

Encuentros en la **b**iología



Cajal, Río Hortega
y las *fake news*

Líquenes en la exploración
del Sistema Solar

Reprogramación metabólica
en cáncer

Vol XIV | No 176
INVIERNO | 2021

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

Entidad editora:

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

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

Periodicidad:

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

Correspondencia a:

JUAN ANTONIO PÉREZ CLAROS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
29071 - MÁLAGA
JOHNNY@UMA.ES

EQUIPO EDITORIAL

COMITÉ EDITORIAL EJECUTIVO

- Juan A. Pérez Claros
johnny@uma.es
Paleontología
Director.
- Ramón Muñoz-Chápuli
chapuli@uma.es
Biología del desarrollo y cardiovascular
*Director adjunto:
Coordinación de la edición electrónica, foros de la ciencia*
- Elena Rojano Rivera
elenarojano@uma.es
Bioinformática y biología de sistemas. *Directora adjunta: Maquetación*

COMITÉ EDITORIAL ASOCIADO

- Ana Grande Pérez
agrande@uma.es
Genética-virología, Patogénesis virales. *Jóvenes científicos*
- Antonio Diéguez
dieguez@uma.es

Filosofía de la ciencia
A debate, reseñaciones

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

sistemas, biofísica y bioquímica
Monitor

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

- Rafael Antonio Cañas Pendón
rcanas@uma.es
Biología Molecular de plantas
- A. Victoria de Andrés Fernández
deandres@uma.es
Biología animal aplicada
Directora de Ciencia Sin Límites
- Héctor Valverde Pareja
hvalverde@uma.es
Biología evolutiva molecular
Maquetación y difusión

COMITÉ EDITORIAL DE HONOR

- Salvador Guirado Hidalgo
guirado@uma.es
Biología Celular
- Esteban Domingo
edomingo@cbm.uam.es
Evolución de virus
- Gonzalo Álvarez Jurado
g.alvarez@usc.es
Genética

La portada



El pinzón azul de Tenerife (*Fringilla teydea*) es un ave passeriforme endémica de la isla de Tenerife, siendo uno de sus emblemas naturales. En la isla de Gran Canaria hay una subespecie de pinzón, *Fringilla polatzeki*, que se diferencia de la del Teide por una banda oscura en la frente y un menor tamaño.

Es un ave sedentaria que apenas se desplaza de los territorios donde habita. Vive en los bosques de pino canario (*Pinus canariensis*) de la isla, entre los 1000 y 2000 metros de altitud. Los piñones de estos pinos son una parte fundamental de su alimentación junto con los insectos con los que alimenta a sus pollos. El pinzón del Teide está categorizado como vulnerable, pues los incendios y la pérdida de los pinares de pino canario son una grave amenaza para su supervivencia. Se calcula que la población de pinzones en Tenerife ronda el millar.

Paula Martín Rodríguez

Índice

Editorial	3
La imagen comentada	5
Cajal, Río Hortega y las <i>fake news</i>	7
Líquenes y su importancia en la exploración del Sistema Solar	18
Reprogramación metabólica en cáncer	23
La reprogramación metabólica es una capacidad distintiva del propio metabolismo	26
La ilustración científica: Una necesidad para favorecer la divulgación científica en redes sociales.	28

Editorial

Cuando redacté mi primer editorial de *Encuentros en la Biología* en el número de otoño de 2018, hice referencia a un tipo de personaje que considero aterrador: el bárbaro especialista de Ortega y Gasset: hombre de ciencia fabulosamente mediocre (o menos que mediocre) que sin embargo opera con éxito en su parcela investigadora gracias a la mecanización de su trabajo.

