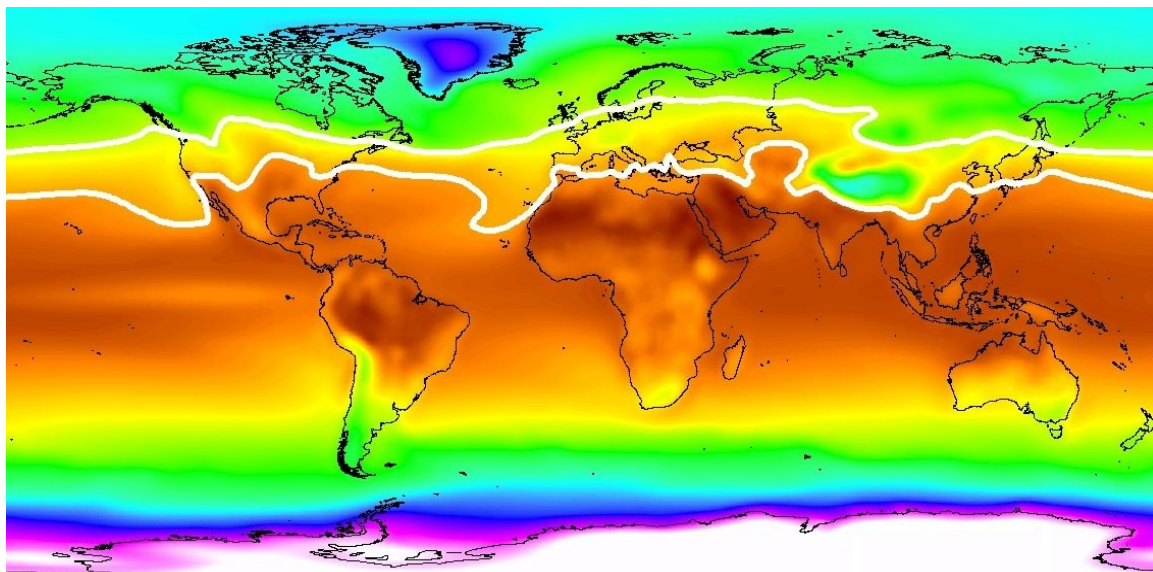


# Encuentros en la **b**iología



¿Invasoras o invitadas?  
«Encontronazos en la biología»

Vid y sequía  
¿Mudarse o vivir sin agua?

Fotosíntesis artificial  
Imitar la naturaleza

Vol IX | No 156  
OTOÑO | 2015

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

**Periodicidad:**  
4 números ordinarios (trimestrales) y al menos  
1 número extraordinario monográfico al año

**Entidad editora:**  
Universidad de Málaga  
EDITADA SIN FINANCIACIÓN INSTITUCIONAL, PÚBLICA NI  
PRIVADA

**Correspondencia a:**  
José M<sup>a</sup> Blanco  
Departamento de Ecología  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Málaga  
29071 - Málaga  
[encuentrosenlabiologia@uma.es](mailto:encuentrosenlabiologia@uma.es)

**Depósito legal:** MA-1.133/94  
**ISSN (versión electrónica):** 2254-0296  
**ISSN (versión impresa):** 1134-8496

## EQUIPO EDITORIAL

### COEDITORES

- José M<sup>a</sup> Pérez Pomares  
[jmperezp@uma.es](mailto:jmperezp@uma.es)  
Biología del desarrollo y  
cardiovascular  
*Coordinación general,  
editoriales, entrevistas.*
- José M<sup>a</sup> Blanco Martín  
[jmblanco@uma.es](mailto:jmblanco@uma.es)  
Ecología  
*Coordinación general,  
editoriales, la imagen  
comentada,  
maquetación.*

### COMITÉ EDITORIAL EJECUTIVO

- Ana Grande  
[agrande@uma.es](mailto:agrande@uma.es)  
Biología del desarrollo y  
cardiovascular  
*Coordinación general,  
editoriales, entrevistas.*
- Antonio Diéguez  
[dieguez@uma.es](mailto:dieguez@uma.es)  
Filosofía de la ciencia  
*A debate, reseñas.*
- Carmen González  
[carmen.glez@uma.es](mailto:carmen.glez@uma.es)  
Información y  
documentación  
*Calidad y difusión.*
- Enrique Moreno Ostos  
[quique@uma.es](mailto:quique@uma.es)  
Ecología y limnología  
*Encontronazos.*
- Enrique Viguera  
[eviguera@uma.es](mailto:eviguera@uma.es)

Genética y genómica  
*Monográficos, eventos  
especiales.*

- Héctor Valverde Pareja  
[hvalverde@uma.es](mailto:hvalverde@uma.es)  
Biología evolutiva  
molecular  
*Coordinación de  
espacios web  
Maquetación*
- José Carlos Dávila  
[davila@uma.es](mailto:davila@uma.es)  
Biología celular y  
neurobiología  
*¿Cómo funciona?*
- Juan A. García Ranea  
[ranea@uma.es](mailto:ranea@uma.es)  
Bioinformática y  
biología de sistemas  
*Modelos en biología.*
- Juan Carlos Aledo  
[caledo@uma.es](mailto:caledo@uma.es)  
Bioquímica y biología  
molecular  
*Energética de procesos  
biológicos, vida y obra.*
- Juan Carlos Codina  
[jccodina@uma.es](mailto:jccodina@uma.es)  
Microbiología,  
educación secundaria  
*Ciencias en el bachillerato.*
- Luis Rodríguez Caso  
[caso@eelm.csic.es](mailto:caso@eelm.csic.es)  
Técnicas de laboratorio  
*Calidad y difusión.*
- Miguel Á. Medina  
Torres  
[medina@uma.es](mailto:medina@uma.es)  
Biología molecular y de  
sistemas, biofísica y

bioquímica  
*Monitor.*

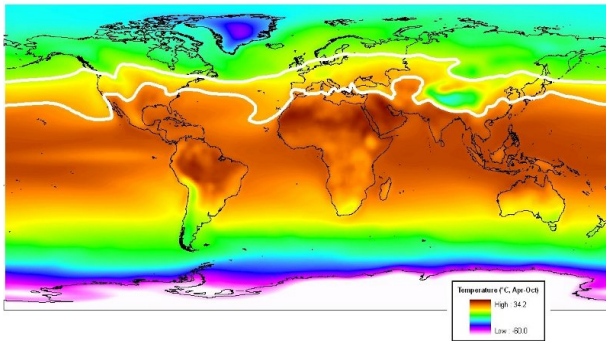
- Ramón Muñoz-Chápuli  
[chapuli@uma.es](mailto:chapuli@uma.es)  
Biología del desarrollo y  
cardiovascular  
*Coordinación de la  
edición electrónica,  
foros de la ciencia.*
- Raúl Montañez  
Martínez  
[raulmm@gmail.com](mailto:raulmm@gmail.com)  
Biología sintética y de  
sistemas  
*Coordinación de diseño.*

### COMITÉ EDITORIAL ASOCIADO

- Alberto Martínez  
[almarvi@wanadoo.es](mailto:almarvi@wanadoo.es)  
Educación ambiental y  
para el empleo.
- Alejandro Pérez García  
[aperez@uma.es](mailto:aperez@uma.es)  
Microbiología,  
interacción  
planta-patógeno.
- Alicia Rivera  
[arivera@uma.es](mailto:arivera@uma.es)  
Neurobiología y  
enfermedades  
neurodegenerativas.
- Félix López Figueroa  
[felix\\_lopez@uma.es](mailto:felix_lopez@uma.es)  
Ecología y fotobiología,  
cambio climático.
- Francisco Cánovas  
[canovas@uma.es](mailto:canovas@uma.es)  
Fisiología molecular  
vegetal, bioquímica y  
biología molecular.
- Jesús Olivero  
[jesusolivero@uma.es](mailto:jesusolivero@uma.es)  
Zoogeografía y  
biodiversidad animal.
- Juan A. Pérez Claros  
[johnny@uma.es](mailto:johnny@uma.es)  
Paleontología.
- Margarita Pérez Martín  
[marper@uma.es](mailto:marper@uma.es)  
Fisiología animal,  
neurogénesis.
- M<sup>a</sup> del Carmen Alonso  
[mdalonso@uma.es](mailto:mdalonso@uma.es)  
Microbiología de aguas,  
patología vírica de  
peces.
- M<sup>a</sup> Jesús García  
Sánchez  
[mjgs@uma.es](mailto:mjgs@uma.es)  
Fisiología vegetal,  
nutrición mineral.
- María Jesús Perlés  
[mjperles@uma.es](mailto:mjperles@uma.es)  
Geomorfología, riesgos  
medioambientales.
- M. Gonzalo Claros  
[claros@uma.es](mailto:claros@uma.es)  
Bioquímica, biología  
molecular y  
bioinformática.
- Raquel Carmona  
[rcarmona@uma.es](mailto:rcarmona@uma.es)  
Ecofisiología,  
biorremediación.
- Salvador Guirado  
[guirado@uma.es](mailto:guirado@uma.es)  
Biología celular,  
neurobiología.

## La portada

Northern Hemisphere 2049 Growing Season Average Temperatures (°C, Apr-Oct)



El patrón de temperaturas previsto para el año 2049 obligará a muchas especies a adaptarse a más calor o a mudarse a latitudes más cómodas. La vid es una de ellas: o se adapta a vivir con menos agua, o estaremos importando vinos ingleses en unos años.

Figura de G. Jones

## Índice

Editorial	29
La imagen comentada	30
Monitor	31
Fotosíntesis artificial	32
Encuentros con las novedades	35
Escribir bien no cuesta trabajo	37
Adaptación de la vid a la sequía	38
Vida y obra: Gause	44
Encontronazos: ¿invasoras o invitadas?	46
Los Premios	49
Reseña: <i>Evolution</i> de J. A. Shapiro	53

## Editorial

Con las navidades pisándonos los talones, presentamos este número de otoño. En un intento de fomentar la participación de los lectores, estrenamos *Encontronazos en la Biología*, una nueva sección donde se enfrentarán dos opiniones razonadamente argumentadas. Para empezar, un debate que no es fácil de dilucidar: ¿*invasoras o invitadas?* nos hace reflexionar sobre la naturaleza dinámica y nuestro concepto de lo peligroso y lo extraño. Considere esta nueva sección como una chispa que enciende una mecha; intentaremos que la llama siga viva en nuestra *web* que es la suya: no se corte y participe con su opinión.

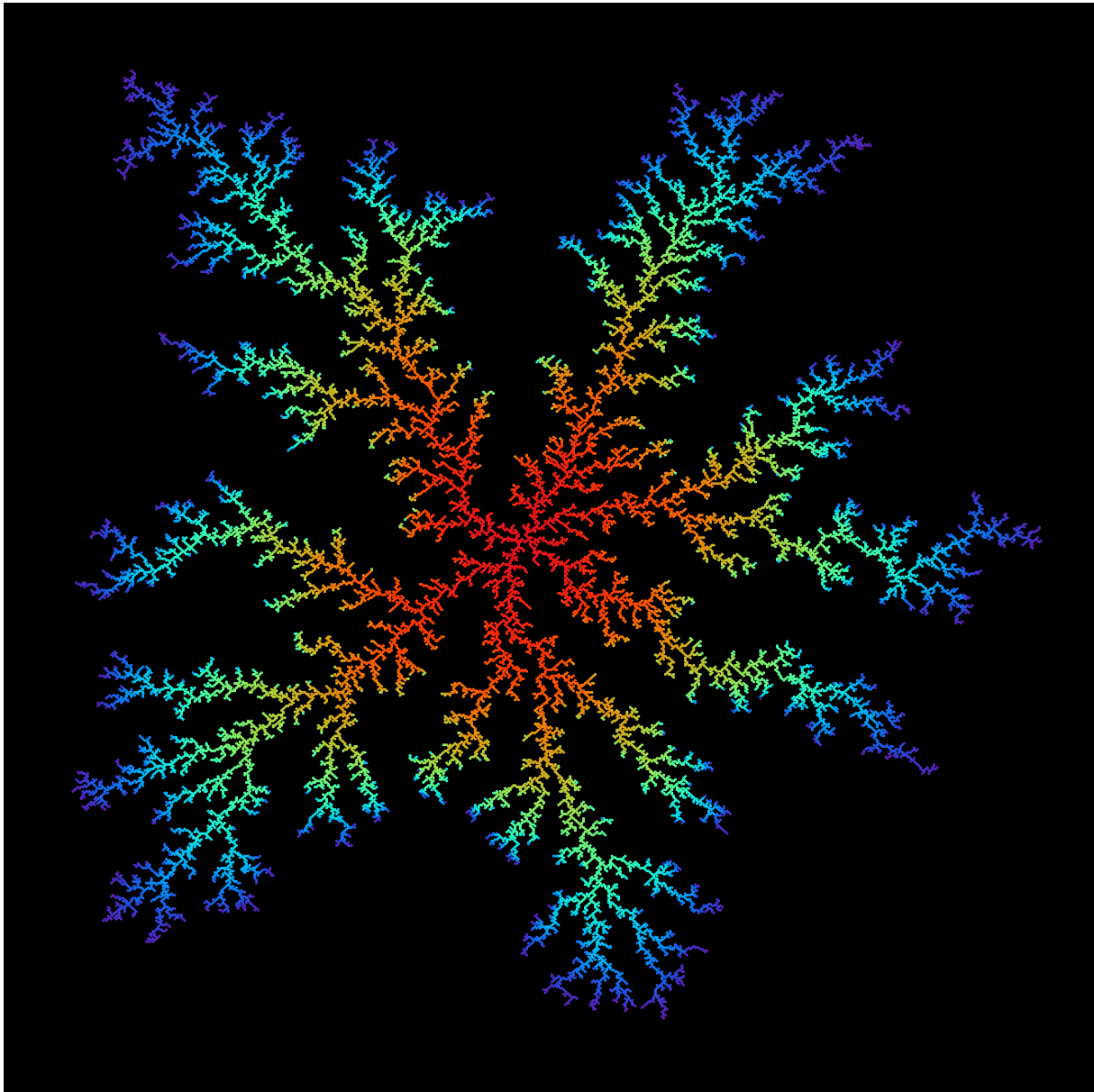
Otro contenido destacado es el artículo sobre *fotosíntesis artificial*. Ante un cambio climático indiscutible, en la última Cumbre del Clima celebrada en París ha quedado claro que no se puede esperar más para obtener energía de otra forma. Esto se sabe desde hace décadas, sí, pero ¿qué nos hace confiar en que *ahora* se va a reaccionar? Bien, el hecho de que centenares de fondos de inversión se hayan alejado de los combustibles fósiles,

entre ellos, instituciones como la Fundación Rockefeller o la aseguradora Allianz, indica que el desarrollo basado en petróleo puede empezar a cambiar definitivamente. Es una pena que en nuestro país, tan bien dotado para la energía renovable por clima e investigadores (mejorando lo presente los autores del artículo, que trabajan en Suecia), ya empiece desde la fila de atrás en esta nueva carrera en el desarrollo e innovación tecnológica donde la *biomimesis* es la estrategia y la Biología es el medio.

Por otra parte, la adaptación de cultivos a las más que probables nuevas condiciones exigirá lo mejor de la biotecnología para evitar la desbandada de especies: el artículo sobre adaptación de la vid a la sequía es buen ejemplo de ello y, afortunadamente, de que algunas instituciones sí miran hacia el futuro.

Pase unas felices fiestas, pero no descuide el desafío tan enorme que le espera a la Biología del siglo XXI.

## *La imagen comentada*



### AGREGADO FRACTAL

¿Es una raíz? ¿Es un hongo? ¿Es un mapa? Es... ¡un fractal! Es una de las casi infinitas formas que puede adoptar la agrupación de diez mil partículas que se mueven al azar hasta topar con el aglomerado. La forma resultante le es familiar porque la naturaleza suele ocupar el espacio de forma recurrente, aplicando una vez tras otra la misma sencilla regla. La formación de vasos sanguíneos y bronquios, el crecimiento de colonias de organismos, la propagación de fracturas y tantos otros casos en los que el espacio se va ocupando progresivamente a base de pequeñas repeticiones modulares conducen a este tipo de estructuras. La característica

más impresionante es que consiguen ocupar un espacio de dimensión  $n$  con formaciones de dimensión inferior. La estructura de la imagen ocupa un plano ( $n = 2$ ) y, sin embargo, la relación entre el número de partes y el espacio que ocupan sigue una dimensión 1,8 aproximadamente. De igual forma, por ejemplo, la copa de un árbol ocupa un espacio de tres dimensiones con objetos de 2 (las hojas) dispuestos en una configuración de dimensión entre 2 y 3. Esta economía a la hora de construir estructuras aparece espontáneamente en la naturaleza. Sólo tiene que mirar atentamente.

