. *Hearing Research* 308: 71-83, 2014.

---

## *Ciencia sin límites*

---

### UN NUEVO PROYECTO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA RESPONSABLE

por VICTORIA DE ANDRÉS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA ANIMAL. UMA

DEANDRES@UMA.ES

---

Son muchas las noticias sobre aspectos relacionados con la Ciencia con que nos bombardean a diario los medios de comunicación. Se trata de una labor que, en principio, es muy bienvenida. La sociedad tiene la necesidad (y el derecho) de estar al día en relación a los descubrimientos que se consiguen y los avances que se realizan en diversos campos del conocimiento en pro del avance de la Humanidad. No obstante, los científicos, absorbidos en nuestras investigaciones, no respondemos a esta demanda tanto como debiéramos. Muy al contrario, a menudo descuidamos la importante tarea de transmitir nuestros resultados a los que, normalmente, sufragan con sus impuestos nuestros proyectos de investigación. Desde nuestros laboratorios, pues, aplaudimos la labor divulgativa que realizan prensa, radio y televisión desde sus respectivas áreas dedicadas al progreso científico. El problema surge cuando, de manera arbitraria y sin que la mayoría de las veces subyaga mala intención, se mezclan informaciones elaboradas por periodistas especializados en temas científicos con otras generadas por profesionales que no poseen una formación suficiente para transmitir con rigor los aspectos esenciales de los avances en investigación. Ello hace que los contenidos se centren con frecuencia en aspectos anecdóticos obviando la verdadera trascendencia de la presunta novedad. En el peor de los casos, incluso, nos quedamos atónitos ante noticias que, plagadas de inexactitudes, se anuncian a bombo y platillo. Estas prácticas se realizan de manera frecuente y sin que el receptor no especializado disponga de las herramientas necesarias para contrastar la auténtica veracidad o importancia de lo que se le transmite. A ello hay que unirle tres hechos que han alcanzado un relevante protagonismo en los últimos años. Por una parte, el despegue de canales televisivos que, bajo el formato de documental tradicional, emiten programas muy efectistas que no siempre van acompañados del mínimo de rigor científico exigible. Por otra, el uso interesado que asociaciones y partidos políticos hacen de determinadas noticias científicas con el objetivo de ganar adeptos bajo la excusa de agitar banderas de causas nobles y altruistas. En

tercer lugar, habría que añadir el efecto multiplicativo (e incluso, distorsionador) que realizan las redes sociales, tanto más importante cuanto más llamativa sea la noticia. El resultado de todo ello es que la objetividad y prudencia que caracterizan el artículo científico, sometido antes de su publicación a una estricta revisión académica por pares, quedan anuladas por la subjetividad mediática. La consecuencia es doblemente negativa. Por una lado, los ciudadanos bienintencionados que tan solo aspiran a ampliar sus conocimientos sobre temas que les interesan, terminan desinformados e incluso, innecesariamente alarmados o falsamente esperanzados. Por otra, el científico desarrolla una reticencia más que justificada ante el encuentro periodístico por temor a la manipulación de sus palabras y al titular sensacionalista. La solución de este problema es evidente y fácil: hay que divulgar más y, sobre todo, hay que divulgar mejor.

Con este espíritu planteé en la Facultad de Ciencias de Málaga el proyecto "Ciencia sin Límites". Se trata de un encuentro divulgativo con el que persigo un cuádruple propósito: - Abordar temas científicos de interés prioritario para un público amplio. - Plantear el debate transversalmente recurriendo a un enfoque multidisciplinar. - Implicar al máximo a los estudiantes de carreras relacionadas con la ciencia. - Intentar hacer comprender que pensar, aprender y discutir sobre aspectos científicos puede ser una forma divertida de expandir nuestro conocimiento, ser más responsables en nuestras actuaciones y liberarnos de manipulaciones interesadas por parte de terceros (que normalmente saben del tema lo justo para sacar rendimiento a sus intereses particulares).

Para tratar de conseguir estos objetivos he recurrido a un formato bastante sencillo: tres personalidades de reconocido prestigio académico, pertenecientes a distintas áreas de conocimiento, debaten sobre un tema enriqueciendo el diálogo gracias a las particulares ópticas que aportan sus respectivas especialidades. Yo misma hago de moderadora y, tras presentar el marco de discusión (lo que implica el definir rigurosamente el tema y acotar el rango del asunto a tratar), velo por el

cumplimiento de varias circunstancias:

- Evitar que el diálogo se transforme en tres monólogos independientes y, por tanto, tratar de impedir las microconferencias por parte de los intervinientes. - Procurar que el tema se aborde con absoluta libertad, algo que siempre ha caracterizado al mundo científico pero que, últimamente, se ve amenazado por la mordaza de la corrección política (la versión del siglo XXI de la censura). - Propiciar la intervención del público. Este último aspecto lo considero especialmente ambicioso, dado que pretendo implicar a diferentes colectivos. Por una parte, a los estudiantes universitarios, puesto que este tipo de actividad extraacadémica la considero fundamental para el desarrollo de su capacidad crítica y su curiosidad, aspectos fundamentales para generar futuros científicos rigurosos y no sólo técnicos hipercualificados. Por otra, a los pertenecientes a la comunidad científica universitaria especializados en áreas de conocimiento distintas a la tratada en ese evento particular. Y, por último, a todos los sectores de la sociedad interesados por diferentes motivos en el tema. - Dar un protagonismo especial a los estudiantes. Para ello, en cada debate habilitaré un cuarto sillón para que uno de ellos intervenga, en calidad de igual, al resto de los invitados. Tendrá, de esta forma, una portavocía directa para plantear las cuestiones que más interesen a la concurrencia

más joven. El estudiante, en particular, será elegido entre los asistentes al debate anterior en función de la calidad de sus intervenciones. - Difundir el debate al amplio público mediático accesible a través del canal de YouTube "Ciencia sin Límites". - Extractar las ideas más relevantes que se aporten en cada debate en un artículo divulgativo en esta misma revista, elaborado por los participantes con rigor académico no exento de amenidad y suficientemente referenciado.