Sin duda la mecanización permite aumentar el número de trabajos publicados por unidad de tiempo. Otra cuestión es si esto se consigue a expensas de añadir nada o casi nada al conjunto previo del saber. La presión del sistema hacia la adopción de estas praxis es terrible e implacable. Aquel que quiera dedicarse profesionalmente a la carrera científica es tutorizado con esta férrea

guía, al igual que un arbolito en crecimiento, para que no se aparte del camino recto que supone la mecanización para la obtención de publicaciones con las que acceder a becas, concursos y finalmente una posición más o menos estable. Por supuesto la promoción posterior dentro de este sistema también está basada en índices de «producción» que radican en la cantidad y no en la calidad de lo aportado al resto de la comunidad científica. La alternativa normalmente conduce a un suicidio profesional o al menos a un camino mucho más duro. Sin embargo, se me viene al pensamiento que a veces puede que sea precisamente el pasar una temporada en una oficina de patentes en Berna lo que haga que se abran puertas a nuevos territorios científicos de imponente amplitud como ocurrió en el caso del año «milagroso» de Einstein.

Querido lector, la razón de compartir aquí mi aversión al bárbaro especialista no radica en que vislum-

bre un camino simple para evitar transcurrir como un «bárbaro» al menos parte de la senda de una carrera investigadora estándar. El motivo es que tal aversión me resulta paradójicamente inspiradora y quizá también a ti sin ser consciente, si es que estás hojeando esta revista. En efecto, el miedo a la súper-especialización puede ser un acicate para intentar conocer, aún superficialmente, otros campos preferentemente alejados de nuestras propias disciplinas. En el espíritu de nuestros *Encuentros en la Biología* está no sólo el acercar las distintas materias biológicas (tan dispares a veces) a los propios biólogos, sino que sería un logro aspirar a llegar a cualquiera que quiera conocer un poco más de este bello mundo sin importar de qué campo provenga, si es que incluso proviene de alguno.

Juan Antonio Pérez Claros

eb

La imagen comentada



Crédito de la imagen: Elena Rojano Rivera. Dpto. de Biología Molecular y Bioquímica (elenarojano@uma.es)

LA FLORACIÓN DEL ALMENDRO EN LA AXARQUÍA MALAGUEÑA

En la comarca malagueña de la Axarquía se encuentra Alfarnatejo, un pequeño pueblo rodeado de montañas en un paraje natural que entre los meses de enero y marzo colma de flores blancas los numerosos ejemplares de almendros (*Prunus dulcis*), repartidos por todo el municipio. A través de sus numerosas rutas de senderismo se pueden observar distintas especies vegetales entre las que también se incluyen los olivos (*Olea*

europaea), encinas (*Quercus ilex*) y quejigos (*Quercus faginea*), cuyas cortezas usualmente están pobladas por líquenes de color amarillo pertenecientes al género *Xantoria*.

Los almendros son árboles caducifolios de la familia *Rosaceae* que crecen en ambientes relativamente secos y fríos. Las condiciones climáticas de Alfarnatejo son propicias para el buen crecimiento de esta especie.

Generalmente, a finales del mes de enero comienza la floración, coincidiendo con los días más fríos del año en la región, oscilando entre los 10 °C y -2 °C. Las temperaturas bajas son esenciales para que se produzca la acumulación de frío en las yemas y den lugar a un mayor número de flores^[1,2]. En menor medida, es importante que tras la floración haya un ligero aumento de las temperaturas para favorecer el desarrollo y polinización de las flores^[3]. Sin embargo, los descensos de la temperatura en estadios más avanzados del desarrollo de la flor, mayoritariamente producidos por heladas en los meses de febrero y abril, pueden producir daños severos tanto en flores como frutos que reduzcan la producción de almendras. Dado que la climatología es un fenómeno no controlable, hay diversos estudios que aplican tecnologías de secuenciación para analizar el transcrito de distintas especies del género *Prunus* menos susceptibles al frío. Estos análisis sirven para determinar los niveles de expresión de genes que se expresan ante condiciones extremas de temperatura y poder llevar a cabo técnicas de mejora vegetal que impidan pérdidas económicas en las cosechas^[4]. Las flores de almendro tienen cinco pétalos de color blanco o rosa y son monoicas. El gineceo está compuesto por un único carpelo y un pistilo largo, amarillo, fácilmente reconocible entre los estambres. Con respecto al androceo, presenta un gran número de estambres cuyos filamentos aparecen separados entre sí. Al final de los filamentos hay una antera con dos tecas, cada una con dos sacos polínicos. En la imagen se pueden apreciar fácilmente los cinco