La imagen se ha creado con **R**. Aquí está el [código](#).



---

## Monitor

---

### El año de la edición génica y genómica:

Este 2015 que acaba se concedió el Premio Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica a las investigadoras Emmanuelle Charpentier y Jennifer Doudna con los siguientes argumentos: «Las investigaciones de Emmanuelle Charpentier y Jennifer Doudna suponen una revolución biotecnológica, al haber desarrollado una tecnología de edición genómica que permite reescribir el genoma y corregir genes defectuosos con un nivel de precisión sin precedentes y de forma muy económica. Su trabajo, inspirado en la defensa inmunitaria de las bacterias ante los virus, abre así una gran esperanza a la terapia génica y al tratamiento de enfermedades, como el cáncer, la fibrosis quística y el Síndrome de Inmunodeficiencia Severa Combinada (la enfermedad de los conocidos como niños burbuja), entre otras». Ciertamente, en muy poco tiempo el sistema CRISPR/Cas9 ha conseguido revolucionar la forma de abordar experimentalmente la manipulación de genes. Este año 2015 ha sido el gran año de la explosión de las aplicaciones de esta poderosa, eficiente y precisa tecnología. Una sencilla búsqueda en [Pubmed](#) muestra que se habían publicado, hasta mediados de diciembre, 1249 artículos que mencionan CRISPR en sus títulos, frente a los 601 artículos publicados en 2014. Ya en diciembre de 2014 un artículo publicado en el prestigioso [MIT Technology Review](#) consideraba a la tecnología basada en el sistema CRISPR/Cas9 «el más grande descubrimiento biotecnológico del siglo». Por ello, no es extraño que las principales editoriales científicas hayan prestado una atención especial a la edición génica y genómica, particularmente las basadas en el sistema CRISPR/Cas9 y sus aplicaciones.

El grupo editorial *Nature* ha dedicado tres especiales al tema. Por una parte, están disponible en la red una completa [Genome Editing collection](#) y una excelente [Special Page CRISPR: The Good, the Bad and the Unknown](#). Por otra parte, en el número de la revista *Nature* del 3 de diciembre de 2015 ha aparecido una separata especial [Nature Outlook Genome Editing](#) que contiene en sus 48 páginas un editorial, diez comentarios y noticias y 6 artículos. Por su parte, *Science* mantiene desde el pasado 23 de noviembre la [Special Collection: The CRISPR Revolution](#) con noticias, reportajes, comentarios y enlaces a artículos de investigación

y revisiones.

*Nota al cierre de la edición: El viernes 18 de diciembre, fecha de cierre de la edición del presente número de Encuentros en la Biología, la revista Science acaba de anunciar lo que era un «secreto a voces» o la «crónica de una noticia anunciada»: la edición génica-genómica mediante el sistema CRISPR/Cas9 ha sido elegido el tema de investigación más impactante y relevante del año que concluye, esto es el [Breakthrough of the Year 2015](#).*

### La «tabla periódica» de los compuestos proteicos:

El viernes 11 de diciembre de 2015 la revista *Science* ha hecho pública una nueva tabla periódica para la ciencia. A diferencia de la tabla periódica original de Mendeléyev que clasifica y organiza los elementos químicos, esta nueva tabla periódica organiza los complejos proteicos o, más precisamente, las diferentes topologías de las estructuras cuaternarias de las proteínas. La nueva tabla es presentada, comentada y descrita en el artículo de investigación [Principles of assembly reveal a periodic table of protein complexes](#) firmado por Sebastian E. Ahnert, Joseph A. Marsh, Helena Hernández, Carol V. Robinson y Sara A. Teichmann, de las Universidades de Cambridge, Edimburgo y Oxford, el EBI (*European Bioinformatics Institute*) y el *Wellcome Trust Sanger Institute*. A pesar de que la tabla periódica de los elementos y esta nueva tabla periódica de los complejos proteicos muestran múltiples diferencias, ambas comparten una importante característica: su poder predictivo. Cuando Dmitri Ivanovich Mendeléyev (1834-1907) presentó su tabla periódica en el siglo XIX predijo que cuando se descubrieran nuevos elementos ellos irían ocupando los huecos que dejó en su tabla original. Su predicción fue confirmada. Análogamente, el equipo científico que ha publicado la nueva tabla periódica de los complejos proteicos señala que su tabla periódica pone de manifiesto las regiones del espacio de estructuras cuaternarias de proteínas que permanecen hoy día despobladas. Por tanto, esta nueva tabla periódica no sólo proporciona una nueva forma de ver la enorme variedad de estructuras proteicas existentes en la naturaleza sino que, además, señala qué estructuras adicionales son posibles y, por tanto, podrían ser descubiertas en el futuro.

## NANOTECNOLOGÍA INSPIRADA EN LA NATURALEZA: CELDA SOLARES SENSIBILIZADAS CON COLORANTE

por ROCÍO SÁNCHEZ-DE-ARMAS<sup>1</sup> Y EMILIO GUTIÉRREZ-BELTRÁN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MATERIALS THEORY DIVISION, DEPARTMENT OF PHYSICS AND ASTRONOMY, UPPSALA UNIVERSITY, P.O Box 516, S75120

<sup>2</sup>DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY, UPPSALA BIOCENTER, SWEDISH UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND LINNEAN

CENTER FOR PLANT BIOLOGY, SE-75007, UPPSALA, SUECIA

ROCIO.SANCHEZDEARMAS@PHYSICS.UU.SE

*Enviado: 30 noviembre 2015. Aceptado: 3 diciembre 2015*

Entre los retos más importantes a los que la humanidad debe enfrentarse en la actualidad se encuentran el incremento constante de la demanda de energía y el control de los niveles de CO<sub>2</sub> (generado por la combustión de combustibles fósiles) en la atmósfera. Con el fin de solventar estos problemas e inspirados por el proceso natural de la fotosíntesis los científicos trabajan para transformar de manera eficiente la energía solar en energía eléctrica, desarrollando y optimizando dispositivos llamados celdas solares. Pese a su gran potencial, la tecnología solar presenta en la actualidad una baja eficiencia, manteniendo abierto un amplio campo de investigación centrado en la optimización de dichos dispositivos. En este artículo se realiza una breve descripción del diseño y el funcionamiento de uno de los tipos de celda solar más prometedores, las celdas solares sensibilizadas con colorante (DSSC).

*The conversion of solar energy into electricity is one of the best solutions to solve both the problems of global warming and energy shortage. Inspired by the natural photosynthesis, researchers have developed artificial devices, called solar cells, to perform similar photochemical reactions. Dye Sensitized Solar Cells (DSSC), based on an organic or inorganic dye supported on a semiconductor, are one of the most promising type of solar cell. Although this technology has a strong potential for producing a clean energy matrix, it still remains a great challenge to develop a cheap and stable system with high efficiency. Here, we present a brief description on the design and operation of Dye Sensitized Solar Cells.*

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, el desarrollo de nuevos métodos para obtener energía se hace imprescindible para evitar alcanzar una situación en que la demanda no pueda ser abastecida y el sistema colapse. Además, el dióxido de carbono producido en la combustión de combustibles fósiles acarrea consigo problemas medioambientales cada vez más graves, como la contaminación, el aumento de los gases de efecto invernadero y la perforación de la capa de ozono.

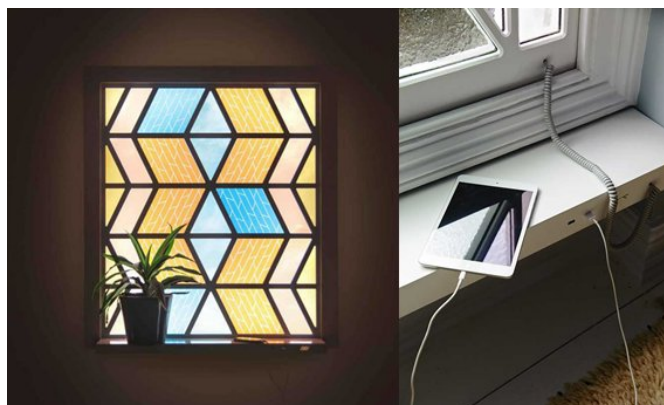
La energía solar constituye una fuente de energía limpia, abundante y renovable. Se estima que la Tierra recibe cada año una cantidad de energía del Sol equivalente a 10<sup>4</sup> veces el consumo mundial de energía. Los dispositivos encargados de convertir la radiación solar en energía eléctrica se denominan *celdas solares fotovoltaicas*. Su funcionamiento está basado en el efecto fotoeléctrico, descrito por Heinrich Hertz en 1887, y posteriormente explicado teórica-

mente por Einstein en 1905, explicación por la que obtuvo el Premio Nobel de Física en 1921.

La primera celda solar fotovoltaica fue construida por Charles Fritts en 1884. Estaba formada por selenio cubierto de una fina capa de oro y poseía una eficiencia del 1%. Sin embargo, no fue hasta 1954 cuando los Laboratorios Bell construyeron la primera celda solar comercial, basada en silicio. Desde entonces la investigación en celdas solares no ha cesado, y se siguen produciendo importantes avances. Actualmente coexisten en los laboratorios de investigación tres generaciones diferenciadas de celdas solares, que aportan distintas soluciones a un mismo problema: usar el sol como fuente de energía.

La mayoría de las celdas solares presentes actualmente en el mercado están basadas en obleas de silicio. Es la llamada *tecnología de primera generación*. Como ésta es ya una tecnología madura, su coste total está dominado por el coste del material y no es posible conseguir avances significativos en la reducción de los costes de producción. Estos dispositivos se están acercando al límite de eficiencia teórica que está entre el 31% y el 41% y tienen un periodo de amortización de 5 a 7 años. Durante la década de

los 80 apareció la tecnología fotovoltaica de *segunda generación* cuya principal característica consiste en la sustitución de las obleas de silicio, de amplia superficie, por capas delgadas de semiconductor (como telurio de cadmio -CdTe-, silicio amorfo -a-Si- o seleniuro de cobre-indio -CIS-). Para la construcción de la celda se aplica una capa fina de estos materiales sobre un sustrato como vidrio o cerámica, lo que hace que se produzca una reducción significativa de material y por lo tanto del coste del dispositivo. Estas celdas tienen las mismas limitaciones de eficiencia teórica que las de la primera generación, pero a un menor coste. Sin embargo, hasta el momento no se ha conseguido alcanzar con este tipo de celdas la eficiencia que se consigue con celdas convencionales de silicio. Se denominan celdas solares de *tercera generación* aquellas que permiten obtener eficiencias de conversión eléctrica teóricas mucho mayores que las actuales y a un coste de producción mucho menor. Se trata de una tecnología en fase de experimentación por lo que se están aplicando diferentes estrategias con el fin de conseguir aumentos sustanciales en la eficiencia.

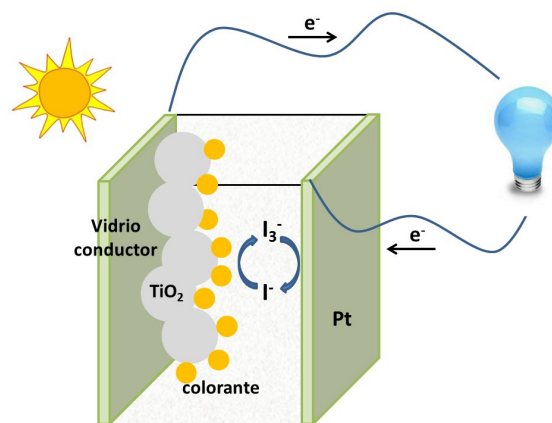


**Figura 1.** Ventanas con celdas DSSC diseñadas y construidas por Marjan van Aubel.

Entre las celdas solares de tercera generación, una de las alternativas más prometedoras desde un punto de vista tecnológico consiste en utilizar celdas solares sensibilizadas mediante un colorante o DSSC (*Dye Sensitized Solar Cells*). La alternativa DSSC propuesta en 1991 por Grätzel<sup>[1]</sup> implica la adsorción de un colorante sobre la superficie del semiconductor (óxido de titanio, TiO<sub>2</sub>) que actúa como captador de la energía solar. La excitación inducida por el fotón tiene lugar en el colorante que transfiere un electrón al semiconductor iniciando el ciclo de corriente. El óxido de titanio sólo puede excitarse con radiación ultravioleta. El colorante extiende el rango de absorción hacia longitudes de onda mayores, hacia la zona del visible. De este modo las funciones de absorción y

transporte de carga necesarias para el funcionamiento de una celda solar quedan separadas en las DSSC. La principal ventaja que ofrece este tipo de celdas es que sus costes de fabricación son mucho menores que los de las celdas convencionales basadas en silicio. Además pueden imprimirse fácilmente sobre superficies flexibles y pueden construirse paneles portátiles, multiformas, semitransparentes, coloreados y decorativos. Aunque ésta es una tecnología relativamente nueva ya existen relojes comerciales que se abastecen de energía solar por medio de una celda de Grätzel. Sin embargo, por sus características de flexibilidad y variedad de colores y formas, el futuro de estas celdas se encuentra en nuevas aplicaciones que pasan por la decoración o por su integración en elementos arquitectónicos. Algunos diseñadores como Marjan van Aubel están haciendo uso de esta tecnología para construir, por ejemplo, ventanas de colores que, mientras dejan pasar la luz, la aprovechan para generar electricidad (Figura 1).

Actualmente existen numerosos grupos de investigación implicados en la mejora de la eficiencia y también de la estabilidad de este tipo de dispositivos. Una DSSC típica contiene un electrodo de un óxido semiconductor poroso, generalmente TiO<sub>2</sub> nanocrystalino, soportado sobre un vidrio conductor (TCO) y recubierto con una monocapa de colorante (fotoelectrodo). Además, es necesario un contraelectrodo, que actúa como cátodo y generalmente es de platino (Pt), y un electrolito regenerador que contiene el par redox I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup> en un disolvente orgánico (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema general de una celda solar sensibilizada con colorante.

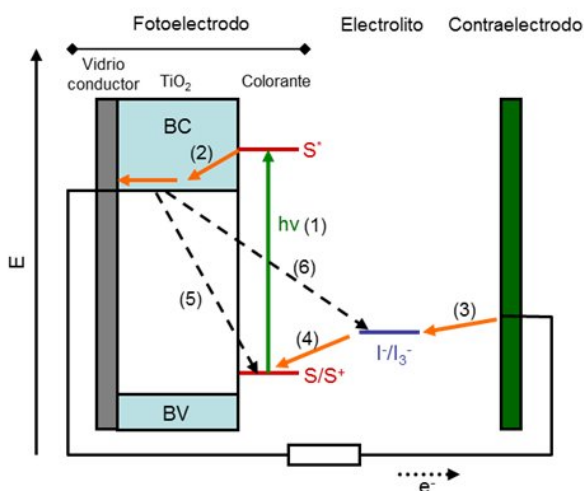
El modelo que se usa para describir el principio fotoquímico de las celdas solares sensibilizadas con colorante es similar al que se emplea para describir el proceso natural de la fotosíntesis. El pigmento más importante en este proceso es la clorofila, que

tiene la capacidad de absorber en la región azul del espectro electromagnético. En la captación de luz del sol y su transformación en energía química está involucrada una compleja maquinaria proteínica situada en los cloroplastos: el Fotosistema I absorbe un fotón proveniente de la radiación solar y provoca la concomitante oxidación del sistema; este electrón cedido por el Fotosistema I es transferido al Fotosistema II, un complejo de proteína-clorofila, que actúa como aceptor. El siguiente proceso inmediato es la transferencia del electrón a una molécula de quinona asociada al complejo del fotosistema, desencadenando así una bomba de protones que lleva a la reducción de  $\text{NADP}^+$  a  $\text{NADPH}$ . Lo que sigue en la cascada de reacciones tiene como consecuencia la síntesis de moléculas de elevada importancia para el organismo.

electrones inyectados en la banda de conducción del  $\text{TiO}_2$  pueden recombinarse con el colorante oxidado o con los iones  $\text{I}_3^-$  en la superficie del semiconductor. Para obtener buenas eficiencias es necesario que los procesos de inyección y regeneración estén favorecidos (sean más rápidos) con respecto a los procesos de recombinación.