En relación a este último aspecto, los artículos se plantearán a modo de ensayo a cuatro manos (o, mejor, a cuatro mentes) donde se desarrollen las aportaciones más interesantes planteadas en el debate por parte de los invitados y por mí misma, esperando que sean indulgentes con mi posicionamiento simultáneo en juez y parte (pero una es científica, no periodista, y la profesión obliga). De esta forma, se permitirá ilustrar las ideas con una casuística refrendada con una bibliografía que permita al lector profundizar con rigor en aspectos puntuales que, por cuestiones del formato verbal, no se hayan podido desarrollar en la sesión oral.

Os pido, además de apoyo y difusión, sugerencias de todo tipo, ya sea en propuesta de temas y/o de participantes.

Espero, sinceramente, que disfrutéis con esta iniciativa.

---

---

## Vida y Obra: Cristina Escarmís

### CRISTINA ESCARMÍS: UNA PIONERA EN EL DESARROLLO DE LA CIENCIA EN ESPAÑA

por ARMANDO ARIAS

TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK, DK-2800, KONGENS LYNGBY, DENMARK

ARAE@VET.DTU.DK



Cristina Escarmís junto con Martin Billeter en la Universidad de Zurich en 1975

La doctora Cristina Escarmís es una persona clave en el desarrollo de la Biología Molecular y de la Virología en España. Entre sus mayores contribuciones destaca el haber introducido en nuestro país las técnicas para la secuenciación del material genético. Cristina no se limitó a establecer la metodología sino que dedicó gran parte de su tiempo a transferir el conocimiento adquirido a numerosos científicos del Centro de Biología Molecular "Severo Ochoa" (CBMSO), o de centros externos que acudieron a aprenderla. Yo viví de primera mano la dedicación absoluta y desinteresada de Cristina en enseñar métodos de secuenciación a diversos investigadores y técnicos de laboratorio interesados en aprenderlos. Las contribuciones de la Dra. Escarmís no se circunscriben al establecimiento de estos avances metodológicos de gran relevancia. Sus estudios científicos han ayudado a entender mejor la genética de los virus ARN. A destacar son sus numerosas aportaciones sobre la evolución de los virus y los mecanismos replicativos que la gobiernan. Cristina Escarmís se licenció en Ciencias Químicas por la Universidad de Barcelona (1965) y se doctoró en 1969 en Bioquímica por la misma Universidad. Su Tesis Doctoral fue dirigida por los Profesores Fernando Calvet y Jorge Bozal y trató sobre el estudio de inhibidores de la xantindeshidrogenasa hepática, una

enzima importante en el metabolismo de nucleótidos y producción de ácido úrico<sup>[1]</sup>. Posteriormente, la doctora Escarmís viajó a los Estados Unidos donde realizó diversos estudios postdoctorales. De 1969 a 1970 investigó el proceso de carbamitación del ARN transferente junto al Profesor Santiago Grisolia en el University of Kansas Medical Center. Tras estos estudios, se incorporó al laboratorio del Profesor Robert Warner (Universidad de California, Irvine) donde investigó desde 1970 a 1973 el mecanismo de transcripción de ARN polimerasas bacterianas dependientes de ADN, utilizando ADN de fagos como molde<sup>[2]</sup>. En 1974 volvió a Europa para trabajar con el Profesor Martin Billeter en el Instituto de Biología Molecular de la Universidad Zurich donde adquirió conocimientos en las técnicas de secuenciación de ácidos nucleicos. Durante estos estudios, Cristina publicó las primeras secuencias del bacteriófago Q $\beta$ , un virus ARN<sup>[3]</sup>. En 1976 obtuvo la plaza de Colaborador Científico del Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) incorporándose al laboratorio de la Profesora Margarita Salas (CBMSO) para el estudio de la genética del fago  $\phi$ 29. En el transcurso de estas investigaciones, la Dra. Escarmís puso a punto diversas técnicas de secuenciación que fueron clave para el avance científico en el CBMSO y, por extensión, en nuestro país como antes he mencionado<sup>[4]</sup>. Tras su etapa con la Prof. Salas, la Dra. Escarmís ingresó en el grupo del Prof. Esteban Domingo donde desarrolló la mayor parte de su carrera científica. Allí, Cristina Escarmís contribuyó decisivamente al trabajo pionero del laboratorio del Prof. Domingo en la caracterización de la variabilidad genética y las propiedades evolutivas de los virus ARN durante 22 años, desde 1986 hasta su jubilación en 2008. Durante estos años, Cristina ha realizado contribuciones muy importantes para entender las bases moleculares del trinquete de Muller en los virus ARN. El trinquete de Muller es un proceso descrito en genética evolutiva que predice que la ausencia de recombinación en organismos asexuales (e.g. los virus) conlleva la acumulación de mutaciones deletéreas<sup>[5]</sup>. La adquisición de estas mutaciones desventajosas, sin posibilidad de poder ser

eliminadas por mecanismos sexuales o de recombinación o por mutaciones compensatorias debido a los continuos cuellos de botella poblacionales, conduce a la pérdida de eficacia biológica o fitness en el organismo. En sus estudios, la Dra. Escarmís demostró que sucesivos cuellos de botella, realizados mediante clonaje de virus aislado de placas de lisis, acercaban al virus de la fiebre aftosa (VFA) a la extinción<sup>[6-8]</sup>. El análisis de genomas virales aislados de poblaciones sometidas a diversos regímenes poblacionales reveló mutaciones altamente infrecuentes que nunca aparecen en muestras naturales del virus pero que son componentes minoritarios de los espectros de mutantes<sup>[7]</sup>.