pétalos de color blanco, los numerosos estambres y en algunos las dos tecas de cada antera, así como el pistilo. España es el segundo mayor exportador de almendras del mundo, después de Estados Unidos (los datos se pueden consultar en la web de FAOSTAT^[5]). Son un fruto seco de alto valor calórico (575 calorías por 100 g) con un alto valor nutricional, destacando su contenido en grasas (54,84 g por 100 g), fibra y minerales como calcio, fósforo y magnesio. Además de su consumo en crudo, se pueden elaborar bebidas vegetales, así como aceites cosméticos.

Referencias

- [1] Martínez-Gómez P, Prudencio A y otros. The delay of flowering time in almond: a review of the combined effect of adaptation, mutation and breeding. *Euphytica* 213:197, 2017.
- [2] Sakar E, El Yamani M y otros. Codification and description of almond (*Prunus dulcis*) vegetative and reproductive phenology according to the extended BBCH scale. *Scientia Horticulturae* 247:224-234, 2019.
- [3] Prudencio A, Dicenta F y otros. Monitoring Dormancy Transition in Almond [*Prunus Dulcis*(Miller) Webb] during Cold and Warm Mediterranean Seasons through the Analysis of a DAM (Dormancy-Associated MADS-Box). *Gene. Horticulturae* 4:41, 2018.
- [4] Hosseinpour B, Sepahvand S y otros. Transcriptome profiling of fully open flowers in a frost-tolerant almond genotype in response to freezing stress. *Mol Genet Genomics* 293:151-163, 2018.
- [5] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>)

CAJAL, RÍO HORTEGA Y LAS *FAKE NEWS*

por FEDERICO J. C-SORIGUER ESCOFET

ACADEMIA MALAGUEÑA DE CIENCIAS

Antecedentes

Durante la confinación por la pandemia del coronavirus, una persona muy cercana me envía una entrevista a un conocido arquitecto español, en la prestigiosa revista *Jot Down*^[1]. Mi interés por la arquitectura es alto pero no tanto como para que me envíen una autocomplaciente entrevista de un conocido arquitecto hecha en 2014. No obstante la leo con interés y ya, avanzado el texto, descubro el motivo. El afamado arquitecto, para explicarnos lo cainita que es este país (menos él, por supuesto), pone el ejemplo de cómo don Santiago Ramón y Cajal impidió que a don Pío del Río Hortega le dieran el premio Nobel. Después, por si quedaba alguna duda lo aclara: «España es muy puñetera y los españoles son muy puñeteros. Santiago Ramón y Cajal era discípulo de don Pío del Río Hortega, quién como estaba ya muy mayor, fue el propio Ramón y Cajal quien continuó su investigación. Pues a Santiago le dan el Premio Nobel, y a los dos o tres años, la comisión del Nobel quiere dárselo a Pío del Río Hortega. ¿Quién se opone? ¿Quién lo impide? Ramón y Cajal. Hombre, eso no se hace. Eso traduce muy bien el espíritu de lo que es España. Cuando voy fuera procuro ayudar a los españoles, porque procuro hablar bien de los arquitectos, ... etc. (sic)». Mi corresponsal conoce bien mi interés y admiración por Cajal, al que incluso le he dedicado el título de un libro^[2] y es este comentario del eminente arquitecto la razón por la que me envía la entrevista en *Jot Down*.

La afirmación es, cuando menos sorprendente, especialmente viniendo de persona tan prestigiosa en el mundo de la cultura, pues partiendo de un desencuentro real que más adelante comentaremos ampliamente, entre Cajal y Río Hortega, extrae unas conclusiones que ofenden gravemente a la memoria de Cajal.