La eficiencia de la celda vendrá marcada por las propiedades del semiconductor, del colorante y del electrolito regenerador. Como dijimos anteriormente el óxido de titanio es el semiconductor más utilizado en DSSC. Se han probado otras alternativas, como  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SnO}_2$ , o  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , pero no se ha conseguido con ellos un aumento significativo de la eficiencia<sup>[2]</sup>. Con respecto al colorante, las eficiencias más altas se han conseguido hasta el momento en celdas sensibilizadas con complejos de rutenio<sup>[3]</sup>. Sin embargo, en los últimos años existe una marcada tendencia a la utilización de colorantes puramente orgánicos como sensibilizadores en DSSC. Se han sintetizado y estudiado diferentes colorantes y se han conseguido celdas solares con rendimientos por encima del 12% con colorantes basados en la porfirina (presente en la clorofila)<sup>[4]</sup>. Los colorantes puramente orgánicos presentan ventajas importantes sobre los complejos de rutenio. En primer lugar pueden sintetizarse y modificarse fácilmente y con un coste mucho menor que los complejos de rutenio. Es posible introducir distintos grupos funcionales en el esqueleto de los cromóforos que permiten modificar sus propiedades y ajustarlas para optimizar la eficiencia de las DSSCs. Además, estos colorantes son capaces de absorber más radiación en la zona visible del espectro, lo que facilita el proceso de captación de la luz solar. Por último, al no poseer metales raros como el rutenio o el platino, no existe la preocupación del posible agotamiento de las materias primas. Recientemente se ha intentado sensibilizar celdas solares con extractos naturales extraídos directamente de la flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y de la piel de la granada (*Punica granatum*), pero las eficiencias obtenidas en estas celdas resultaron bastante bajas (alrededor del 1.8%)<sup>[5]</sup>. En cuanto al electrolito regenerador existen en la actualidad varias vías de investigación abiertas, que incluyen la introducción de sales iónicas o electrolitos sólidos<sup>[6]</sup>.

Resumiendo, las celdas solares sensibilizadas con colorante constituyen una alternativa muy prometedora para la utilización de la energía solar, aunque es necesario continuar con el extenso trabajo de investigación realizado en los últimos años en este campo con el fin de optimizar los distintos procesos que tienen lugar durante su funcionamiento y conseguir así celdas más eficientes y duraderas.



**Figura 3.** Esquema del funcionamiento de una DSSC. Los procesos que tiene lugar son: excitación (1), inyección (2), reducción del electrolito (3), regeneración del colorante (4). Durante el ciclo pueden producirse pérdidas de eficiencia por recombinación (5 y 6).

De manera análoga una celda solar sensibilizada con colorante transforma energía solar en energía eléctrica, a través del mecanismo esquematizado en la Figura 3. Al incidir la radiación sobre el fotoelectrodo es absorbida por el colorante (el  $\text{TiO}_2$  es transparente a la luz visible) que pasa a su estado excitado ( $\text{S}^*$ ), desde el cual se produce la inyección de los electrones hasta el semiconductor ( $\text{TiO}_2$ ), seguida de la difusión de los electrones hasta el vidrio conductor. El circuito se cierra externamente en el contraelectrodo donde los electrones reducen el  $\text{I}_3^-$  a  $\text{I}^-$ , especie que repondrá electrones al nivel desocupado en el colorante, cerrando el ciclo de corriente. Durante este ciclo se producen procesos no deseados que suponen una pérdida de la eficiencia de la celda solar. Los



**Referencias**

<sup>1</sup>O'Regan B, Grätzel M. *Nature* 353: 737-740, 1991.  
<sup>2</sup>Rho W, Jeon H, Kim H, and others *J. Nanomaterials* Article ID 247689. 2015.  
<sup>3</sup>Robertson N. *Angew. Chem. Int. Ed.* 45: 2338-2345, 2006.

<sup>4</sup>Yella A, Lee H, Nok HN, and others. *Science* 334: 629-634, 2011.  
<sup>5</sup>Hernández AR, Estevez M, Vargas S, and others. *J. appl. res. technol.* 10: 38-47, 2012.  
<sup>6</sup>Guillén E, Fernández-Lorenzo C, Alcántara R, and others. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 93: 1846-1852, 2009.

*Encuentros con las novedades*

**¿Un nuevo origen de los humanos?**



Créditos de la fotografía

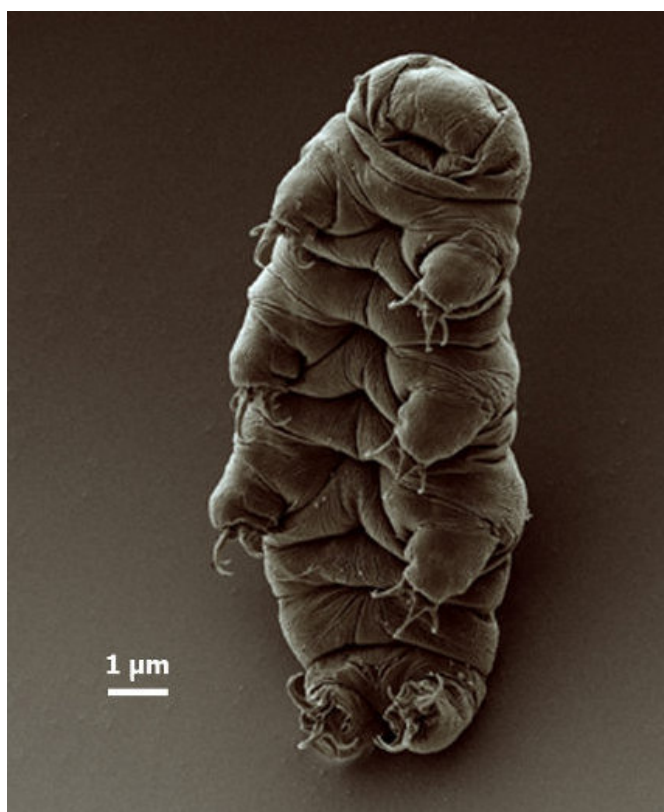
(Berger et al. *eLife* 2015;4:e09560). A pesar de que paleoantropólogos se caracterizan por discrepar entre ellos hasta extremos ridículos, no creo que mantengan ninguna discusión sobre que el descubrimiento del año (y quizás del siglo) sea el hallazgo en una cueva de Sudáfrica de *Homo naledi* (Hombre estrella, en legua sesotho). Este descubrimiento es excepcional por muchos motivos. Se trata de una especie de homínido extinto representado por unos 1550 restos correspondientes, al menos, a 15 individuos, los cuales presentaban una estatura y peso análogos a los de un humano pequeño actual (unos 150 cm y 45 kg, respectivamente). La morfología de los pies indican una excelente adaptación a la bipedestación y la de sus manos a la manipulación de objetos. Sin embargo la longitud y curvatura de sus dedos revelan que todavía retienen cierta capacidad de agarre para trepar y colgarse durante desplazamientos arbóreos. Llama poderosamente la atención que, aunque la morfología craneal y dentición sea similar a la de los

primeros representantes del género *Homo*, su volumen endocraneal es muy reducido, entrando en el rango de los australopitecinos (así como su tronco y cinturas escapular y pélvica). Otro aspecto sumamente interesante es que las evidencias disponibles indican que los cuerpos fueron llevados intencionadamente a la cámara dentro de cueva, la cual estuvo siempre a oscuras e inaccesible a otros organismos que no fueran los homínidos. Este gran hallazgo sólo tiene un punto débil: la carencia de una datación. Quizás por ello no ha sido publicado en las revistas *Nature* o *Science* que son donde tradicionalmente se publican este tipo de eventos. La revista elegida para la ocasión ha sido *eLife* que con un tercer puesto en el *ranking* del JCR en el área de Biología, sin duda verá incrementado su índice de impacto con la publicación de este gran descubrimiento. Si se confirmara que es coetáneo de *Australopithecus africanus*, significaría que nuestro género no arrancaríamos en este taxón si no probablemente antes: ¡todo un cambio de paradigma! Puede que para no quedarse atrás, el grupo *Nature* ha decidido publicar en su revista *Nature Communications* la descripción de la mano y el pie de este taxón. Esperemos datación de los restos llegue pronto, mientras tanto estemos seguros que *Homo naledi* no va a dejar de sorprendernos.

**Sorprendente hallazgo en el genoma de los tardígrados**

(Boothby et al. 2015. *PNAS Early Edition*, doi:10.1073/pnas.1510461112). La transferencia lateral de genes (TLG) entre taxones diferentes es ya un proceso conocido, pero no así el grado en que su aportación es importante en los metazoos. Boothby y sus colaboradores dan un paso en este sentido con la secuenciación del genoma completo del tardígrado *Hypsibius dujardini*.

Los tardígrados u «osos de agua» son populares por su capacidad para sobrevivir en ambientes extremos: deshidratación total, temperaturas cercanas al cero absoluto, altísima radiactividad, exposición al espacio exterior. Precisamente estas habilidades podrían explicar que un 17,5% del genoma de *Hypsibius dujardini* tenga orígenes taxonómicos tan diversos como bacterias (principal fuente de TLG), arqueas, hongos y plantas. El record en metazoos hasta el momento lo ostentaba un rotífero, *Adineta ricciae*, con un 9,6% de genes de procedencia extraña. Curiosamente, los rotíferos muestran también tolerancia a la desecación, entre cuyas consecuencias está la producción de daños en el ADN. Boothby y colaboradores proponen que, durante la rehidratación de las células, las membranas se tornan permeables a macromoléculas como el ADN, que podría incorporarse al genoma a través de los mecanismos de reparación. Si bien esto es especulación, no lo es, en cambio, que una parte de los genes «importados» codifican mecanismos de reparación del ADN y de protección de membranas y proteínas, precisamente aquellos que hacen posible la enorme capacidad de resistencia de los tardígrados.



Créditos de la fotografía

### ¿Por qué no hay más leones en la sabana?



Créditos de la fotografía

(Hatton et al. 2015. *Science* 349: 1070). En septiembre de este año Hatton y colaboradores han asombrado a la comunidad científica con un trabajo muy interesante que ha visto la luz en la revista *Science*. En él, tras una completa búsqueda bibliográfica, se pone de manifiesto una sorprendente regularidad que emerge cuando se estudian a gran escala ecosistemas tanto terrestres como acuáticos: la biomasa de predadores y presas se escalan a una potencia próxima a  $3/4$ . Esta relación se cumple tanto para grandes mamíferos, como para invertebrados, plantas o el plancton. Pero ¿qué implicaciones se derivan de este hallazgo? A todos nos resultan familiares las pirámides eltonianas en las que los productores primarios se sitúan en la base mientras que los distintos niveles de consumidores se van colocando cada vez más arriba. Estos autores han puesto de manifiesto que la bases de dichas pirámides tróficas se hacen desproporcionadamente mayores cuanto más biomasa contienen, o lo que es igual, a mayor biomasa menor productividad. Este exponente es curiosamente similar al obtenido a nivel individual entre producción y biomasa, y que se encuentra también en otros fenómenos biológicos tales como es la ley de Kleiber (la tasa metabólica respecto al tamaño corporal). Los autores reconocen que no pueden explicar el por qué de esta regularidad, pero sus datos son concluyentes al respecto. Está claro que, a veces, la recopilación y estudio de los datos publicados por otros autores ¡pueden ensamblarse en metaanálisis muy fructíferos científicamente!

## *Escribir bien no cuesta trabajo*

### Notación científica para científicos:

Todos sabemos escribir los números pequeños o manejables, o sea, los  $> 0,001$  y los  $< 1000$ . Recuerda que el Sistema Internacional, y por ende la ISO 80000 y en su nombre la UNE vigente en España, recomiendan usar los prefijos multiplicativos de las unidades para que el número al que afecten se encuentre siempre dentro de los márgenes anteriores ( $0,001 < x < 1000$ ). El problema real surge cuando tenemos números que no es fácil enmarcar en el margen de yotta (Y,  $10^{24}$ ) a yocto (y,  $10^{-24}$ ), o bien trabajamos con ordenadores incapaces de interpretar estas variantes de las unidades. Arquímedes fue uno de los primeros que tuvo que enfrentarse a los números grandes, y desde entonces se han propuesto muchas formas de escribirlos. La solución vigente desde mediados del siglo XX es la *notación en forma exponencial*, cuya fórmula general es

$$m \times 10^e$$

en donde

- la multiplicación se indica preferentemente con el aspa  $\times$ ;
- $m$  es la mantisa;
  - contiene el número de dígitos significativos, o sea, nos revelan la precisión de la medida; raramente serán más de 4 cifras ( $6,022 \times 10^{23}$ )
  - siempre debe contar con un único número entero, entre 1 y 9;
  - cuando contenga más de 4 cifras, todas menos una serán decimales, que se separarán de 3 en tres a partir de la coma por un espacio irrompible ( $6,022\ 141\ 5 \times 10^{23}$ ; véase el número 124 de esta revista).
- $e$  es el orden de magnitud.

Cuando tras una serie de operaciones, el número entero de la mantisa  $m$  pasa a ser cero, hay que multiplicar

$m$  por 10 y restar uno a  $e$ :

$$0,9 \times 10^6 \rightarrow 9 \times 10^5$$

y si es mayor que 10, hay que dividir  $m$  entre 10 y sumar 1 a  $e$ :

$$11 \times 10^6 \rightarrow 1,1 \times 10^7$$

Esta regla no se cumplirá cuando se citen varios números en los que lo importante sea que todos tengan el mismo orden de magnitud para que  $9 \times 10^5$  no parezca muy grande (dado que lo interpretaríamos erróneamente como  $\otimes 9 \times 10^6$ ) ni  $1,1 \times 10^7$  parezca muy pequeño (porque lo interpretaríamos mal como  $\otimes 1,1 \times 10^6$ ).

En los códigos de programación, en las calculadoras o las terminales de los ordenadores, en los que no se pueden escribir ni superíndices ni aspas de multiplicar, la notación científica se expresa con la *notación E*, que presenta la siguiente estructura:

$$mEe$$

en donde la «E» (preferiblemente mayúscula para no confundirla con el número e) sustituye al aspa y al 10, y permite que el exponente se escriba en línea. Además, en este caso, los números no han de separarse de tres en tres, como sí hay que hacer en la notación científica. Veamos unos ejemplos de cómo se interconvierten la notación científica y E:

- $6,022 \times 10^{23} \rightarrow 6,022E23$
- $6,022\ 141\ 5 \times 10^{23} \rightarrow 6,0221415E23$
- $2,36E-14 \rightarrow 2,36 \times 10^{-14}$
- $7,00012E3 \rightarrow 7,000\ 12 \times 10^3$

Hay que ser consciente de que la notación E sólo deberá usarse en los textos planos, mientras que en cualquier otro texto formateado deberá usarse la exponencial.

**Para saber más:** [Ideas, reglas y consejos para traducir y redactar textos científicos](#)



## RESPUESTA AL DÉFICIT HÍDRICO DE LA VID: MANERAS DE ADAPTARSE A LA SEQUÍA AL INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

por ENRICO CRETAZZO

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA, CENTRO DE CHURRIANA, 29140, MÁLAGA, ESPAÑA.

ENRICO.CRETAZZO@JUNTADEANDALUCIA.ES

*Enviado: 11 diciembre 2015. Aceptado: 16 diciembre 2015*

El futuro de la viticultura está seriamente amenazado por el cambio climático y por su evolución en los próximos años. El aumento de temperatura, debido a la mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y el consiguiente incremento en la demanda evapotranspirativa por el ambiente (y por tanto en término de estrés hídrico para las plantas), podrían hacer inviable, o cuanto menos inapropiado, el cultivo de la vid en el Mediterráneo durante este mismo siglo. Por tanto, con el objetivo de evitar, o al menos retardar al máximo, este panorama, se hace necesaria la optimización del uso de los recursos hídricos. Por un lado se busca un perfeccionamiento tecnológico en el campo de la gestión del riego. Por otro lado se ahonda en el conocimiento de los procesos fisiológicos de la vid y en los mecanismos moleculares que subyacen, al depender ambos del genotipo y del ambiente. La influencia ambiental se puede estimar mediante modelos matemáticos probabilísticos. La vid presenta una muy amplia variabilidad genética con variedades bien adaptadas en microclimas que presentan sequía estacional más o menos intensa. Estos genotipos tienen la capacidad de inducir respuestas al déficit hídrico que dan lugar a una mayor eficiencia en el uso del agua. Por tanto, pueden representar la base de programas de mejora y proporcionar los conocimientos para una elección varietal más correcta de cara a la adaptación de la vid en los nuevos hábitats que vendrán impuestos por el cambio climático.