Cristina Escarmís trabajando en una cabina en el CBMSO en 2008

La Dra. Escarmís también demostró que los virus tienen múltiples vías moleculares para ganar fitness, una observación pionera en su tiempo recientemente confirmada con el virus de la hepatitis C, y que resulta clave para entender la base molecular de procesos adaptativos y respuesta a agentes antivirales<sup>[9]</sup>. Además, logró la síntesis del primer clon infeccioso del VFA de serotipo C que permitió profundizar en la genética de este virus. Esta herramienta ha sido utilizada en numerosas ocasiones para identificar los determinantes moleculares en el genoma de VFA que contribuyen a la virulencia, la adaptación y/o resistencia a compuestos antivirales, la fidelidad de copia de la polimerasa viral y la segmentación genómica, entre otros<sup>[10, 11]</sup>. Al igual que en la transferencia de sus conocimientos en secuenciación, la Dra. Cristina Escarmís no solamente proporcionó las herramientas (clon infeccioso) para la recuperación de variantes de VFA, sino que se involucró de manera entusiasta y altruista en estos estudios. Su labor como tutora de estudiantes es igualmente brillante. Durante todos estos años, Cristina supervisó de manera oficial a cuatro estudiantes de doctorado, aunque la lista de científicos predoctorales y postdoctorales que nos beneficiamos de su conocimiento y ayuda es muchísimo mayor de lo que

refleja su currículum. Cristina dirigió los estudios para la generación del clon infeccioso del VFA mencionado anteriormente (Tesis del Dr. Miguel Toja) y supervisó los proyectos de los Dres. Juan García-Arriaza y Samuel Ojosnegros sobre la caracterización de los mecanismos moleculares y evolutivos de la segmentación genómica de VFA. En estas investigaciones, se descubrió una transición evolutiva no descrita hasta entonces en la que un virus no segmentado daba lugar a un virus segmentado tras un proceso de evolución en cultivo. El virus segmentado producía una progenie infecciosa solamente durante la coinfección de la célula por ambos segmentos virales<sup>[11, 12]</sup>. Tuve el privilegio de ser dirigido por la Dra. Escarmís sobre diversos aspectos evolutivos y replicativos del VFA. Durante mi Tesis en el laboratorio del Prof. Domingo conseguimos expresar y purificar la polimerasa viral del VFA, lo que nos permitió profundizar en los procesos bioquímicos que regulan la replicación y la fidelidad de copia (y consecuentemente la variabilidad genética) en este virus. En estudios colaborativos con la Profesora Nuria Verdaguer y la Dra. Cristina Ferrer (Instituto de Biología Molecular de Barcelona-CSIC) obtuvimos diversas estructuras tridimensionales que nos proporcionaron una visión detallada de los diferentes estadios de la replicación viral (inicio dependiente de una proteína-primer, unión al RNA, reconocimiento e incorporación de nucleótidos)<sup>[13-15]</sup>. La Dra. Escarmís también contribuyó de manera activa a impulsar el desarrollo del Centro de Astrobiología, tras su fundación en 1999, a través de múltiples colaboraciones con varios de los grupos originales (e.g. Ester Lázaro, Susanna Manrubia y Carlos Briones). Fruto de estas actividades interdisciplinarias entre físicos, matemáticos y biólogos fueron diversas publicaciones en revistas de alto prestigio, incluyendo un manuscrito en PNAS comunicado por el premio Nobel en Física, el Prof. Murray Gell-Mann<sup>[7, 8, 16, 17]</sup>. En este manuscrito se conectaban las observaciones experimentales de Cristina sobre el trinquete de Muller, antes mencionadas, con modelos matemáticos que predicen la evolución de fitness de un virus cuando se acerca a la extinción. En este pequeño resumen de su labor científica no queda suficientemente reflejado el tremendo impacto que Cristina Escarmís ha tenido en la ciencia española. Es imposible imaginar el éxito profesional relativo que muchos científicos que pasamos por el laboratorio del Prof. Domingo hemos logrado en nuestra carrera sin tener en cuenta la enorme contribución de la Dra. Cristina Escarmís.

### Agradecimientos

Me gustaría aprovechar estas líneas para dar las gracias al Prof. Esteban Domingo por su enorme ayuda al proporcionar datos detallados de la biografía de la Dra. Escarmís para la preparación de este texto.

## Referencias

- <sup>1</sup>Escarmís C y otros. Effect of colchicine and allopurinol on uricogenesis. I. Kinetics of their inhibitory action on hepatic xanthine dehydrogenase. *Rev Esp Fisiol* 26: 109-119, 1970.
- <sup>2</sup>Escarmís C y otros. Temperature and salt effects on the formation of preinitiation complexes between RNA polymerase and phage DNA. *Biochim Biophys Acta* 402: 261-269, 1975.
- <sup>3</sup>Escarmís C y otros. Determination of the first half of the coat protein cistron of bacteriophage Q $\beta$  as an application of a mapping procedure for RNA fragments. *J Biol Chem* 253: 8390-8399, 1978.
- <sup>4</sup>Escarmís C y Salas M. Nucleotide sequence at the termini of the DNA of Bacillus subtilis phage  $\phi$ 29. *Proc Natl Acad Sci USA* 78: 1446-1450, 1981.
- <sup>5</sup>Muller HJ. The relation of recombination to mutational advance. *Mutant Res* 106: 2-9, 1964.
- <sup>6</sup>Escarmís C y otros. Genetic Lesions Associated with Muller's Ratchet in an RNA virus. *J Mol Biol* 264: 255-267, 1996.
- <sup>7</sup>Escarmís C y otros. Repeated bottleneck transfers can lead to non-cytocidal forms of a cytopathic virus: implications for viral extinction. *J Mol Biol* 376: 367-379, 2008.
- <sup>8</sup>Escarmís C y otros. Population bottlenecks in quasispecies dynamics. *Curr Top Microbiol Immunol* 299: 141-170, 2006.
- <sup>9</sup>Escarmís C y otros. Multiple molecular pathways for fitness recovery of an RNA virus debilitated by operation of Muller's ratchet 1. *J Mol Biol* 285: 495-505, 1999.
- <sup>10</sup>Herrera M y otros. Molecular basis for a lack of correlation between viral fitness and cell killing capacity. *PLoS Pathog* 3: e53, 2007.
- <sup>11</sup>García-Arriaza J y otros. Evolutionary Transition toward Defective RNAs That Are Infectious by Complementation. *J Virol* 78: 11678-11685, 2004.
- <sup>12</sup>Ojosnegros S y otros. Viral genome segmentation can result from a trade-off between genetic content and particle stability. *PLoS Genet* 7: e1001344, 2011.
- <sup>13</sup>Ferrer-Orta C y otros. Sequential structures provide insights into the fidelity of RNA replication. *Proc Natl Acad Sci USA* 104: 9463-9468, 2007.
- <sup>14</sup>Arias A y otros. Mutant viral polymerase in the transition of virus to error catastrophe identifies a critical site for RNA binding. *J Mol Biol* 353: 1021-1032, 2005.
- <sup>15</sup>Ferrer-Orta C y otros. The structure of a protein primer-polymerase complex in the initiation of genome replication. *Eur Mol Biol Organ J* 25: 880-888, 2006.
- <sup>16</sup>Lazaro E y otros. Resistance of virus to extinction on bottleneck passages: Study of a decaying and fluctuating pattern of fitness loss. *Proc Natl Acad Sci USA* 100: 10830-10835, 2003.
- <sup>17</sup>Manrubia SC y otros. Fitness distributions in exponentially growing asexual populations. *Phys Rev Lett* 90: 188102, 2003.
- 
-