La persona cuyos comentarios en *Jot Down* aquí criticamos es un arquitecto muy conocido y muy vinculado al mundo de la cultura. No es un arquitecto más. Es hombre de vasta cultura que, sin embargo, no le ha llegado para precisar cuáles son sus fuentes a la hora de hablar de las relaciones entre Cajal y

Río Hortega, del que llega a decir, incluso, que era maestro de Cajal. Esta afirmación sobre Cajal como discípulo de Río Hortega es verdaderamente sorprendente y la repite dos veces a lo largo de la entrevista, cuando es exactamente lo contrario. Cajal es 30 años mayor que don Pío quien formó parte de la gran escuela de histología cajaliana, como el mismo Río Hortega reconoce en todos sus escritos, el último y de título más significativo el gran libro escrito en su exilio de Argentina: «El maestro y yo» al que nos referiremos extensamente más adelante^[3]. Solo este error, que suponemos debido más a la ignorancia que a la mala fe, desautorizaría todo el resto de sus comentarios, pero aun así hemos creído conveniente salir al paso, entre otras cosas porque una información dejada en la nube es una información al alcance de cualquiera, en cualquier parte del mundo y en cualquier momento, como le ha ocurrido ahora, seis años después, a nuestro corresponsal, que sin poner en dudas las afirmaciones vertidas por el entrevistado en *Jot Down*, simplemente me las envía, conocedor de mi interés sobre la historia de la ciencia en España y en particular sobre Cajal.

Nuestro entrevistado, ha oído campanas pero no sabe muy bien dónde. Ciertamente las relaciones entre Cajal y Río Hortega fueron en algún momento conflictivas. Pero de eso a que Cajal fuera el culpable de que no se le concediera el Nobel a Río Hortega hay un buen trecho. Quizás, por eso, no sea ocioso recordar si acaso brevemente la historia de Cajal y de Río Hortega, especialmente de este último pues la de Cajal es sobradamente conocida, antes de volver a hablar del «conflicto» entre Cajal y Río Hortega.

Santiago Ramón y Cajal

Cajal nació en Petilla de Aragón el 1 de mayo de 1852 y murió en Madrid en octubre de 1934, tres años después de proclamarse la II República y dos antes de que estallara la guerra civil. Fue un estudiante no muy disciplinado y desde muy joven mostró gran interés y destreza para las artes plásticas así como la vida sana y la naturaleza como muy bien ha contado recientemente Eduardo Garrido Marín^[10], afición

que luego reforzaría tras su contacto con los miembros de la Institución Libre de Enseñanza. Terminó la carrera de medicina en 1873 con 21 años, siendo inmediatamente llamado a filas, incorporándose al cuerpo de sanidad militar y movilizado, primero, con motivo de la tercera guerra carlista y pronto, en 1874, destinado a Cuba, con el grado de capitán, donde se estaba librando la llamada guerra de los 10 años. De su estancia Cajal recuerda el caos administrativo, la incompetencia y la corrupción, a pesar de lo cual rechazó una recomendación de su padre para un destino mejor dentro de la isla. Enfermo de paludismo volvió a España en 1875. Tras su regreso, con las pagas atrasadas de su estancia en Cuba se compró un microtomo, reactivos y colorantes con los que montó un pequeño laboratorio en el que iniciaría sus investigaciones histológicas. Retoma su carrera académica, terminando el doctorado (1877), fecha también en la que entra en la logia masónica con el nombre simbólico de Averroes^[5].