*Climate change represents a serious threat for the future of viticulture. The temperature increase, due to a major atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, leads to a higher environmental evapotranspiration demand that is a major hydric deficit for plants. All that may be impossible, or at least unprofitable, cultivating grapevine in the Mediterranean area along this century. Therefore, the optimization of water use is necessary in order to avoid, or at least delay, this scenario. On one hand, researchers are constantly looking for technological advances in irrigation management. On the other hand, a deep understanding of vine physiological processes and related molecular pathways is necessary, because they depend both on genotype and on environment that can be estimated by mathematics models. Grapevine shows a huge intraspecific genetic variability, so it is possible to identify genotypes very well adapted to seasonal drought. They have capability to induce favorable response to water stress in order to achieve a better water use efficiency. Therefore such as genotypes represent the genetic basis for breeding programs and could supply knowledge for varietal choice in order to improve vine adaptation to new microclimates due to climate change .*

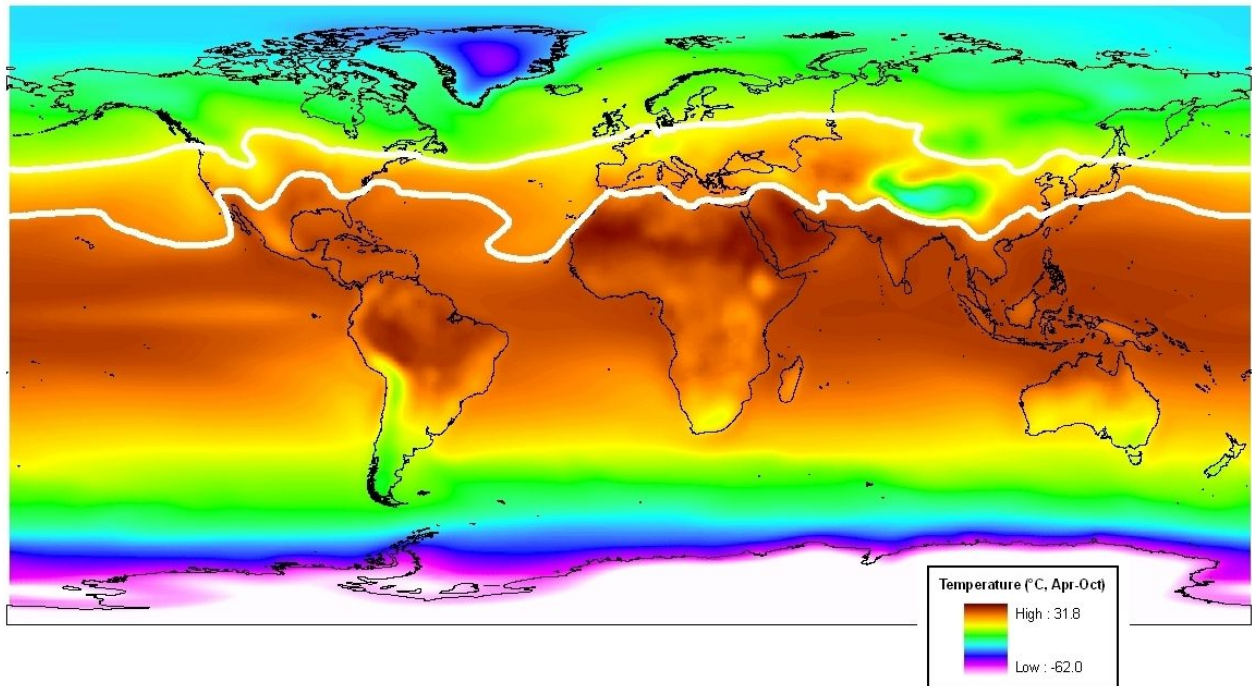
### La vid y el cambio climático

La vid (*Vitis vinifera*) es un cultivo extenso y económicamente importante en el mundo, pero sobre todo en Europa y en España. Nuestro país cuenta con la mayor superficie vitícola del mundo (más de 950 000 ha), con gran importancia económica (1000–1500 millones de euros, lo que supone más del 10 % de la producción agraria), social (con unos 400 000 productores, lo cual representa un recurso fundamental para el fomento de la fijación de población rural), ambiental y paisajístico. El mantenimiento de la viticultura ya se ve ahora, y lo será más en futuro, afectado por el proceso de cambio climático, en concreto por la escasez de agua y la elevada temperatura, lo que contribuye a su vez a incrementar aún más el gasto de un agua cada vez más escasa.

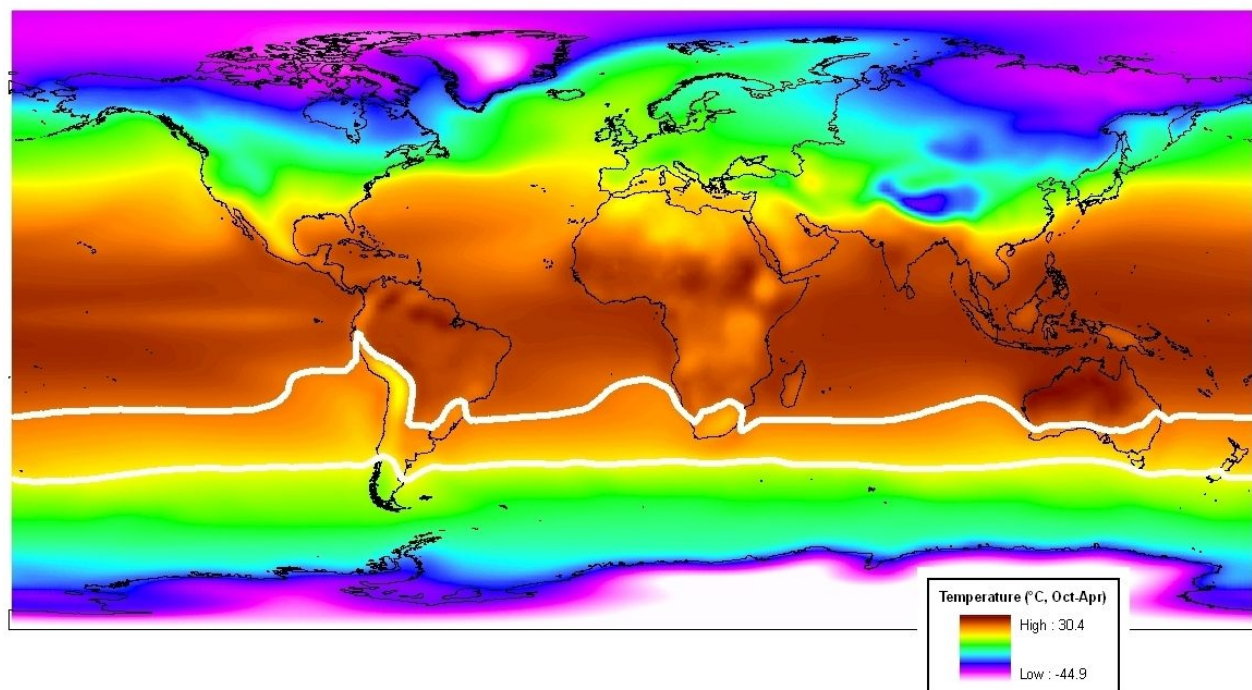
La temperatura y el agua son los principales factores que hacen posible la vitivinicultura y más en general la agricultura. La temperatura determina la fenología de un cultivo, mientras que el agua permite su crecimiento y el óptimo desarrollo en cada estadio fenológico. El cultivo de la vid solo resulta provechoso en una restringida franja de latitudes con determinadas condiciones climáticas (Figura 1). No obstante, existen miles de variedades cultivadas que, de acuerdo al elevado nivel de diferencias genéticas entre ellas, presentan a menudo cierta especificidad frente a determinados microclimas y condiciones edafológicas. En otras palabras, cada variedad de vid expresa plenamente su potencial vitivinícola en una franja aún más restringida, lo cual es la base del concepto tan de moda que es el *terroir*.



**Northern Hemisphere 1999 Growing Season Average Temperatures (°C, Apr-Oct)**



**Southern Hemisphere 1999 Growing Season Average Temperatures (°C, Oct-Apr)**



**Figura 1.** Regiones geográficas (delimitadas por las líneas blancas) en donde el clima permite una correcta viticultura. (Reproducida con permiso).

El clima de tipo mediterráneo encaja perfectamente para el cultivo de la viña. Está caracterizado por sequía estacional más o menos intensa. Durante esta fase, la vid (así como la mayoría de otras especies vegetales) se enfrenta a un déficit hídrico. En otras palabras, la demanda evapotranspirativa de agua por parte del ambiente frente al cultivo es mucho mayor

que el aporte natural de agua recibido por el cultivo. Indudablemente, la vid posee una capacidad única en el mundo vegetal para sobrevivir y fructificar en estas condiciones debido a la capacidad de exploración radical, al eficiente control estomacal de la transpiración, y a su eficaz ajuste osmótico. Hasta los años 90, el cultivo de la vid en España estaba

permitido por ley solo en condiciones de secano. Sin embargo, hoy ya sabemos que hay años en los que el déficit hídrico puede hacer que la producción resulte cuantitativa y cualitativamente inaceptable, o que incluso perjudique la supervivencia de la planta. Por esto, y gracias a los avances tecnológicos en tema de riego localizado (por microaspersión o por goteo), hoy en día en muchas denominaciones de origen de vinos se permite la práctica del riego en determinados periodos del ciclo de la planta y según modalidades bien establecidas. Así, se permite un suministro de agua de tan solo un 30 % del déficit hídrico durante las fases cruciales de envero y maduración que no repercutirá apreciablemente sobre el rendimiento de las cosechas con respecto a un suministro integral del déficit hídrico ambiental. Este riego conlleva un considerable incremento de la calidad del fruto. De hecho, la superficie vitícola cultivada con el auxilio del regadío aumenta año tras año y en 2014 ya lo utiliza un 36 % de las viñas de España.

Sin embargo, el cambio climático está produciendo un lento pero inexorable aumento de las temperaturas que tiene y tendrá cada vez más consecuencias tanto a nivel práctico como de percepción por parte de la opinión pública. El incremento de la temperatura en envero y maduración está provocando un constante aumento en la acumulación de azúcares en la baya y su adelantamiento temporal con respecto al óptimo para cada variedad en su particular microclima. La consecuencia es que se hace realmente difícil para el viticultor detectar el momento preciso para la cosecha, ya que si se adelanta mucho no se habrá alcanzado la correcta maduración fenólica (indispensable para expresar al máximo el potencial aromático), si se retrasa mucho tendremos un grado alcohólico potencial demasiado alto, pérdida de acidez por respiración y, en las variedades tintas, posible degradación de los antocianos (compuestos responsables del color que son termolábiles). Obviamente, el trabajo de los bodegueros y enólogos se está complicando cada vez más de cara a la obtención de vinos de calidad.

Por otro lado, el incremento de temperatura suele venir acompañado por una disminución de las precipitaciones anuales. Además, la demanda evapotranspirativa del ambiente es directamente proporcional a la temperatura. Por tanto, el déficit hídrico estacional y las necesidades de agua para los cultivos van creciendo con el calentamiento global. También va cambiando el momento óptimo del riego porque están cambiando las fases fenológicas de su ciclo biológico: si el déficit hídrico empieza demasiado pronto en la fase de envero, no habrá suficientes divisiones celulares en la baya para alcanzar su óptimo desarrollo. De igual forma, un déficit hídrico durante el final de la

fase de maduración impedirá el correcto crecimiento de las células de la baya ya diferenciadas.

El agua se considera el petróleo del siglo XXI. De hecho, su disponibilidad pelagra por el fuerte y constante incremento de la población mundial que significa mayores requerimientos de agua tanto a nivel urbano como agrícola ya que se necesita una cantidad mayor de alimentos. El consumo de agua para uso agrícola varía entre un 50 % y un 80 % del consumo total, por lo que la opinión pública ha empezado a sensibilizarse por este problema, sobre todo al tratarse de un cultivo que no es imprescindible para la supervivencia humana. Mientras que antes, en la agronomía, se solía hablar de producción por hectárea, en la actualidad se mide la biomasa producida o la cosecha obtenida por unidad de consumo de agua, parámetros que se definen como «eficiencia en el uso del agua» (EUA). De forma general, la EUA se puede definir como el volumen de agua que se consume (evapotranspira) para incorporar a la biomasa una determinada cantidad de carbono (en forma de CO<sub>2</sub>) procedente de la atmósfera.

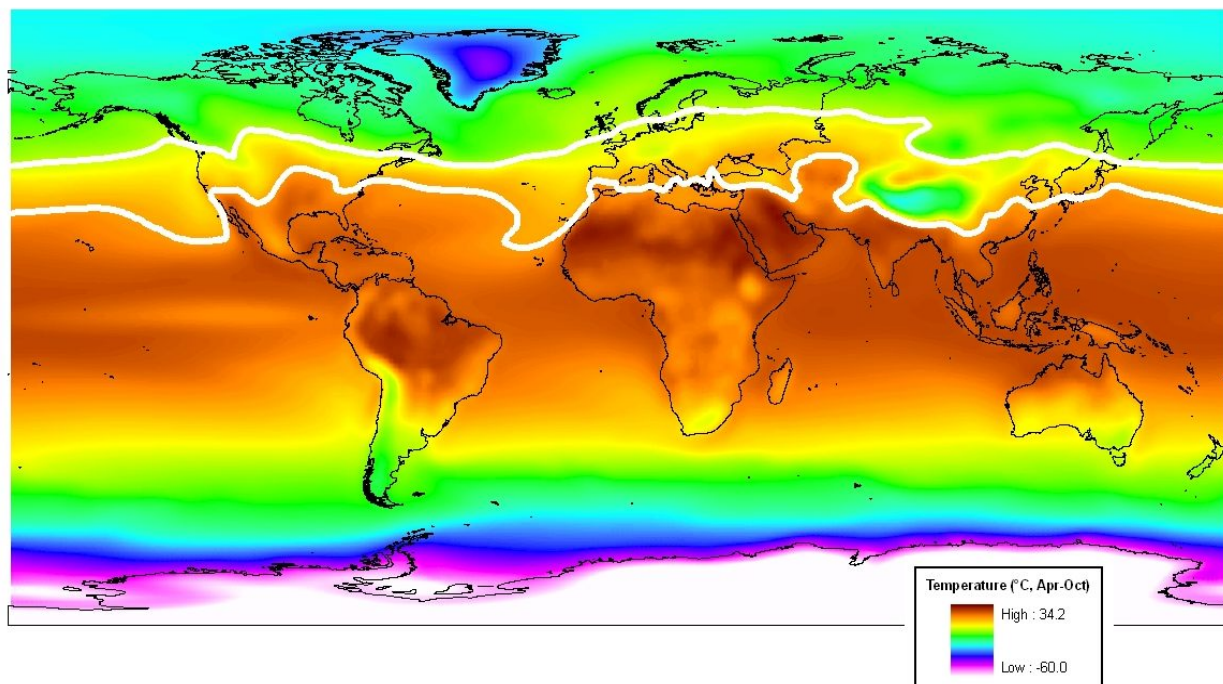
Las predicciones futuras sobre el desarrollo de la viticultura mundial sugieren una probable y necesaria reubicación de las áreas de cultivo hacia las latitudes donde se supone que los hoy climas fríos tenderán a ser más templados (Figura 2), lo que repercutirá enormemente en las regiones geográficas (muchas de ellas situadas en España) donde la vitivinicultura tiene un peso socio-económico irremplazable. Por tanto, es algo que se intenta evitar o retrasar al máximo para que dé tiempo a encontrar alternativas económicas viables para las actuales zonas vitivinícolas. Esto pasa, evidentemente, por un aprovechamiento racional y optimizado de los recursos hídricos, como los estudiados en el proyecto **INNOVINE** para encontrar la forma de minimizar el consumo de agua sin interferir con la producción ni la calidad de las cosechas.