## *Escribir bien no cuesta trabajo*

### Rancias esencias: ¿absorbancia/dormancia o absorbencia/durmencia?

En español, los *adjetivos deverbales* (también denominados *participios activos*) significan «que ejecuta la acción expresada por la base» y se forman por la adición de la terminación *-nte* al verbo. La vocal que precede a estos sufijos depende de la conjugación a la que pertenece el verbo.

Con los verbos de la primera conjugación (los acabados en *-ar*) se pone «a» (*-ante*). Coincide con la suerte de que, en inglés, también se obtienen con la adición de *-ant*, con lo que su traducción no entraña ningún problema:

- agobiar → agobiante
- importar → importante (*important*)
- incapacitar → incapacitante
- penetrar → penetrante
- radiar → radiante
- resonar → resonante (*resonant*)
- veranear → veraneante

En cambio, se coloca «e» o «ie» (*-ente* o *-iente*, respectivamente), cuando son de la segunda y tercera (los acabados en *-er* e *-ir*), indistintamente. También tenemos la suerte de que el inglés los suele terminar en *-ent*:

- absorber → absorbente (*absorbent*)
- complacer → complaciente (*complacent*)
- convalecer → convaleciente (*convalescent*)
- crecer → creciente (*crescent*)
- depender → dependiente (*dependent*)
- batir → batiente
- dirigir → dirigente
- incidir → incidente (*incident*)

Algunos de estos adjetivos se han sustantivado, lo que nos origina algunos problemas porque los hay invariables, mientras que otros admiten la distinción de género (no sexo) como *-nte/-nta*. Y eso sin entrar en los casos en los que el femenino significa algo muy distinto al masculino. Os ilustro algunos de los que el DLE admite en masculino y femenino:

- asistente/asistentita
- danzante/danzanta
- dependiente/dependienta
- figurante/figuranta
- gerente/gerenta
- marchante/marchanta
- negociante/negocianta
- practicante/practicanta
- postulante/postulanta
- presidente/presidenta
- regente/regenta
- sobresaliente/sobresalienta.

¿Por qué he dicho que hay un problema? Pues porque la construcción de los **sustantivos abstractos femeninos**, que se derivan de los adjetivos deverbales por la adición del sufijo *-ncia*. En español, no teníamos problemas hasta hace poco, porque toman la terminación *-ancia*, cuando la base derivativa termina en *-ante*, y *-encia*, cuando termina en *-ente* o *-iente*. Veamos unos ejemplos en los que existe coincidencia incluso con el inglés:

- extravagante → extravagancia (*extravagance*)
- capacitar → capacitancia (*capacitance*)
- importante → importancia (*importance*)
- penetrante → penetrancia (*penetrance, penetrancy*)
- radiante → radiancia (*radiance*)
- reactante → reactancia (*reactance*)
- resonante → resonancia (*resonance*)
- incidente → incidencia (*incidence*)
- creyente → creencia (*credence*)
- sugerente → sugerencia
- insistente → insistencia (*insistence*)
- deficiente → deficiencia (*deficiency*)
- eficiente → eficiencia (*efficiency*)

Ahora le llega el turno a los ejemplos en los que no coinciden inglés y español porque en el primero se utilizan otros criterios para añadir las terminaciones *-ance*, *-ancy* o *-ence* y construir estos sustantivos abstractos. Con los que son más o menos tradicionales no hay problema:

- asistir: asistente (*assistant*) → asistencia (*assistance*)
- depender: dependiente (*dependent*) → dependencia (*dependance, dependence, dependency*)
- resistir: resistente (*resistant*) → resistencia (*resistance*)

El problema real está en los sustantivos abstractos que emergen de traducciones acriticas o inexpertas más recientes. De resultas de este acriticismo y 'apresurismo', hemos empezado a acumular en español una serie de términos que van en contra de nuestras reglas, solo porque se parecen así más al inglés:

- Absorber → **absorbente**: debería sustantivarse como **absorbencia**, pero como en inglés es *absorbance*, se ha acabado imponiendo **absorbancia**.
- Transmitir → **transmitente**: aunque debería sustantivarse como **transmitencia**, la presión del

inglés *transmittance* nos ha impuesto la irregularidad **transmitancia**.