Catedrático primero en Valencia (1882), después en Barcelona (1887) y finalmente en Madrid (1892), sus logros científicos son imposibles de resumir aquí y no es tampoco el objetivo de este artículo. Remitimos al lector interesado a su propia obra autobiográfica^[6] o a algunas de las numerosas biografías que se han hecho sobre Cajal^[7,8,9]. Obra científica que le llevó a la concesión del Premio Nobel en el año 1906 compartido con Camilo Golgi. En todo caso Cajal fue una persona de amplia formación, humanista, técnica, científica, artística, literaria, con un profundo sentido ético y un marcado compromiso con la sociedad que le tocó vivir. Su interés por el cuerpo le llevó a practicar culturismo de joven, aconsejando sobre la fisiología del ejercicio a algunos gimnasios de la época lo que nos llevaría a considerarlo como, probablemente, el primer médico deportivo de la historia^[10]. En algún momento de su carrera estudió las hormigas, lo que le convierte en uno de los primeros mirmecólogos^[11], aunque no haya sido reconocido como tal. Su afición a la fotografía y al dibujó los trasladó a su trabajo de laboratorio demostrando como la técnica, la ciencia y el arte no tienen por qué estar disociados. Sobre fotografía publicó varios libros^[12,13] pudiéndosele considerar como uno de los pioneros de la fotografía en España. No se limitó a hacer ciencia sino que también reflexionó sobre ella, publicando algunos textos seminales sobre la lógica y el método científico, adelantándose a todo el empeño epistemológico posterior, aunque sorprendentemente no es citado por los grandes epistemólogos y teóricos de la ciencia que después vinieron, probablemente porque su producción estaba en español^[14]. Estando en Valencia se dedicó a la investigación sobre la

epidemia del cólera que asoló la ciudad^[15], (como hoy probablemente se hubiera dedicado a la del coronavirus), volviendo después a la investigación en neurohistopatología. En un momento hizo medicina clínica y adquirió fama con la utilización de la hipnosis llegando a ayudar a su mujer en su quinto parto mediante inducción hipnótica, experiencia que publicó el 11 de agosto de 1889, en la Gaceta Médica Catalana^[16], aunque abandonó completamente los estudios sobre la hipnosis por presumir que no le llevaban a buen puerto. Tras la adjudicación del premio Moscú, el gobierno de Alfonso XIII ordenó la creación del Laboratorio de Investigaciones Biológicas, inaugurado en 1902, que quedaría posteriormente incluido en el Instituto Cajal o Centro Nacional de Investigaciones Biológicas que aunque creado en 1920 no fue inaugurado hasta 12 años después, por lo que Cajal nunca trabajó en él debido a su estado de salud pues fallecería dos años más tarde. Como «gestor de ciencia» (así lo llamaríamos hoy) el mayor empeño de Cajal fue conseguir que jóvenes investigadores españoles se formaran en el extranjero y como maestro su máxima era que «no se enseña bien sino lo que se hace y quien no investiga no enseña a investigar». Cajal era plenamente consciente de que el conocimiento científico es universal pero para que la ciencia se desarrolle necesita echar raíces en alguna parte. En 1913, en la respuesta a Unamuno en la que este le pide una recomendación para una beca al extranjero de un conocido suyo, Cajal aparte de garantizarle la ayuda, escribe: «Lo mucho y exquisito que dice usted en su libro «Mi Religión», lo suscribo yo por completo. Creo que España debe desarrollar su ingenio propio, su personalidad original, en arte, en literatura, en filosofía hasta en el modo de considerar la vida, pero en ciencia debemos internacionalizarnos. Hay escuelas filosóficas, literarias, artísticas, políticas; pero solo hay una ciencia, la cultivada desde Galileo a Pasteur y Claudio Bernard...»^[17]. Cajal no se limitó a investigar. Creó una gran escuela, la escuela cajaliana, a la que pertenecieron entre otros, Jorge Francisco Tello (1880-1958), Nicolás Achúcarro (1880-1918), Pío del Río Hortega (1881-1945), Fernando de Castro Rodríguez (1896-1967) y Rafael Lorente de No, (1902-1990), entre otros muchos, la mayoría de ellos exiliados o sometidos a depuración ideológica tras la guerra civil. No fue una casualidad, Cajal tenía muy claro lo que significaba ser un maestro: «La gloria del maestro no consiste en formar discípulos que le sigan sino sabios que le superen», una cuestión sobre la que volveremos al hablar del conflicto con Don Pío del Río Hortega que es el que ha dado lugar a este artículo. Tampoco se limitó Cajal a la ciencia. Escribió mucho, no solo artículos científicos o cartas.