### **Maneras de medir o estimar la eficiencia en el uso del agua**

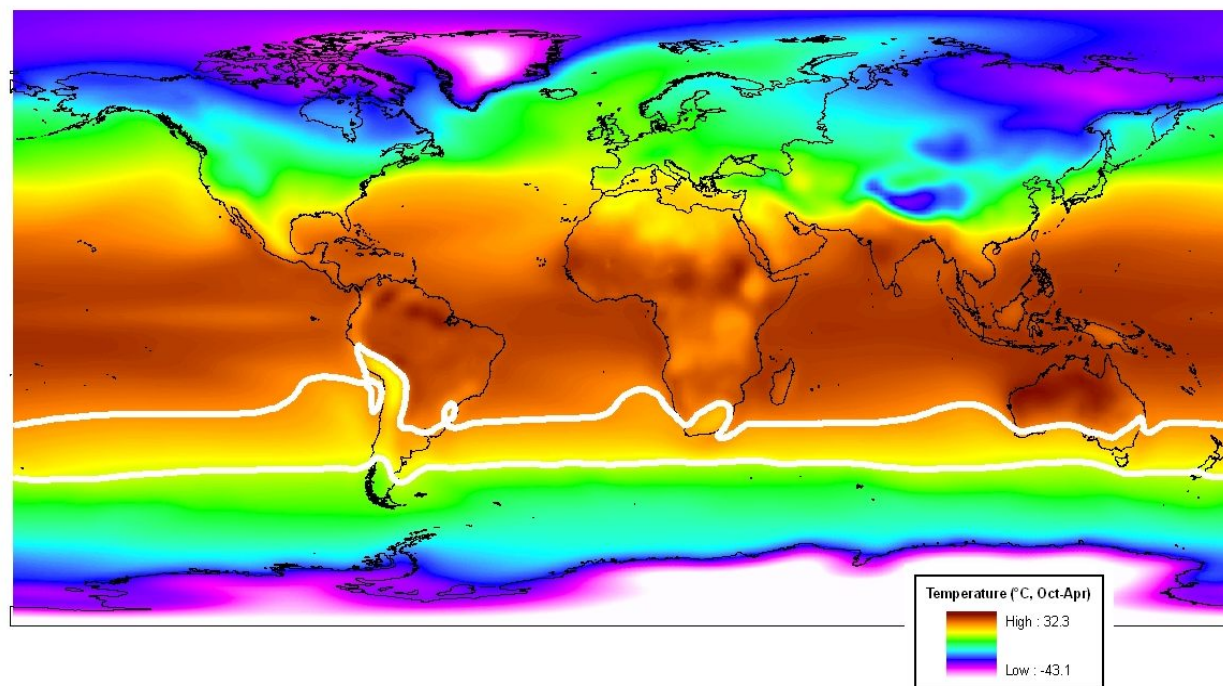
En este complejo escenario, el aprovechamiento de la variabilidad intraespecífica de la vid resulta extremadamente necesario y ventajoso. A pesar de que se conoce bien la ecofisiología de la vid, todavía no se tiene una visión clara de los mecanismos fisiológicos asociados a la variabilidad existente sobre la EUA. Además, tampoco se han identificado muchos genes relacionados con respuestas fisiológicas asociadas al déficit hídrico (RDH). Por eso se ha financiado un proyecto de colaboración entre el IFAPA (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera) de Churriana (Málaga), la Universidad de Baleares y la Universidad de Málaga para proporcionar una respuesta molecular a los fenotipos observados.



**Northern Hemisphere 2049 Growing Season Average Temperatures (°C, Apr-Oct)**



**Southern Hemisphere 2049 Growing Season Average Temperatures (°C, Oct-Apr)**



**Figura 2.** Regiones geográficas (delimitadas por las líneas blancas) en donde el clima permitirá una correcta viticultura en 2049 según modelos probabilísticos que tienen en consideración la probable evolución climática. (Reproducida con permiso).

El déficit hídrico tiene en conjunto importantes consecuencias para la fisiología y la morfología de las plantas, y provoca a corto y medio plazo un descenso del potencial hídrico, del contenido hídrico relativo y de la conductividad hídrica, así como un aumento de la síntesis de ácido abscísico (ABA). Estos hechos dan

lugar a un descenso de la conductancia estomática y del área foliar total, así como a cambios metabólicos provocados por la disminución de la concentración de agua en las células. En este contexto, las limitaciones de los procesos fotosintéticos provocadas por el déficit hídrico no son únicamente limitaciones a la difusión

de CO<sub>2</sub> hacia los cloroplastos, sino que también son importantes las limitaciones en las reacciones fotoquímicas, en el ciclo de Calvin y en el transporte de los nutrientes asimilados.

El déficit hídrico provoca en las hojas una pérdida de turgencia celular que, junto a la acción del ABA induce el cierre de los estomas. También tienen lugar limitaciones no estomáticas que afectan a diversos procesos fotosintéticos. Las consecuencias son, por una parte, la reducción del gasto de agua y, por otra, la disminución de la asimilación de CO<sub>2</sub> y por tanto del crecimiento y de la producción. No hay consenso sobre la importancia relativa de ambos tipos de limitaciones, pero, en cualquier caso, el cierre estomático limita más la transpiración de agua que la asimilación de CO<sub>2</sub>, con lo que se incrementa la EUA. Así pues, la eficiencia en el uso del agua de las plantas dependerá principalmente de dos tipos de factores: en primer lugar, de las características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración de agua; y en segundo lugar, de las características del ambiente en el que crece y se desarrolla la planta.

La EUA se puede medir a escala de cultivo o de ecosistema, a escala de planta entera y a escala de hoja, e incluso a escala temporal (el período de tiempo que se considera en la medida de la EUA). Esto complica tanto la medida como a la interpretación fisiológica y ecológica de este parámetro. De hecho, en las condiciones de campo resulta muy difícil conocer con exactitud la cantidad de agua que realmente han consumido las plantas, por lo que el consumo de agua se suele estimar a partir de la evapotranspiración y considerando datos indirectos de precipitación (ingreso de agua) y de volumen de agua perdido por escorrentía, percolación o evaporación directa del suelo.

La EUA a nivel de planta es un parámetro con un valor que solo se mide con precisión en condiciones experimentales, o sea, en las plantas cultivadas en maceta o en sistemas en los que el agua consumida puede medirse con exactitud. Sin embargo, presenta también dos inconvenientes: en primer lugar se trata de una medida realizada en condiciones experimentales, por lo que su extrapolación a condiciones reales de campo debe ser llevada a cabo con cautela; y en segundo lugar, su medida es muy sencilla pero muy laboriosa debido a que el consumo de agua se realiza por diferencia de peso y la producción de biomasa radicular implica la separación de las raíces del suelo, lo que no siempre es sencillo. A pesar de estos dos inconvenientes, la EUA a nivel de planta entera es un parámetro muy útil en la comparación de especies

y variedades.

La medida de la EUA a escala foliar es una forma relativamente sencilla de medir la EUA a escala de planta entera. Se consigue medir por el intercambio de gases, técnica que generalmente integra un período de tiempo breve o muy breve, y también mediante el análisis de la discriminación isotópica del carbono, que integra un período de tiempo mucho mayor.

### **Estudio e importancia de la EUA a escala foliar**

Las medidas de intercambio de gases en hojas permiten determinar la transpiración (salida de agua de la planta) y la fotosíntesis neta (entrada neta de CO<sub>2</sub> en las hojas). La EUA a escala foliar es el cociente de estos dos parámetros, y se considera a dos niveles. En primer lugar, la eficiencia de la transpiración, esto es: asimilación de CO<sub>2</sub>/transpiración ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$ ); en segundo lugar, la eficiencia intrínseca en el uso del agua: asimilación de CO<sub>2</sub>/conductancia estomática ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$ ). Como se ve, ambas formas de medir la EUA tienen las mismas unidades, pero la diferencia fundamental es que la eficiencia de la transpiración depende de la planta y de las condiciones ambientales, de forma que un mismo grado de apertura estomática puede traducirse en una tasa de transpiración muy diferente si la humedad ambiental varía; mientras que la eficiencia intrínseca mide diferencias relacionadas con la capacidad de la hoja para regular la fotosíntesis y la conductancia estomática, y que son independientes de las condiciones atmosféricas en el momento de la medida.

La estimación de la eficiencia en el uso del agua mediante el análisis de la discriminación isotópica del carbono se basa en la coexistencia de forma natural en la atmósfera de dos isótopos estables de carbono: <sup>12</sup>C y <sup>13</sup>C. Ambos isótopos presentan características químicas idénticas, pero el hecho de que el <sup>13</sup>C sea más pesado que el <sup>12</sup>C da lugar a que la tasa de difusión del <sup>13</sup>C en la hoja, y la de su asimilación por la enzima RuBisCo, son más bajas que la del <sup>12</sup>C, por lo que la proporción de <sup>13</sup>C es menor en los tejidos vegetales que en la atmósfera. Esta proporción varía con la disponibilidad de CO<sub>2</sub> en la hoja, y por tanto con la conductancia estomática. De esta forma la discriminación isotópica del <sup>13</sup>C de la hoja está íntimamente ligada con la eficiencia intrínseca de esa hoja durante todo el período de formación de la misma. Por desgracia, ninguna de las dos técnicas permite obtener resultados que sean fácilmente extrapolables a escala de planta entera.

La relación fotosíntesis/apertura estomática ha sido objeto de amplios estudios en vid. Se ha visto que, al igual que en otros cultivos, cuanto más se



riega la planta, menor es su EUA. De aquí se deduce que el control de la disponibilidad de agua en las raíces (que indirectamente regulan la apertura de los estomas) permite controlar la EUA. Induciendo el cierre de la mayoría de los estomas a través de un estrés hídrico en la raíz, se consigue maximizar la EUA. Sin embargo tampoco se puede someter a las plantas a una sequía intensa, porque un cierre estomático total (o cuanto menos mayoritario) también conlleva una EUA muy mala debido a la imposibilidad de asimilar  $\text{CO}_2$ . O visto de otra forma, en valores extremos de sequía, las plantas se tornan menos eficientes en el uso del agua.

Como se ha mencionado anteriormente, la eficiencia intrínseca no obedece directamente a las condiciones ambientales en el momento de la medida, sino que depende de la tensión hídrica entre hojas y raíz (señal hidráulica) y de la señalización hormonal desde la raíz mediante el ABA. Esta señal hormonal, en muchas ocasiones, se pone en marcha en cuanto las raíces se dan cuenta del déficit, antes de que se produzca tensión hídrica. En todo caso, la eficiencia intrínseca parece estar estrictamente vinculada a los genotipos (el de la variedad en la respuesta a la tensión hídrica, el del portainjerto en la respuesta al déficit hídrico en suelo). Por lo tanto, a pesar de la tendencia general, entre las variedades de vid se pueden detectar diferencias que son determinantes a la hora de la elección varietal en un hábitat microclimático concreto. La intensidad y rapidez con la que una variedad tiende a cerrar los estomas frente a una señal de déficit forma parte de su RDH, con lo que se clasifican como alarmista (o isohídrica) o bien como optimista (o anisohídrica). En el primer caso, las plantas cierran prontamente los estomas, con lo que limitan la conductancia (y por tanto la pérdida de agua), mientras que en el segundo caso, las plantas los cierra con más lentitud. En primera instancia se puede decir que las variedades alarmista tienen una EUA mayor que las optimistas. Sin embargo, entran en juego otros factores vinculados también al RDH, que en muchas circunstancias hacen más complicada la ecuación.

Por ejemplo, una limitación excesiva de la transpiración en condición de altas tasas de insolación podría

incrementar demasiado la temperatura de las hojas, lo cual repercute negativamente sobre el proceso fotosintético. Por otra parte, hay variedades optimistas que consiguen escaparse de la deshidratación mediante cambios en la arquitectura foliar por modificación del ángulo de inclinación de las hojas con respecto a la luz incidente. En tal caso, se pierde menos agua por evaporación sin que la fotosíntesis se vea afectada, ya que los estomas no se cierran tanto como en las variedades isohídricas y siguen permitiendo la entrada de  $\text{CO}_2$ . Las limitaciones no estomáticas como el embolismo xilemático o la reducción del crecimiento foliar también podrían menguar los efectos del cierre estomático sobre la EUA.

Los miembros del proyecto de investigación mencionado más arriba estamos convencidos de que el conocimiento de las bases genéticas que regulan el conjunto de respuestas fisiológicas de vid frente al déficit hídrico nos permitirá predecir cómo responderá y se adaptará cualquier cepa de vid frente al déficit hídrico, y apoyar así la sostenibilidad de los viñedos, en las condiciones ambientales actuales y, sobre todo, futuras en función de las modificaciones climáticas que se esperan.

## Bibliografía

- <sup>1</sup>Chaves MM, Zarrouk O, Francisco R and others. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data *Annals of Botany* 105: 661-676, 2010.
- <sup>2</sup>Costa JM, Vaz M, Escalona JM, and others. Modern viticulture in southern Europe: vulnerabilities and strategies for adaptation to water scarcity. *Agricultural Water Management Article ID 10.1016*, 2015.
- <sup>3</sup>Goode J. Fruity with a hint of drought. *Nature* 452: 351-353, 2012.
- <sup>4</sup>Jones GV. Climate change and the global wine industry. *Proceedings of the Thirteenth Australian Wine Industry Technical Conference*, 1-8, 2007.
- <sup>5</sup>Medrano H, Bota J, Cifre J y otros. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84, 2007.
- <sup>6</sup>Medrano H, Flexas J. Respuesta de las plantas al estrés hídrico. En: *La Ecofisiología Vegetal, una ciencia de síntesis* (Ed. Thomson-Paraninfo), 253-286, 2003.
- <sup>7</sup>Tomás M, Medrano H, Pou A and others. Water-use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effect of water stress at the leaf and whole plant level. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 18: 164-172, 2012.

## Vida y obra: Georgiy Frantsevich Gause

LA LUCHA POR LA EXISTENCIA, o la brega de la vida, si se quiere, es una frase hecha corriente en todos los campos de la biología, especialmente en el evolutivo, acuñada por Darwin pero que este ruso que hoy nos ocupa fue el primero en llevar más allá de la metáfora. Gause nació bajo el mandato de Nicolás II y vivió su niñez en plena revolución bolchevique, no obstante, disfrutó de una crianza relativamente tranquila. Su familia no era rica –de hecho, en aquellos momentos, nadie era rico en Rusia– pero su padre, *camarada arquitecto* a la sazón, pudo escabullir al chaval de aquellos difíciles años en largas estancias veraniegas en el Cáucaso, donde desarrolló una minuciosa y paciente capacidad para observar la naturaleza de forma autodidacta.

Un poco más adelante, estudió en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad de Moscú, donde estuvo tutelado por Vladimir V. Alpatov que, a la postre, sería una clave en su vida. A finales de los años veinte del pasado siglo, Gause seguía estudiando los factores ambientales que afectaban a la vida del saltamontes siberiano cuando su mentor consiguió una beca de la Fundación Rockefeller (¡por los pelos, unos años antes del *crack* del 29!), lo dejó tirado y se fue a Baltimore donde estableció un estrecho lazo con Raymond Pearl, que trabajaba en la ya entonces prestigiosa John Hopkins University. Éste le sedujo con sus trabajos teóricos con *Drosophila* y la curva logística. A su vuelta, Alpatov le contó excitado a Gause los avances teóricos de los americanos (se refería a R. Pearl y a Alfred Lotka) «¡Tenemos que trabajar en esta dirección!». Gause, entusiasmado, aceptó inmediatamente, pero sin desperdiciar el trabajo acumulado con *Aeropus sibiricus*, que publicó en la revista *Ecology*, donde proponía una fórmula que relacionaba la abundancia de saltamontes con las variables ambientales.

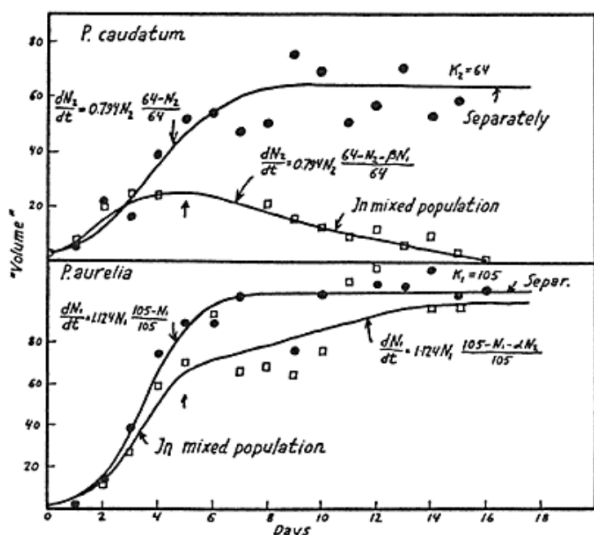
Mentor y pupilo trabajaron con los datos recogidos por ellos y publicados en otros sitios (¡sin internet!) y publicaron un pequeño libro en 1931, escrito en ruso y alemán, donde estudiaban las implicaciones de la ley logística en la naturaleza, pero se toparon con la dificultad de trabajar con un sistema de muchas variables cuando intentaron poner en práctica las ecuaciones teóricas que habían descubierto, casi simultáneamente, Lotka (americano) y Vito Volterra (italiano). ¡Había que pensar en nuevos experimentos de laboratorio! Alpatov y Pearl removieron cielo y tierra para que Gause consiguiera la beca Rockefeller –incluso publicaron, tal vez con cierto enchufe, una versión americana del asunto del saltamontes en el *Quarterly Review of Biology* del cual Raymond Pearl era editor–. Sin embargo, unos EE. UU.

sumidos en la gran depresión y numerosos aspirantes dejaron a Gause en la lista de espera porque era muy joven (veintidós años) y aún tenía tiempo. En aquella época, un gran número de científicos rusos emigraron a EE. UU. y, de no ser por su bisoñez, tal vez Gause habría acompañado en su viaje a las américas a sabios de la talla de George Gamow, o a los propios padres de Asimov, con el pequeño Isaac de tres años en sus brazos).