- Conducir → **conducente**: según lo visto, debería ser **conducencia**, pero dado que en inglés es *conductance*, acabamos usando **conductancia**.
- Variar → **variante**: aunque debería ser **variancia**, en estadística siempre usaremos **varianza** por la presión de *variance*.
- Dormir → **durmiente**: aquí, además, nos juntamos con las irregularidades del español, puesto que deberíamos derivar **durmencia**, o si aceptamos el arcaísmo dormiente, **dormencia**; pero como en inglés es *dormancy*, entonces los científicos usamos el absurdo calco **dormancia**. Otra posibilidad, que también se usa, pasa por rescatar el arcaísmo **dormición**.

Si bien el DLE ya ha incluido como correctos **absorbancia**, **absorbencia**, **conductancia** y **varianza**, **transmitencia**, **transmitancia**, **durmencia**, **dormencia** y **dormancia** todavía no han entrado. Si nos vamos al vocabulario científico y técnico de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (VCTRAC), correremos aún peor suerte.

#### Para saber más:

M.G. Claros. *Cómo traducir y redactar textos científicos en español. Reglas, ideas y consejos. Cuadernos 39.* Fundación Dr. Antonio Esteve. 2017

M.G. Claros *El nanoblog del Gonz.* 2017

F.A. Navarro. Laboratorio del lenguaje. Entrada «**Absorbancia**». 2016

F.A. Navarro. Diccionario de dudas y dificultades de traducción del inglés médico v 3.09. Ed Cosnautas. Entrada «**-ance**». 2017

M. GONZALO CLAROS

## Premio Nobel de Química 2018

### Una revolución química basada en la evolución

El pasado 3 de octubre, la Real Academia de las Ciencias de Suecia anunciaba la entrega del premio Nobel de Química de 2018: la mitad del premio era entregado a la norteamericana Frances H. Arnold, "por la evolución dirigida de enzimas", mientras que la otra mitad era entregada al norteamericano George P. Smith y al británico Sir Gregory P. Winter, "por la presentación en fagos de péptidos y anticuerpos". El Premio Nobel de Química de este año se ha entregado a tres investigadores que, según el Comité Nobel, "han dominado la evolución y utilizado sus principios (cambio y selección genéticos) para producir proteínas que puedan resolver los problemas químicos de la humanidad". La importancia del trabajo de F.H. Arnold radica en que las enzimas desarrolladas mediante evolución dirigida pueden utilizarse para producir todo tipo de compuestos, desde fármacos hasta biocombustibles. G.P. Smith y G.P. Winter, por su parte, han desarrollado un método que permite la utilización de virus bacteriófagos para la generación de anticuerpos que pueden combatir enfermedades autoinmunes y, en algunos casos, el cáncer metastásico. En un momento político muy interesante e importante para el movimiento feminista, F.H. Arnold se ha convertido en la quinta mujer en obtener el Premio Nobel de Química entre los 181 galardonados desde que este premio comenzó a entregarse, en el año 1901. Esto, unido a la entrega del Premio Nobel de Física a Donna Strickland, que se convertía así en la tercera mujer en obtener el galardón, marca un momento histórico para estos premios: por primera vez, en más de 100 años de trayectoria, dos mujeres han conseguido estos galardones en el mismo año. Desde la aparición de la vida hace 3700 millones de años, distintos tipos de organismos han ocupado los rincones más inhóspitos de la Tierra, gracias a que la evolución ha resuelto los problemas químicos que aparecían al enfrentar estos retos. Las herramientas químicas de la vida, las proteínas, se han optimizado, cambiado y renovado, creando una enorme diversidad capaz de adaptar la vida a las condiciones más adversas. Por tanto, el dominio y manejo de los principios que rigen la evolución puede constituir una potente herramienta para solucionar los problemas químicos a los que se enfrenta el mundo actual, como curar enfermedades graves o frenar el cambio climático.

Los complejos sistemas químicos que permiten la vida están perfectamente codificados en el material genético, que es heredado por la progenie y puede sufrir

pequeñas modificaciones aleatorias en este proceso. Algunas de estas modificaciones dan lugar a un organismo más débil, mientras que otras generan un organismo más fuerte.

F.H. Arnold, doctorada por la Universidad de Berkeley e investigadora en el Instituto de Tecnología de California, tuvo claro desde el inicio de su carrera que su propósito sería ayudar a la humanidad mediante el desarrollo de nuevas tecnologías. Tras intentarlo en el campo de las energías renovables, el desengaño político la llevó a centrar su atención en las nuevas tecnologías del ADN. Tomando este rumbo en su carrera, perseguía sustituir los métodos tradicionales de producción de fármacos, plásticos y otros productos químicos por unos más respetuosos con el medio ambiente, usando para ello herramientas vitales: las enzimas, proteínas que catalizan reacciones químicas. Sus primeros pasos en esta dirección estuvieron marcados por un enfoque puramente racional para reconstruir las enzimas y otorgarles nuevas propiedades, pero F.H. Arnold pronto se dio cuenta de que resultaba incluso arrogante intentar comprender un proceso tan complejo mediante la lógica humana. Fue entonces cuando decidió buscar respuestas en la naturaleza, que lleva millones de años optimizando la química mediante un método propio: la evolución.

Partiendo de este nuevo enfoque, en 1993, lideró el primer estudio sobre la evolución dirigida de enzimas<sup>[1]</sup>. Desarrolló un método para producir nuevas variantes de una enzima mediante la introducción de mutaciones aleatorias y, posteriormente, seleccionar las variantes más efectivas en múltiples generaciones. De esta forma, se podrían obtener enzimas con nuevas propiedades no presentes en la naturaleza. Con esto, F.H. Arnold demostró el potencial de la evolución dirigida frente a la racionalidad humana para desarrollar nuevas enzimas. Este fue el primer paso, y el más decisivo, para la revolución que estamos presenciando en la actualidad. El siguiente paso lo dio un investigador holandés fallecido en 2013, Willem P.C. Stemmer, que consiguió llevar a cabo el proceso de evolución dirigida en un tubo de ensayo<sup>[2]</sup>. Para simular la mezcla de genes de diferentes individuos a lo largo de la evolución, Willem Stemmer cortó diferentes versiones de un mismo gen y las mezcló para producir de nuevo un gen completo, compuesto por un mosaico de los genes originales y obteniendo una significativa mejora en la efectividad de la enzima. Esta técnica se conoce como recombinación.