Nunca sabremos si el fallido viaje hubiera rendido mejores frutos pero el caso es que Gause se tuvo que quedar en la Universidad de Moscú que, por aquella época (principios de los 30) estaba incubando un cariz holístico espoleada por Vladimir I. Verdnasky, el pionero de la biogeoquímica y autor de *La Biosfera*, un libro casi un siglo más moderno de lo que la biología de la época, en especial la occidental, era capaz de asimilar. De todas formas, la mente de Gause era más reduccionista y, como tenía que acabar la tesis como fuera, pensó que con organismos más sencillos tendría menos problemas (¡y serían más baratos!). Gause trabajó en el laboratorio de Vernadsky hasta 1933, de forma metódica y meticulosa; primero con cultivos de levaduras y, más adelante, con protozoos en laboriosos experimentos que el lector inquieto puede disfrutar en *The Struggle for Existence*, pequeño libro que publicó en 1934 gracias al tesón de Pearl (que no sólo escribió el prólogo, sino que le facilitó credenciales ante el editor americano, Williams & Wilkins, del mismo Baltimore donde Pearl tenía mano). Durante muchos años, este libro pasó desapercibido a

pesar de ser reconocido después como «...una de las piedras angulares de la ecología», en palabras de G. E. Hutchinson, uno de los ecólogos más prolíficos y con más influencia del siglo XX; de hecho, el propio Hutchinson reconoce que las ideas allí limpiamente discutidas fueron inspiradoras para formular su concepto de *nicho ecológico*.



**Figura 24 de *The Struggle for existence*.** Cuando *Paramecium caudatum* y *P. aurelia* crecen en solitario siguen un modelo logístico y alcanzan poblaciones en equilibrio que se mantienen durante varias semanas. Sin embargo, cuando se juntan en el mismo cultivo, después de unos primeros días de crecimiento *P. caudatum* decae progresivamente hasta desaparecer y *P. aurelia* alcanza entonces su valor de equilibrio. Este resultado experimental junto con muchos otros experimentos igual de minuciosos, reproducen en matraces los resultados teóricos propuestos por Alfred Lotka y Vito Volterra. En los experimentos con paramecios muy parecidos, era imposible conseguir que ambas especies permanecieran en el mismo cultivo, de ahí la famosa conclusión de que «dos especies similares no pueden coexistir si dependen del mismo recurso» postulado que se conoce como *Principio de exclusión competitiva*.

El de 1934 es su libro más conocido, pero tal vez el que le hizo más ilusión a Gause fuese el *Verification experimentales des la théorie mathématique de la lutte pour la vie* publicado al año siguiente, en el que compartió cabecera con Alfred Lotka, Vito Volterra y Vladimir Kostitzin, un genial ruso afrancesado —el lector pensará que tengo poca imaginación para inventarme nombres rusos, ¡pero le aseguro que todos éstos se llamaban Vladimir!

Con este bagaje y veinticinco años, en 1936 Gause presentó su tesis doctoral en su *alma máter*; a pesar de esto, nadie se atrevió a tildarla de «endogámica». A

raíz de este hito, consiguió un puesto de profesor de investigación, no sin haberse currado previamente las poyatas como ayudante de prácticas en biología experimental. Justo ese año, la Universidad de Moscú perdió la influencia de Vernadsky para caer en la de Lisenko y, en los años siguientes, la academia moscovita fue purgada a la fuerza de profesores que no comulgaban con las «instrucciones prácticas» del protegido de Stalin. Podríamos haber dicho que Gause fue uno de los expurgados; habría sido más emocionante, pero parece mucho más verosímil que, verdaderamente, este meticuloso y nada problemático hombre, igual que sus primeros saltamontes, encontrara otro campo de mayor interés en la microbiología antibiótica. De este salto vertiginoso a la Academia de Ciencias de la URSS, donde dirigió el Instituto de Farmacología y Quimioterapia Experimental, surgió, por ejemplo, la gramicidina que salvó miles de vidas rusas durante la segunda guerra mundial. Stalin le dio su propia medalla como reconocimiento en 1946 y, con ella, una cierta manga ancha de confianza que permitiría a Gause, a pesar de la concomitante gestación del «telón de acero» viajar a congresos por Europa e, incluso, dar conferencias en las universidades de Yale, Cornell, Chicago y Nueva York. Nadie dice si Gause pudo ser realmente un espía, pero parece que tal faceta era incompatible con el carácter afable y curioso del genio innato que mantuvo toda su vida, desde niño, hasta su muerte en Moscú a los setenta y nueve años.

De la brillante humildad de Gause queda una anécdota: él nunca formuló el famoso *principio de exclusión competitiva* que frecuentemente se le endosa. Lo vio tan evidente en su trabajo como conclusión de la teoría previa de Lotka, que no creyó necesario bautizarlo. Tuvo que ser acuñado oficialmente, veinticinco años más tarde, por Garret Hardin en su famoso artículo de *Science*.

### Fuentes

- Gause G. *The Struggle for Existence*. Williams & Wilkins, Baltimore. 1934.
- Gasca A. Israel G. La correspondencia entre Vladimir A. Kostitzin y Vito Volterra (1933-1962) y los inicios de la biomatemática. *Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 16(30): 159-224. 993.
- Egerton F. History of Ecological Sciences, part 55: Animal Population Ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 96 (4): 560-626. 2015.
- Hutchinson G. *Introducción a la Ecología de Poblaciones*. Blume, Barcelona. 1981.
- Kingsland S. *Modelling Nature*. University of Chicago Press, Chicago. 1995.





## *Encontronazos en la Biología: ¿invasoras o invitadas?*

LAS INVASORAS BIOLÓGICAS son especies que se establecen en nuevas áreas en las cuales proliferan, se distribuyen y persisten en detrimento de las especies y ecosistemas nativos. De forma accidental o deliberada, las actividades humanas están contribuyendo decisivamente a una acelerada redistribución sin precedentes en los seres vivos a escala global. Actualmente, son muy escasas las zonas del mundo que todavía persisten sin ser invadidas<sup>[1]</sup>.



Fotografía de Aquaportail.com

Si bien es cierto que la mayor parte de las especies exóticas introducidas en nuevos hábitats no causan un daño ecológico o económico sustancial, aquellas que sí lo hacen son capaces de producir impactos ambientales de enorme magnitud. Numerosos estudios científicos demuestran que las invasiones biológicas propiciadas por los humanos ya han causado una amplia alteración de la biota, modificando el papel de las especies nativas en sus comunidades, alterando los procesos evolutivos y produciendo cambios radicales en la abundancia de las especies autóctonas, que incluyen incluso la extinción de algunas de ellas<sup>[1]</sup>.

Frecuentemente, la propagación de especies exóticas invasoras es responsable de la destrucción de hábitats, de la alteración de los ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas donde proliferan, de la propagación de enfermedades y de la modificación de las interacciones interespecíficas en las redes tróficas donde se instalan (fundamentalmente de depredación, herbivoría, competencia y parasitismo), con el frecuente resultado de la exclusión de las especies autóctonas. Muchas especies invasoras pueden llegar incluso a hibridarse con las especies nativas, lo que suele poner en riesgo la permanencia de estas últimas. En definitiva, las invasiones biológicas pueden generar importantes modificaciones en los ecosistemas y paisajes nativos, con nefastas consecuencias ambientales y socio-económicas, entre ellas la rápida reducción y homogeneización de la biodiversidad global<sup>[2]</sup> y la pérdida acelerada de servicios ecosistémicos como cosechas, bosques, pesquerías, recursos hídricos o campos de pastoreo. Según Mack y cols.<sup>[1]</sup>, las invasiones biológicas, a la velocidad y magnitud actual y sin el control adecuado, pronto influirán sobre otros agentes del cambio global, incluyendo la alteración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Una vez las especies invasoras se ha instalado con éxito en un ecosistema, las tareas de erradicación son muy difíciles, y los éxitos obtenidos son a menudo escasos. Por tanto, resulta imprescindible adoptar medidas que permitan detectar el riesgo de invasión y combatirlo activamente mientras haya tiempo. Es necesario perfeccionar los sistemas de predicción, basados en trabajo de campo y muestreos intensivos, estudios empíricos post-invasión, planteamientos experimentales y técnicas de modelado numérico. Además, se deben extremar las precauciones en torno al tráfico comercial de especies a través de las fronteras, y ser especialmente crítico con cualquier tipo de introducción, aunque en principio parezca inofensiva. De hecho, es un fenómeno relativamente común que una especie exótica naturalizada no



sea especialmente agresiva en los primeros años tras su llegada, pero que adquiera carácter de invasora posteriormente, creciendo exponencialmente hasta alcanzar los límites de su hábitat. Por tanto, la prevención debe ser la primera estrategia de control. En este sentido, se deben ampliar las «listas negras» de especies reconocidamente invasoras con unas «listas blancas» de especies susceptibles o sospechosas de comportamiento invasor, aunque no se haya probado nunca<sup>[3]</sup>. El criterio de estas «listas blancas» o listas de *culpables hasta que se pruebe su inocencia*, insiste en que toda introducción propuesta debe ser considerada como potencialmente problemática hasta que una investigación rigurosa demuestre lo contrario. La concienciación de ciudadanos, instituciones gubernamentales, órganos gestores y de la comunidad científica con el grave problema de las invasiones biológicas es fundamental para poder actuar eficazmente de modo preventivo, evitando de esta forma profundas consecuencias ecológicas y grandes pérdidas económicas.



En un mundo globalizado y en continuo cambio, la movilidad de especies (sea natural o inducida por las actividades humanas) es un hecho inevitable. Durante décadas se ha acuñado la idea de que la llegada y el establecimiento de nuevas especies en ecosistemas seculares supone una seria amenaza para la biodiversidad, amenaza que debe ser combatida por todos los medios disponibles. De la mano de este mantra de la Biología de la Conservación se han generalizado metáforas militaristas y reclamos exagerados, que han propagado la idea simplificada de que todas las especies exóticas constituyen un serio peligro ecológico, convicción que se ha instalado en el imaginario de población, políticos, gestores y en buena parte de la comunidad científica. Espoleados por esta visión se han desarrollado programas de erradicación de especies exóticas, cuyos elevados costes contrastan con sus escasos éxitos.

Ciertamente, algunas especies exóticas introducidas por los humanos generan importantes problemas de conservación, como extinciones locales y pérdida de servicios ecosistémicos. Tal vez en estos casos los programas de seguimiento, control e incluso erradicación están justificados, si el impacto ambiental es elevado y las probabilidades de éxito significativas. Pero en numerosas ocasiones la información sobre las amenazas de las especies exóticas en los ecosistemas nativos no están justificadas por datos científicos, y se sostienen sencillamente sobre la idea de evitar el cambio<sup>[4]</sup>. Algunos estudios recientes sugieren que la llegada de especies exóticas no constituye una amenaza de extinción para la mayoría de las especies en la mayoría de los ecosistemas, con la excepción de la introducción de depredadores

y patógenos en sistemas de fronteras definidas, como lagos e islas<sup>[5]</sup>.

De hecho, lo más frecuente es que las especies alóctonas se adapten a las nuevas circunstancias y se integren en el ecosistema junto al resto de elementos constituyentes. Por supuesto, esto podría generar cambios en la estructura y la función del ecosistema. Para muchos biólogos y conservacionistas la idea de que un ecosistema nativo (y por tanto valioso) pueda verse modificado o alterado por la llegada de nuevas especies alóctonas es suficiente como para prevenirla y combatirla activamente. Este hecho es coherente con una visión estática y antropocéntrica de la Naturaleza, que considera el estado presente de los ecosistemas nativos como un patrimonio a conservar, como si de bellas fotografías se tratase. Pero los ecosistemas no son estáticos ni permanentes, son dinámicos y están en continuo cambio. El movimiento de especies y su establecimiento en nuevas localidades es parte del proceso evolutivo. En el contexto de calentamiento global, ¿cómo es posible distinguir entre autóctono o alóctono en un planeta donde las especies se desplazan continuamente empujadas por las nuevas condiciones climáticas? ¿es posible calificarlas con el peyorativo epíteto de invasoras sólo por ocupar nuevos hábitats?



Fotografía de Creative Commons

El cambio en los ecosistemas no es una amenaza, es el modo natural de comportamiento de la Biosfera. Si aceptamos que la Naturaleza está en permanente cambio, la aparición de especies exóticas en los ecosistemas nativos actuales no debe ser considerada necesariamente como una amenaza, sino como una vía más en el desarrollo de los mismos. Los futuros ecosistemas tendrán nuevas estructuras, con nuevas especies y nuevas funciones, y seguramente no se parecerán demasiado a

los ejemplos paradigmáticos de ecosistemas nativos que numerosos biólogos de la conservación platean como objetivos a alcanzar y conservar. No hay problema en esto, ha sido así desde que los primeros microorganismos construyeron los ecosistemas. La Naturaleza no sigue recomendaciones, ni tiene configuraciones ecosistémicas preferidas. En palabras del ecólogo Mark Davis, se ha construido demasiada biología de la conservación en torno a la prevención del cambio en los ecosistemas, y es muy importante distinguir la amenaza del cambio<sup>[5]</sup>.

## Referencias

- <sup>1</sup>Mack RN, Simberloff D, Lonsdale WM y otros, Invasiones biológicas: Causas, epidemiología, consecuencias globales y control. *Tópicos en Ecología* 5. Ecological Society of America. 2000.
- <sup>2</sup>Lodge DM. Biological invasions: Lessons for Ecology. *Tree* 8: 133-137. 1993.
- <sup>3</sup>Schmitz DC, Simberloff D. *Biological Invasions: A Growing Threat. Issues in Science and Technology*. 13. 2007.
- <sup>4</sup>Davis MA, Chew MK, Hobbs AE and others. *Don't judge species on their origins. Nature* 474: 153-154. 2011.
- <sup>5</sup>Davis MA. *Invasion Biology*. Oxford University Press. Oxford. 2009.

ENRIQUE MORENO OSTOS

eb

## Los Premios

### Premio Lasker 2015 a la investigación médica básica: la respuesta SOS

La *Albert and Mary Lasker Foundation* lleva más de 30 años otorgando los Premios Lasker (*Lasker Award*), que se conocen en el ámbito científico como los Nobel estadounidenses porque muchos de sus galardonados luego obtuvieron un premio Nobel. Esta vez se da la paradoja que el Premio Lasker 2015 de investigación médica básica se da al mismo tema (no a las mismas personas) que el Premio Nobel de Química 2015: la reparación del DNA. Mientras que el Nobel premia a los descubridores de la reparación por escisión de base (Tomas Lindahl), la reparación por escisión de nucleótidos (Aziz Sanchar) y la reparación de apareamientos erróneos (Paul Modrich), el Premio Lasker es para la respuesta SOS en los procariontes (Evelyn M. Witkin) y en los eucariotes (Stephen J. Elledge).

#### ¿Por qué premiar la reparación?

El premio concedido a Evelyn M. Witkin y a Stephen J. Elledge por su trabajo sobre la respuesta SOS reconoce su contribución, de manera independiente, al esclarecimiento y comparación de las estrategias de reparación del DNA que usan las bacterias, las levaduras y las células humanas.

La reparación del DNA es un mecanismo de protección fundamental del genoma de todos los seres vivos. De hecho, todas las células de todos los organismos están expuestas durante su vida a continuas agresiones del DNA nuclear, desde las provocadas por reactivos químicos (que no tiene por qué proceder del medio externo, dado que las mitocondrias son el mejor oxidante celular) a las radiaciones ionizantes (es decir, las de alta frecuencia, con longitudes de onda del ultravioleta y menores, como los rayos X y los rayos  $\gamma$ ). Dado que las células necesitan que el material genético permanezca inalterado, han desarrollado procesos para detectar dichas alteraciones (que suelen provocar paradas de la horquilla de replicación o de la burbuja de transcripción), repararlas y devolver la célula a una situación normal.

Las alteraciones pueden ser de muchos tipos, por lo que conviene que los mecanismos de reparación sean generalistas y arreglen el mayor número posible de problemas. Por ejemplo, las bacterias detienen el ciclo celular para dar tiempo a enmendar los desgastados, en un difícil compromiso entre dejarlo todo como estaba, o aprovechar las alteraciones y convertirlas en la fuente de variabilidad génica que les permitan adaptarse a los nuevos entornos.

Las células eucariotas detienen el ciclo celular para

reparar las mutaciones, pero cuando el ritmo de aparición de lesiones supera la capacidad de reparación (por ejemplo, sobreexposición a los rayos UV, o la sobreexposición a radiactividad), acaban suicidándose mediante un proceso que se denomina apoptosis. Tan delicado es el equilibrio entre reparar o suicidarse que muchas enfermedades (incluidas el cáncer, los trastornos neurodegenerativos o las deficiencias inmunitarias) tienen su origen en sistemas de reparación defectuosos.

#### *Evelyn M. Witkin y los procariontes*

La primera premiada inició su carrera científica en 1940 en el laboratorio que el genético ruso Theodosius Dobzhansky dirigía en la Universidad de Columbia (según sus biógrafos, llevada por sus ideas izquierdistas y su lucha contra el racismo). Pero Dobzhansky trabajaba con la mosca *Drosophila melanogaster* y Evelyn quería trabajar con la bacteria *Escherichia coli* inspirada en los trabajos de Luria y Delbrück. Así que Dobzhansky le recomendó que se fuera al Cold Spring Harbor Laboratory (CSHL) a trabajar con ellos, con lo que acabó aterrizando por allí en 1944 para empezar a trabajar en los mecanismos de reparación de las bacterias y establecer sus características generales. Esperemos que no sean sus ideas políticas las que hayan retrasado la concesión de un premio hasta los 94 años, como profesora emérita del Instituto Waksman de Microbiología de la Universidad de Rutgers (EE. UU.), sino otro olvido más, como el de Gregor Mendel o el de Barbara McClintok.

A su llegada al CSHL, todavía no había acuerdo en si el material genético era el DNA o las proteínas, pero se sabía que la radiación UV y los rayos X provocaban mutaciones heredables. Delbrück no pareció muy interesado en esta estudiante y le dio una lámpara ultravioleta para que hiciera mutantes de *E. coli* para su tesis, sin instruirla sobre las dosis que había que aplicar para la mutagénesis. En consecuencia, Witkin se pasó mucho tiempo achicharrando células. Afortunadamente para su carrera científica, le sobrevivieron 4 mutantes que son las que le sirvieron para encontrar los mecanismos de reparación del DNA, porque eran mucho más insensibles a la irradiación (de ahí que sobrevivieran).

El estudio de estos mutantes le permitió observar que había una inesperada conexión entre la sensibilidad a la radiación, la capacidad de división celular y la entrada del fago  $\lambda$  en el ciclo lítico. Al principio, nadie prestó atención a esta propuesta, pero poco después, otros científicos demostraron que una única mutación era responsable de estos fenómenos, lo que confirmó la hipótesis de Witkin (¿soy yo el único que ve el paralelismo con el hecho de que el descubrimiento de los

transposones en *E. coli* fue lo que hizo pensar a la comunidad científica que los descubrimientos de McClintok en las plantas debían ser ciertos?). No fue más que la primera vez que se confirmaba una hipótesis suya, y años después vendrían muchas más confirmaciones.

Cuando la comunidad científica aceptó que el material genético era el DNA, Witkin comprobó que la luz UV no provocaba los cambios heredables que llevaban décadas observando, sino que provocaba una serie de reacciones químicas en el DNA que lo hacían irreconocible. Por entonces solo se conocía la DNA polimerasa I de los procariontes, y se sabía que se detenía ante cualquier nucleótido que tuviera la menor anomalía. Por eso se le ocurrió proponer que la célula tenía que expresar otra polimerasa diferente, propensa a errores, que copiara el DNA incluso en presencia de esas modificaciones, y que sería esta enzima la que introduciría los cambios cuando la copia del DNA fuera inexacta. Así, en 1967 encontró que si se mutaba LexA, la célula era mucho más resistente a las mutaciones, por lo que propuso que era el represor de esa polimerasa propensa a errores. Dos años después descubrió la importancia de RecA en la reparación, y que formaba parte, junto con PolV, del mutasoma. Hoy se ha confirmado que esta polimerasa V existe. También figura en los libros de texto que LexA es el represor de lo que hoy conocemos como el regulón de la respuesta SOS.

A comienzos de la década de los 70 del siglo XX, el grupo de Miroslav Radman de la Universidad de Bruselas (Bélgica) encontró que LexA y RecA también eran claves en otros procesos mutagénicos y en la entrada del fago  $\lambda$  en el ciclo lítico. Radman acabó proponiendo que debía existir una respuesta, que denominó replicación SOS, en la que debían intervenir estas dos proteínas y la polimerasa propuesta por Witkin. Juntos, Radman y Witkin encontraron una legión de actividades de respuesta a la radiación UV que dependían de RecA y de LexA. Hoy sabemos que en la respuesta SOS intervienen más de 43 genes cuya expresión coordinada (o sea, el regulón SOS) va encaminada a devolver lo antes posible, y con la mayor eficacia, la secuencia correcta al DNA. De hecho, cualquier persona que haya estudiado la reparación del DNA en asignaturas como Genética o Biología Molecular, seguro que ha visto la respuesta SOS, la importancia del regulón de LexA, y la función de RecA en la reparación y la recombinación.

Las publicaciones que la Fundación Lasker considera más relevantes sobre el trabajo de Evelyn M. Witkin son:

- Witkin, E.M. (1947). Genetics of resistance to radiation in *Escherichia coli*. *Genetics*. 32, 221-248.
- Witkin, E.M. (1967). The radiation sensitivity of *Escherichia coli* B: a hypothesis relating filament

formation and prophage induction. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 57, 1275-1279.

- Witkin, E.M. (1969). The mutability toward ultraviolet light of recombination-deficient strains of *Escherichia coli*. *Mutat. Res.* 8, 9-14.
- Witkin, E.M. (1974). Thermal enhancement of ultraviolet mutability in a *tif-1 uvrA* derivative of *Escherichia coli* B/r: evidence that ultraviolet mutagenesis depends upon an inducible function. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 71, 1930-1934.
- Witkin, E.M. (1976). Ultraviolet mutagenesis and inducible DNA repair in *Escherichia coli*. *Bacteriol. Rev.* 40, 869-907.
- Witkin, E.M., (1991). RecA protein in the SOS response: milestones and mysteries. *Biochimie*. 73, 133-141.
- Witkin, E.M. (2002). Chances and choices: Cold Spring Harbor 1944-1955. *Annu. Rev. Microbiol.* 56, 1-15.

#### *Stephen J. Elledge y los eucariotas*

Elledge ha tenido más suerte que Witkin, porque el premio le ha llegado a los 59 años, como catedrático de genética en la Facultad de Medicina de Harvard e investigador del Brigham and Women's Hospital, en Boston (EE. UU.). Ha recibido el Premio Lasker por extender a organismos más complejos las vías de reparación que la Dra. Witkin encontró en las bacterias.

Elledge se aficionó a la ciencia al vivir desde pequeño la carrera espacial y ser consciente de que la materia está compuesta de unidades cada vez más pequeñas. En el último año de carrera aprendió los mecanismos de la recombinación y se dio cuenta que la biología también se había vuelto molecular, y que cuanto más aprendía sobre el DNA, más le seducía. Así, a pesar de que era biólogo de formación, al acabar la carrera comenzó a trabajar en la respuesta SOS de Witkin en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (EE. UU.) bajo la dirección de Graham Walker.

Como estaba mucho más interesado en los eucariotas, en 1987 inició una estancia posdoctoral con Ronald Davis en la Facultad de Medicina de la Universidad de Stanford para descifrar cómo se las apañaban los eucariotas para reparar el DNA. El hallazgo que marcó su carrera fue que, en las levaduras, el mRNA de la ribonucleótido reductasa se disparaba cuando había lesiones en el DNA y se paraba la replicación. En lugar de dejar de lado un comportamiento tan extraño (por entonces, todos estaban convencidos que los eucariotas debían tener una respuesta SOS como la de los procariontes), intentó buscarle explicación, y acabó proponiendo que



las levaduras debían poseer una especie de alarma antirrobo: un sistema de señalización que detectase las modificaciones del DNA (la alarma) y que a su vez reajustase la expresión de los genes que intervienen en la síntesis y reparación del DNA (la llegada de la policía). Era la primera vez que se proponía que el desencadenante de una vía de señalización procedía del interior de la célula y no del exterior.

Elledge pasó después por el Baylor College of Medicine y finalmente acabó en Harvard, siempre centrado en la regulación de la ribonucleótido reductasa de las levaduras. Había conseguido aislar cepas que inducían genes de reparación sin que hubiera lesiones, y otras que no los expresaban ni tan siquiera en presencia de lesiones graves. En las cepas que eran «ininducibles» Elledge encontró que la clave estaba en una cinasa, un tipo de enzima típica de la regulación, que denominó DUN1 (*DNA-damage uninducible 1*): cuando se dañaba el DNA, DUN1 se fosforilaba, con lo que se activaba y desencadenaba la expresión de los genes que repararían daños celulares, en un efecto amplificador de la señal (la alarma). También identificó otras cinasas nuevas que se encargaban de regular esta vía, como Rad53/Sad1, Mec1 y Tel1.

Elledge se interesó por la reparación del DNA en eucariotas más complejos, como los mamíferos, y sus resultados, junto a los de muchos otros investigadores, demostraron que los mamíferos respondían a las alteraciones en el DNA con un mecanismo parecido al que el propio Elledge descubrió en las levaduras. De hecho, las cinasas mencionadas antes pertenecen a la misma familia que la ATM humana, cuya modificación provoca la enfermedad mortal ataxia telangiectasia, caracterizada por una elevada incidencia del cáncer.

Saltar de los mamíferos a los humanos es algo habitual en muchos científicos, como Elledge. Descubrió que la aparición de DNA monocatenario, algo típico en muchas lesiones, es reconocido por RPA (proteína A de la replicación), a la cual se fija inmediatamente ATRIP (proteína que interacciona con ATR) que lleva asociada la proteína ATR (cinasa relacionada con ATM) cuya actividad cinasa desencadena la vía de respuesta a los daños en el DNA. En esta maquinaria quedan todavía muchas proteínas por descubrir. El propio Elledge vio en 2007 que ATM y ATR introducían fosfatos en más de 700 proteínas diferentes en respuesta a una lesión en el DNA.

Las publicaciones que la Fundación Lasker considera más relevantes sobre el trabajo de Stephen J. Elledge son:

- Elledge, S.J. and Davis, R.W. (1989). Identification of the damage responsive element of RNR2 and evidence that four distinct cellular factors bind it. *Mol. Cell. Biol.* 9, 5373-5386.

- Zhou, Z. and Elledge, S.J. (1993). DUN1 encodes a protein kinase that controls the DNA damage response in yeast. *Cell.* 75, 1119-1127.
- Sanchez, Y., Desany, B.A., Jones, W.J., Liu, Q., Wang, B., and Elledge, S.J. (1996). Regulation of RAD53 by the ATM-like kinases MEC1 and TEL1 in yeast cell cycle checkpoint pathways. *Science.* 271, 357-360.
- Sanchez, Y., Wong, C., Thoma, R.S., Richman, R., Wu, Z., Piwnica-Worms, H., and Elledge, S.J. (1997). Conservation of the Chk1 checkpoint pathway in mammals: linkage of DNA damage to Cdk regulation via Cdc25. *Science.* 277, 1497-1501.
- Matsuoka, S., Huang, M., and Elledge, S.J. (1998). Linkage of ATM to cell cycle regulation by the Chk2 protein kinase. *Science.* 282, 1893-1897.
- Zou, L. and Elledge, S.J. (2003). Sensing DNA damage through ATRIP recognition of RPA-ssDNA complexes. *Science.* 300, 1542-1548.
- Harper, J.W. and Elledge, S.J. (2007). The DNA damage response: ten years after. *Mol. Cell.* 28, 739-745. *Microbiol.* 56, 1-15.

#### Para saber más:

- Joseph L. Goldstein, (2015) *A Well-Hung Horse: Sired by Knowledge and Imagination*, *Cell* 162(6), 1179-1182.
- 2015 Albert Lasker Basic Medical Research Award.
- Nobel Prize in Chemistry 2015.

M. GONZALO CLAROS

eb

#### Premio Lasker 2015 a la investigación médica básica: avances en inmunoterapia

*James P. Allison: el estrategia de la inmunoterapia del cáncer.*

«Con la agradecida esperanza de un retorno seguro a sus casas después de una ausencia de nueve años, los griegos dedican esta ofrenda a Atenea (diosa de la guerra)», esta era la frase grabada en el flanco izquierdo del caballo de Troya. Pues bien, como si de un Odisseo del siglo XXI se tratara, el Dr. James P. Allison supo concebir un plan para ganarle batallas al cáncer y dar esperanzas a tantos pacientes que luchan durante años contra distintos tipos de cáncer, como melanomas, carcinomas de pulmón y genitourinarios. Uno de los ejemplos de estas nuevas versiones del «caballo de Troya» contra el cáncer del siglo XXI son los anticuerpos de tipo Ipilimumab o MDX-010, que aprovechan el conocimiento sobre los sofisticados circuitos moleculares del sistema inmune (aún no completamente caracterizados) y los avances biotecnológicas de las últimas décadas,

para diseñar una estrategia que aumenta la potencia del mecanismo natural por el que nuestro organismo lucha contra el cáncer.

¿Qué es Ipilimumab? Es una proteína (un anticuerpo monoclonal) obtenida por métodos biotecnológicos. Como otros anticuerpos se unen a su antígeno específico, en este caso mediante una interacción inactivante de una proteína denominada CTLA-4 (*Cytotoxic T-Lymphocyte-Associated protein*). CTLA-4 es un receptor de membrana que actúa como modulador/represor del sistema inmune, más concretamente de la activación de los linfocitos T citotóxicos o CTLs. De modo que menos por menos es más: la inactivación del represor de la respuesta inmune de los CTLs debe tener un efecto potenciador de la acción citotóxica de estos linfocitos.

¿Cómo puede el sistema inmune (las CTLs) ayudar a acabar con el cáncer? Las células cancerosas tienen alterada su dotación genética en menor o mayor grado. Generalmente cuanto más progresa un tumor más alteraciones genéticas acumula, debido sobre todo a fallos cooperativos en los sistemas de control de la replicación, la reparación del genoma, y la biosíntesis de macromoléculas en general. Algunas de estos errores inducen la expresión de proteínas aberrantes. Estas «nuevas» proteínas o polipéptidos anómalos se pliegan, como todas, siguiendo leyes de la termodinámica, produciendo estructuras tridimensionales «extrañas» (antígenos) para nuestro sistema inmune. Estos antígenos finalmente son reconocidos por las CTLs que reaccionan contra ellas como si de un patógeno se tratara, disparando una respuesta inmune que tiene como finalidad la muerte de la célula aparentemente «invasora». La posibilidad de utilizar esta «confusión» del sistema inmune como base terapéutica del cáncer se denomina «inmunoterapia del cáncer». Sin embargo, las primeras iniciativas resultaron ser menos eficaces de lo esperado, ya que el sistema presenta mecanismos de represión (como aquel en el que actúa CTLA-4). La industria farmacéutica estaba a punto de abandonar esta estrategia terapéutica cuando el profesor Allison se fijó en CTLA-4 y formuló una nueva hipótesis, que fue posteriormente validada en ratones y publicada en 1996: «la neutralización de CTLA-4 por interacción física de un anticuerpo monoclonal (finalmente llamado Ipilimumab) potenciaría la

respuesta inmune antitumoral que conduciría a la destrucción de las células cancerosas. Aunque en principio la comunidad científica no fue muy receptiva, y a nivel molecular (y celular) quedan muchas preguntas sin responder sobre el mecanismo preciso por el cual CTLA-4 ejerce sus efectos, en la actualidad la estrategia propuesta por el Dr. Allison está dando resultados satisfactorios en pacientes de melanoma y carcinomas de pulmón, próstata y vejiga<sup>[1]</sup>. La caracterización de CTLA-4 está cobrando interés también como elemento molecular potencialmente implicado en múltiples enfermedades autoinmunes<sup>[2]</sup>.