De izquierda a derecha: Frances H. Arnold, George P. Smith y Sir Gregory P. Winter, laureados con el Premio Nobel de Química 2018.

Las herramientas de edición del ADN y los métodos utilizados en la evolución dirigida se han perfeccionado desde su aparición en los años noventa, y F.H. Arnold ha estado a la vanguardia de estas tecnologías en todo momento, liderando el desarrollo de nuevas técnicas de evolución dirigida. Sus enzimas se han convertido en herramientas muy útiles para la producción de todo tipo de productos, incluso inexistentes en la naturaleza. Este método de producción, además, evita el uso de metales pesados y otros productos contaminantes usados tradicionalmente en la industria química, reduciendo así el impacto medioambiental de estos procedimientos. Además, F.H. Arnold ha encontrado en la producción de enzimas una forma de retomar los primeros pasos de su carrera, pues está trabajando en la producción de energía renovable mediante el desarrollo de enzimas que utilizan azúcares simples para producir plásticos biodegradables y biocombustibles que pueden utilizarse en coches y aviones. De esta forma, las enzimas contribuyen a una “transformación verde” muy necesaria para la preservación del planeta.

La segunda parte del Premio Nobel de Química de 2018 reconoce el trabajo de G.P. Smith y G.P. Winter para desarrollar nuevos fármacos mediante un método conocido como “presentación en fagos”. G.P. Smith, doctorado por la Universidad de Harvard e investigador emérito en la Universidad de Missouri, desarrolló en el año 1985 un método muy elegante para identificar genes desconocidos que codificaban para proteínas conocidas mediante el uso de bacteriófagos (fagos), virus que infectan a bacterias<sup>[3]</sup>. Los fagos tienen una estructura muy simple, consistente en un trozo de material genético contenido en el interior de unas proteínas protectoras, que forman la cápside. Cuando infectan una bacteria, los fagos introducen su material genético en ella y toman así el control de su metabolismo para producir nuevas

copias tanto del material genético como de las proteínas de la cápside. G.P. Smith tenía a su disposición grandes bibliotecas de genes que contenían fragmentos de genes desconocidos. Para identificarlos, insertó estos fragmentos en los genes que codifican las proteínas de la cápside, de forma que se expresarían y los péptidos resultantes quedarían expuestos en la superficie junto a las proteínas de la cápside de los nuevos fagos. Posteriormente, podrían utilizarse anticuerpos para “pescar” los fagos que contuvieran proteínas conocidas y establecer una relación proteína-gen.

Sin embargo, no fue hasta la década siguiente cuando se empezó a utilizar este método para generar nuevas biomoléculas, y G.P. Winter, doctorado por la Universidad de Cambridge e investigador en dicha Universidad, fue uno de los primeros en adoptar esta técnica, que le permitiría obtener fármacos basados en anticuerpos humanos. En 1990, demostró que al insertar en un fago la información genética que codifica para el sitio de unión a antígenos de los anticuerpos, esta parte aparecía en la superficie de los fagos<sup>[4]</sup>. Posteriormente, creó una librería con anticuerpos que se unían a dianas concretas con una gran especificidad. De esta forma, desarrolló un fármaco basado únicamente en un anticuerpo humano: el adalimumab, aprobado para el tratamiento de la artritis reumatoide en 2002. Siguiendo los mismos principios, se pueden desarrollar anticuerpos para el tratamiento de otras enfermedades autoinmunes, para la neutralización de toxinas, contra células cancerosas e, incluso, para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer.

En definitiva, los métodos desarrollados por los galardonados con el Premio Nobel en Química de 2018 se están utilizando en la actualidad para hacer más sostenible y respetuosa con el medio ambiente la industria química, para producir nuevos materiales, biocombustibles y fármacos, acabar con enfermedades y salvar vidas.

La evolución dirigida de enzimas y la presentación en fagos han permitido a F.H. Arnold, G.P. Smith y G.P. Winter comprimir un proceso aleatorio que puede durar millones de años en uno dirigido que puede durar unos días, sentando las bases para una nueva revolución química, una revolución que puede traer grandes beneficios a la humanidad y resolver los problemas químicos del mundo actual. Una vez más, la naturaleza supera a la razón humana y proporciona las respuestas y herramientas necesarias para resolver enigmas que la lógica no ha podido descifrar.