El profesor **J. P. Allison** es graduado en Microbiología y doctor en CC. Biológicas (Campus de Austin, Universidad de Tejas). Trabajó en varios de los campus más prestigiosos de California. Y en la actualidad es Catedrático del Departamento de Inmunología de la Universidad de Tejas, el estado en el que nació. Es vicedirector del Centro de investigación aplicada sobre cánceres genitourinarios de Tejas. Ha sido presidente de la asociación americana de Inmunólogos y es miembro de las Academias Americanas de las Ciencias, de Microbiología y de la Investigación sobre el cáncer. Su labor investigadora ha recibido multitud de premios de instituciones y fundaciones muy prestigiosas, como el que motiva este artículo. En definitiva, es un magnífico ejemplo para reforzar los ejemplos proporcionados por tantos grandes investigadores que han demostrado que para avanzar y llegar a nuevos descubrimientos notables no importa tanto el punto de partida, sino la trayectoria que uno se trace, y que un requisito indispensable es tener la capacidad de generar nuevas hipótesis mirando los problemas desde perspectivas no exploradas aún.

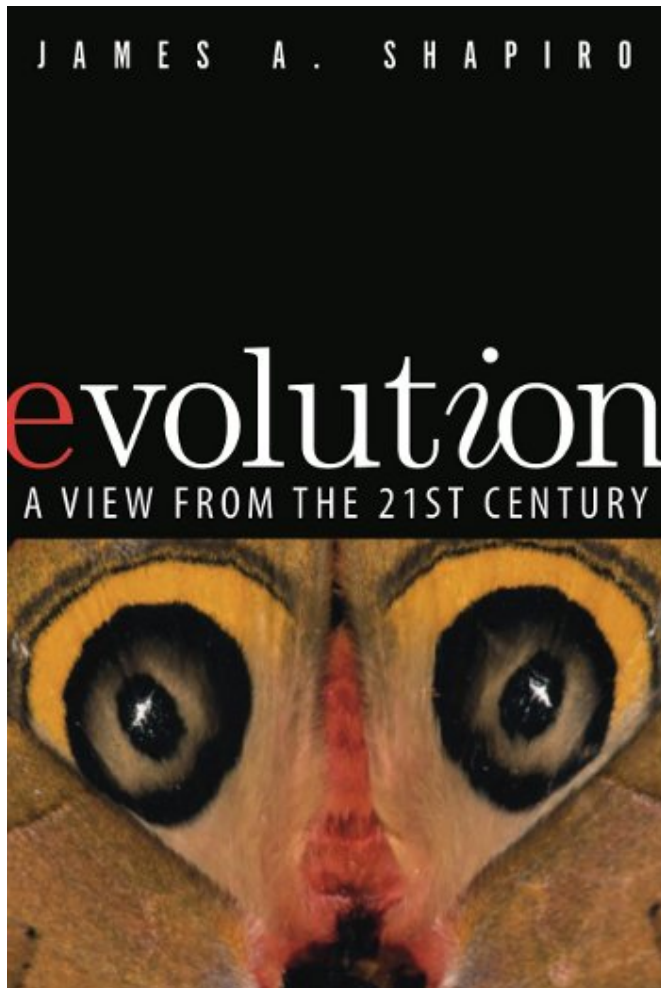
#### Referencias:

<sup>1</sup>Page DB, Postow MA, Callahan MK and others. Immune Modulation in Cancer with Antibodies. *Annu Rev Med* 65: 185-202. 2014.

<sup>2</sup>Paterson AM, Lovitch SB, Sage PT and others. Deletion of CTLA-4 on regulatory T cells during adulthood leads to resistance to autoimmunity. *J Exp Med* 212(10): 1603-21. 2015.

## ¿Es la «ingeniería genética natural» un desafío para la Teoría Sintética?

Reseña del libro «*Evolution: A view from the 21st century*» (Upper Saddle River, NJ: FT Press, 2ª ed. con correcciones. 2013) de James. A. Shapiro



En el intenso debate, que viene de décadas atrás, pero que se ha recrudecido en los últimos años<sup>[1]</sup>, acerca de si la Teoría Sintética de la Evolución necesita de algunas tranquilas reformas ampliativas o, por el contrario, debe ser sustituida por una nueva visión teórica capaz de recoger los descubrimientos recientes acerca del origen de las verdaderas innovaciones evolutivas, el genetista bacteriano James A. Shapiro, de la Universidad de Chicago, se cuenta definitivamente en las filas de los que defienden esto último. Lo hace además de forma radical («es importante darse cuenta –afirma en la página 121– que la selección no ha conducido jamás a la formación de una nueva especie, como Darwin postuló»), y este libro es la relación de todos los ejemplos que, según su criterio, hacen inevitable su posición. Una posición que, por cierto, es citada con agrado, y

para enfado del propio Shapiro, por los defensores del *Diseño Inteligente*. En particular, lo que el libro trata de mostrar es la falsedad de una idea central en la teoría darwinista y en su actualización contemporánea, la de que las variaciones que surgen en las poblaciones lo hacen de forma aleatoria. La variación que los individuos presentan siempre en cualquier población obedece según Shapiro a mecanismos de *ingeniería genética natural* que están orientados teleológicamente. Y para establecer esto, no duda en derribar también la parte que aún quedaba en pie del *dogma central de la biología molecular*, tal como lo formuló Francis Crick en un artículo en 1958. Según Shapiro, el flujo de información puede ir desde las proteínas hacia los ácidos nucleicos gracias a algunos de estos mecanismos de ingeniería genética natural que el libro detalla.

Es, sin embargo, muy discutible que la interesante e instructiva información que Shapiro aporta sobre todos esos mecanismos de ingeniería genética natural –la utilidad principal del libro consiste precisamente en esa recopilación de datos–, todos ellos bien conocidos por los biólogos, y algunos desde hace bastante tiempo, permitan sustentar las conclusiones radicales del libro. Por ejemplo, Shapiro nos recuerda que mecanismos de reparación del genoma, como el SOS, consisten en la reconstrucción por parte de ciertas proteínas de la secuencia de nucleótidos en el ADN cuando se han producido en ella mutaciones y errores de copia. Estos mecanismos, que pueden encontrarse en cualquier libro actualizado de biología molecular o de genética, constituyen para él un caso claro de violación del dogma central, puesto que una proteína estaría pasando su información al ADN. No obstante, podría replicarse que, en tales casos, las proteínas solo restituyen una información que ya estaba en ese ADN y que lo que verdaderamente iría contra el dogma central de la biología molecular sería encontrar un caso de traducción inversa, es decir, un caso en el que un cambio producido en una proteína por factores ambientales fuera incorporado a las ácidos nucleicos a través de un cambio estable en la secuencia de nucleótidos, de modo que esta información ambiental adquirida pasara mediante herencia genética a las siguientes generaciones. Hasta donde yo sé, no existe documentación de un caso así en la literatura científica.

Nadie pondrá en cuestión que el genoma de un organismo puede cambiar, incluso de forma muy notable, debido a las influencias externas (factores mutagénicos, transferencia horizontal de genes, incorporación de genes externos mediante el sistema CRISPR-cas, etc.). Tampoco cuestionará que el organismo modifica activamente ese ambiente, haciendo que las presiones selectivas cambien en consonancia con ello, ni negará la importancia evolutiva de las duplicaciones de partes del genoma o de todo él, de la endosimbiosis o de los transposones. Pero lo que de ningún modo puede darse por establecido es que esos cambios estén dirigidos por alguna especie de fuerza teleológica o intencional para responder mejor a los desafíos ambientales, o dicho de otro modo, que la evolución esté controlada por los propios organismos gracias a mecanismos que posibilitan el que éstos realicen cambios en su genoma específicamente orientados a su mejor adaptación. Los cambios que Shapiro menciona pueden favorecer una mayor «evolucionabilidad» en las poblaciones (un concepto que sorprendentemente no se detiene a analizar, a pesar de que en la página 2 afirma con razón que «la capacidad de cambiar es ella misma adaptativa»), o pueden incrementar la tasa de mutabilidad, haciendo

que el propio ritmo de la evolución se acelere, pero lo que no pueden hacer es que los organismos adquieran precisamente los rasgos que resultan apropiados para afrontar los desafíos del ambiente. Y es en este sentido estricto en el que la Teoría Sintética habla del carácter aleatorio de las variaciones.

En resumen, se trata de un libro de lectura estimulante (es siempre estimulante leer a un acreditado científico, en este caso discípulo de François Jacob, que se atreve a defender una tesis heterodoxa); y es un libro del que sin duda se obtienen múltiples enseñanzas, especialmente si se complementa con la información que el autor pone en Internet; un libro que hace una aportación interesante al debate sobre el estado actual de la Teoría Sintética. Solo hay un *pero* que formular, en mi modesta opinión: los argumentos que en él se proporcionan hacen precipitada la conclusión de que estamos realmente ante un cambio de paradigma en lo que a dicha teoría se refiere.

#### Referencia

<sup>1</sup>Laland K. and others. *Does Evolutionary Theory Need a Rethink?* *Nature* 514: 161-164. 2014.



### *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 presentadas deberán ser inéditas o contar 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 serán además sometidos a revisión 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), su dirección postal, correo electrónico y teléfono. Para distinguir la afiliación de diferentes autores utilice símbolos (\*, †, ‡, §, ¶, etc.) después del nombre de cada uno.
3. El documento se puede enviar en formato txt, rtf, sww/odt (OpenOffice/LibreOffice), doc/docx (MS-Word) o tex (L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X). Debido a las restricciones de espacio, la extensión no debe superar las 1600 palabras; en caso contrario, el editor se reserva el derecho a dividirlo 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. Al final del mismo, se incluirá la sección de *Bibliografía* o *Referencias* de acuerdo con el estilo del siguiente ejemplo:
  - Einstein Z, Zwestein D, Dreistein V, St. Pierre E. Spatial integration in the temporal cortex. *Res Proc Neurophysiol Fanatic Soc* 1: 45-52, 1974.
  - Sóbol I. *Método de Montecarlo*. MIR, Moscú. 1976.
 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 co-editores 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.





# encuentros con la ciencia

## XIII Edición

Ámbito Cultural de El Corte Inglés de Málaga | 23 noviembre 2015 - 19 febrero 2016

### Organizan

Dr. Enrique Víguera, Dra. Ana Grande y Dr. José Lozano (Universidad de Málaga)  
Mariola Argibay (I.E.S. Cánovas del Castillo)  
Juan Carlos Aznar (I.E.S. Vega de Mijas)  
Julia Toval (Sociedad Malagueña de Astronomía)

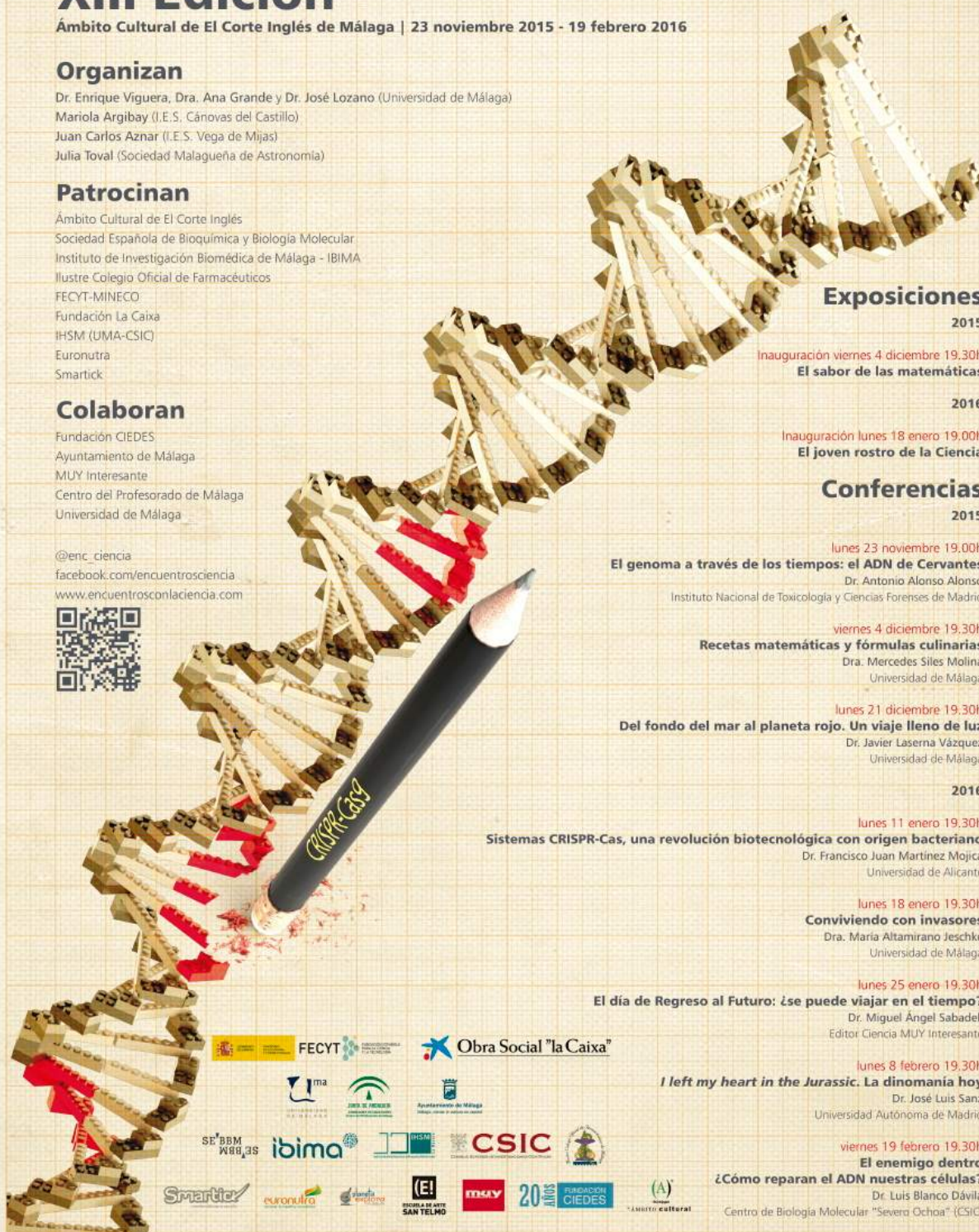
### Patrocinan

Ámbito Cultural de El Corte Inglés  
Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular  
Instituto de Investigación Biomédica de Málaga - IBIMA  
Ilustre Colegio Oficial de Farmacéuticos  
FECYT-MINECO  
Fundación La Caixa  
IHSM (UMA-CSIC)  
Euronutra  
Smartick

### Colaboran

Fundación CIEDES  
Ayuntamiento de Málaga  
MUY Interesante  
Centro del Profesorado de Málaga  
Universidad de Málaga

@enc\_ciencia  
facebook.com/encuentrosenciencia  
www.encuentrosconciencia.com



### Exposiciones

2015

Inauguración viernes 4 diciembre 19.30h  
**El sabor de las matemáticas**

2016

Inauguración lunes 18 enero 19.00h  
**El joven rostro de la Ciencia**

### Conferencias

2015

lunes 23 noviembre 19.00h  
**El genoma a través de los tiempos: el ADN de Cervantes**  
Dr. Antonio Alonso Alonso  
Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses de Madrid

viernes 4 diciembre 19.30h  
**Recetas matemáticas y fórmulas culinarias**  
Dra. Mercedes Siles Molina  
Universidad de Málaga

lunes 21 diciembre 19.30h  
**Del fondo del mar al planeta rojo. Un viaje lleno de luz**  
Dr. Javier Laserna Vázquez  
Universidad de Málaga

2016

lunes 11 enero 19.30h  
**Sistemas CRISPR-Cas, una revolución biotecnológica con origen bacteriano**  
Dr. Francisco Juan Martínez Mojica  
Universidad de Alicante

lunes 18 enero 19.30h  
**Conviviendo con invasores**  
Dra. Maria Altamirano Jeschke  
Universidad de Málaga

lunes 25 enero 19.30h  
**El día de Regreso al Futuro: ¿se puede viajar en el tiempo?**  
Dr. Miguel Ángel Sabadell  
Editor Ciencia MUY Interesante

lunes 8 febrero 19.30h  
**I left my heart in the Jurassic. La dinomanía hoy**  
Dr. José Luis Sanz  
Universidad Autónoma de Madrid

viernes 19 febrero 19.30h  
**El enemigo dentro  
¿Cómo reparan el ADN nuestras células?**  
Dr. Luis Blanco Dávila  
Centro de Biología Molecular "Severo Ochoa" (CSIC)



Obra Social "la Caixa"