### Referencias

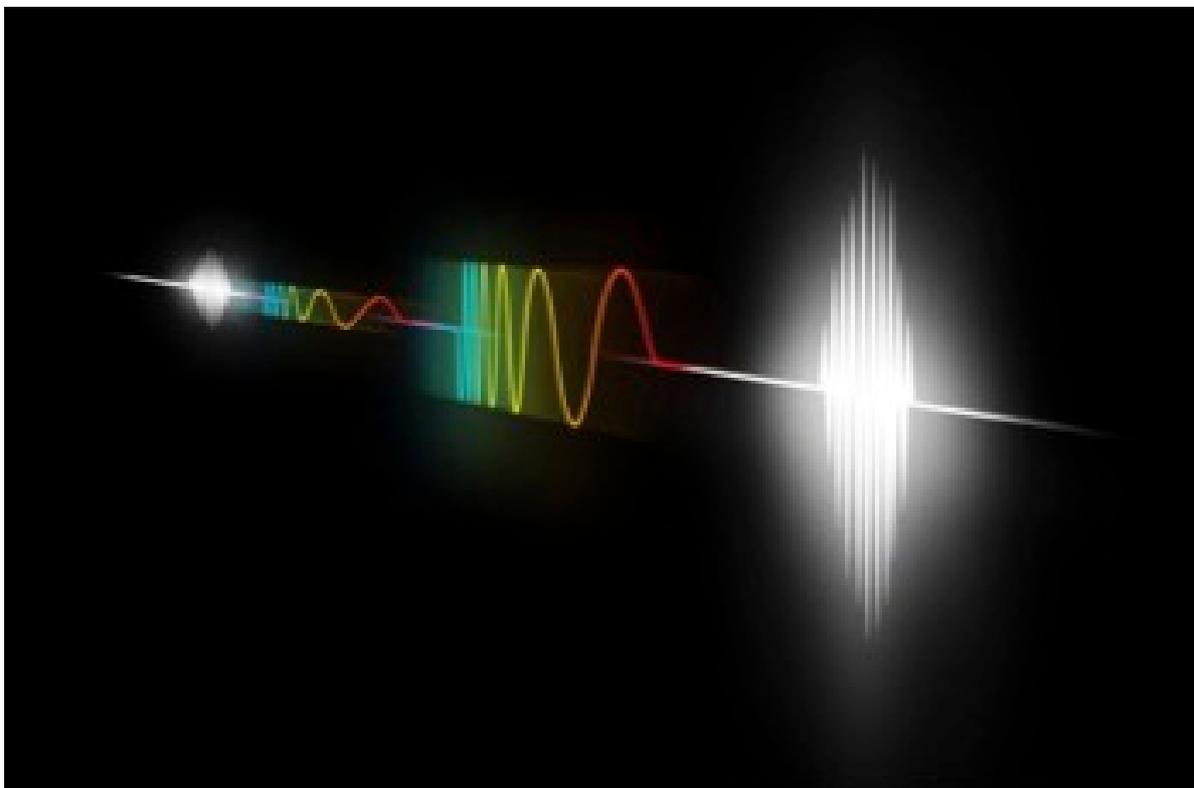
- <sup>1</sup>Chen K y Arnold FH. Tuning the activity of an enzyme for unusual environments: sequential random mutagenesis of subtilisin E for catalysis in dimethylformamide. *Proc Natl Acad Sci USA* 90: 5618-5622, 1983.
- <sup>2</sup>Cramer A y Stemmer WP. Combinatorial multiple cassette mutagenesis creates all the permutations of mutant and wild-type sequences. *Biotechniques* 18: 194-196, 1995.
- <sup>3</sup>Smith GP . Filamentous fusion phage: novel expression vectors that display cloned antigens on the virion surface. *Science* 228: 1315-1317, 1985.
- <sup>4</sup>McCafferty J y otros M. Phage antibodies: filamentous phage displaying antibody variable domains. *Nature* 348: 552-554, 1990.

BELÉN DELGADO MARTÍN

eb

## Premio Nobel de Física 2018

### Herramientas hechas de luz



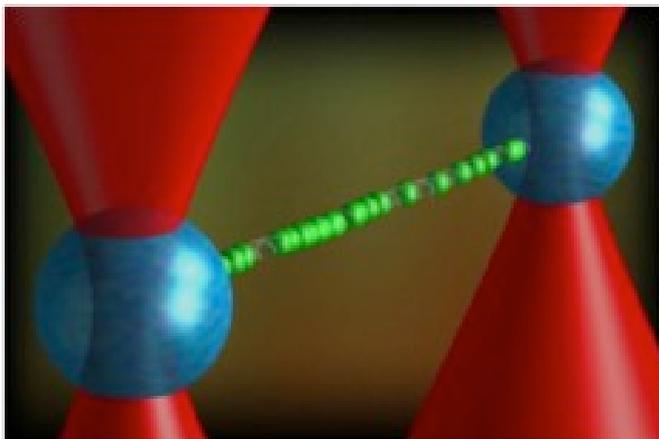
© Johan Jarnestad / The Royal Swedish Academy of Sciences

El 27 de noviembre de 1895, Alfred Nobel firmó su tercera y última voluntad en el Club Sueco-Noruego en París. Cuando se abrió y se leyó después de su muerte, la voluntad causó mucha controversia tanto en Suecia como a nivel internacional, ya que Nobel había dejado gran parte de su riqueza para el establecimiento de un premio. A pesar de la oposición inicial de su familia y allegados, cinco años más tarde, en 1901, se concedería el primer "Premio Nobel". El área de física fue la primera en ser nombrada en el testamento de Alfred Nobel estando considerada en esta época, a finales del s. XIX, como la más importante de las ciencias; puede que el mismo Nobel también lo viese de esta manera al disponerlo así. Desde esta fecha, se han concedido un total de 112 premios en esta área a un total de 210 científicos de los cuales sólo tres son mujeres: Marie Curie en 1903 (también premiada con el Premio Nobel de Química en 1911), Maria Goeppert-Mayer en 1963 y, en el presente año, ha sido concedido a Donna Strickland, quien ha compartido el premio con los investigadores Arthur Ashkin y Gérard Mourou.

De forma literal, tal y como lo podemos encontrar descrito en la web original de "Nobel Prize" el Premio Nobel de Física 2018 se ha otorgado "por inventos innovadores en el campo de la física láser" concediendo una mitad a Arthur Ashkin "por las pinzas ópticas y su aplicación a los sistemas biológicos", y la otra mitad de forma conjunta a Gérard Mourou y Donna Strickland "por su método de generar pulsos ópticos ultra cortos de alta intensidad". Arthur Ashkin, afiliado en el momento de ser premiado a los laboratorios Bell (Holmdel, NJ, USA), es el científico más longevo en recibir tal honor. A sus 96 años de edad sigue en activo en sus investigaciones; es más, en una entrevista telefónica donde se le anuncia el premio, al preguntarle si irá a celebrarlo, responde que está inmerso en un artículo importante y que por el momento no tendrá tiempo de celebraciones.

Uno de sus primeros trabajos relacionado con este tema lo publicó el laureado en 1970<sup>[1]</sup> donde se pone de manifiesto el enorme potencial de la radiación láser como herramienta de manipulación espacial y temporal de

objetos. En este trabajo pionero se explica cómo atrapar partículas esféricas de tamaño micrométrico utilizando un gradiente de fuerzas generado por un láser continuo. Así mismo, sugiere diversas hipótesis de aplicación en átomos o moléculas y también, en el estudio de cinética de reacciones químicas. Posteriormente, a esta técnica se la denominaría comúnmente como “pinzas ópticas” y ha sido especialmente útil en el estudio de una gran variedad de sistemas biológicos como virus, células vivas o moléculas de ADN [2][3]. Con respecto a sus aplicaciones en el campo de la biología, en este último trabajo en concreto la bióloga Karin Schütze colabora con el premiado, Arthur Ashkin, en el desarrollo de experimentos donde se utiliza este tipo de pinzas ópticas para medir de forma cuantitativa las fuerzas motoras a nivel molecular en células vivas.



Uno de los ejemplos donde se ha usado esta tecnología láser se puede ver en esta ilustración, donde se ha representado un experimento en el que se usaron dos pinzas ópticas (en color rojo) para estirar una única hebra de ADN entre un par de nanoesferas (en color azul). El análisis de la luz emitida por las moléculas fluorescentes (en color verde) proporcionó información sobre los cambios estructurales del ADN bajo las fuerzas de tensión de estas pinzas ópticas K. Schakenraad y otros “Hyperstretching DNA,” Nat. Commun. 8, 2197 (2017)

En esta modalidad de Premio Nobel compartido, se ha concedido una segunda mitad relacionada también con las aplicaciones de los láseres pero, en este caso,

con láseres especiales muy potentes capaces de emitir pulsos de luz ultracortos. El diseño de los láseres de pulsos cortos tiene muchas aplicaciones, sobre todo en física y en química, pero estas aplicaciones se incrementaron desde un punto de vista científico y también a nivel industrial cuando se pudieron obtener láseres de pulsos cortos e intensos. A la hora de amplificar un pulso corto existen algunas limitaciones relacionadas con la resistencia del material amplificador el cual puede verse dañado durante el proceso restringiendo la intensidad máxima que se podría alcanzar.

La solución a esta barrera la propusieron Gérard Mourou y Donna Strickland mientras trabajaban en la Universidad de Rochester, Nueva York, en la década de 1980. [4] Desarrollaron un ingenioso método denominado “Chirped Pulse Amplification” que podría ser traducido como “Amplificación de Pulso Gorjeado” aunque se conoce para abreviar como técnica CPA. Desde que este método se comenzó a aplicar en la década de 1980 la intensidad de los pulsos cortos ha experimentado un aumento progresivo permitiendo conseguir pulsos con potencias pico muy altas por encima de los 1021 W/cm<sup>2</sup>. La técnica CPA está basada en una serie de pasos que, de forma simplificada, se pueden resumir como una modulación de la fase del pulso del láser que permite aumentar o disminuir la frecuencia instantánea obteniendo, finalmente, un pulso comprimido producto de la suma de todos los fotones en fase y con la misma frecuencia, originando un aumento de la intensidad del pulso final. El perfeccionamiento, la mejora y la gran versatilidad de los láseres ultrarrápidos del orden de picosegundo (10-12 s) o femtosegundo (10-15 s) junto con la técnica CPA han posibilitado numerosas aplicaciones que antes eran inalcanzables desde el punto de vista experimental y han ayudado en las investigaciones interdisciplinarias así como en el avance de determinados campos como la biomedicina [5][6] o la oftalmología y técnicas de la visión. [7] Para más información sobre todos los Premios Nobel tanto de este año como de años anteriores y muchas otras curiosidades sobre los mismos se puede consultar la página oficial: <http://www.nobelprize.org/> .



De izquierda a derecha: Arthur Ashkin, nacido el 2 septiembre de 1922 en Nueva York (USA) trabaja en los Laboratorios Bell en Holmdel (USA); Gérard Mourou, nacido el 22 de junio de 1944 en Albertville (Francia) trabaja en la Escuela Politécnica de Palaiseau (France) y Universidad de Michigan en Ann Arbor (USA); Donna Strickland, nacida el 27 de mayo de 1959 en Guelph (Canadá) trabaja en la Universidad de Waterloo (Canadá); . Imágenes de Niklas Elmehed. © Nobel Media

## Referencias

<sup>1</sup>Ashkin A. Acceleration and Trapping of Particles by Radiation Pressure. *Phys. Rev. Lett.* 24: 156-159 , 1970.

<sup>2</sup>Ashkin A y otros. Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles. *Opt. Lett.* 11: 288–290 , 1986.

<sup>3</sup>Ashkin A y otros. Force generation of organelle transport measured in vivo by an infrared laser trap. *Nature* 348: 346, 1990.

<sup>4</sup>Strickland D y Mourou G. Compression of amplified chirped

optical pulses. *Opt. Commun.* 56: 219, 1985.

<sup>5</sup>König K y otros. Clinical two-photon microendoscopy. *Microsc. Res. Tech.* 70: 398-402, 2007.

<sup>6</sup>Barretto RPJ. y otros. Time-lapse imaging of disease progression in deep brain areas using fluorescence microendoscopy. *Nat. Med.* 17: 223–228 , 2011.

<sup>7</sup>Kessel L y otros. Non-invasive bleaching of the human lens by femtosecond laser photolysis. *PLoS ONE* 5: e9711, 2010.

### 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, SXW/ODT (OPENOFFICE/LIBREOFFICE), DOC/DOCX (MSWORD) 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.  
<sup>2</sup>SÓBOL I. *MÉTODO DE MONTECARLO*. MIR, MOSCÚ. 1976.  
 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.