También cuentos, algunos deliciosos, otros ingenuos y todos con una carga moral o, incluso con hipótesis científicas imaginativas que no cabían en el riguroso quehacer científico. No en vano les llamó: «Cuentos de vacaciones. Narraciones pseudocientíficas»^[18]. Pero sobre todo, Cajal fue un ciudadano comprometido con su tiempo, con su país («amemos a la patria aunque no sea más que por sus merecidas desgracias») y un referente moral, no solo por sus dichos sino, sobre todo, por sus hechos, de los que nos limitamos a tres ejemplos: Tras su nombramiento como director del Laboratorio de Investigaciones Biológicas, se rebajó su exiguo sueldo en un 40% («porque tenía ya otros sueldos oficiales»), siendo presidente de la Junta de Ampliación de Estudios (JAE), envió al extranjero a su hijo Jorge, que había conseguido una beca, pagando los gastos de su bolsillo. Preguntado por las razones contesto («Por eso mismo, por ser mi hijo») y, rechazó el cargo de Ministro de Salud e Instrucción Pública, aceptando el nombramiento de senador vitalicio «porque no tenía asignación económica».

La figura de los científicos de la llamada «escuela cajaliana» es mucho menos conocida que la de Cajal, a pesar de que dos de ellos, don Pío del Río Hortega y Lorente de No, fueron propuestos en más de una ocasión para el Premio Nobel. Cajal fue un sabio, laico, ateo, racionalista e ilustrado que contribuyó de manera singular a lo que se ha llamado la «edad de plata de la ciencia española» anterior a la guerra civil. Murió en el año 1934 sin que tuviera que asistir a la destrucción de su obra y de su país a los que tanto amó, pues la dictadura de Franco se ensañó con mucho de los discípulos de Cajal, que tuvieron que exilarse y también con su obra pues transformó la Junta de Ampliación de Estudios en el Consejo superior de Investigaciones científicas (CSIC) cuya ley fundacional de 24 de noviembre de 1939, resumía así los fines a los que debía servir: «... Hay que imponer, en suma, al orden de la cultura, las ideas esenciales que han inspirado nuestro Glorioso Movimiento, en las que se conjugan las lecciones más puras de la tradición universal y católica con las exigencias de la modernidad». Su primer presidente, José Ibáñez Martín, era de la Asociación Católica Nacional de Propagandistas, el vicepresidente D. José López Ortiz llegó a ser obispo de Tuy y el secretario general e ideólogo fue José María Albareda Herrera, sacerdote y miembro del Opus Dei. Ibáñez Martín en su discurso inaugural en el año 1939 lo resumía así: «Queremos una ciencia católica. Liquidamos, por tanto, en esta hora, todas las herejías científicas que secaron y agostaron los cauces de nuestra genialidad nacional y nos sumieron en la atonía y la decadencia. [...] Nuestra ciencia actual, en conexión con la que

en los siglos pasados nos definió como nación y como imperio, quiere ser ante todo católica»^[19,20].

Nos hemos detenido, aunque sea brevemente en la biografía de Cajal, seleccionando bajo nuestro exclusiva responsabilidad aquellos aspectos que más nos interesan para comprender mejor aquel conflicto con don Pío del Río Hortega, del que daremos cuenta más adelante.

Pío del Río Hortega

Hasta muy recientemente ha sido un gran desconocido, incluso para una buena parte de la comunidad científica. Solo ahora su nombre se le reconoce por identificar una de las convocatorias de contratos de investigación más esperados por la comunidad científica en el ámbito biomédico, los contratos de investigación Río Hortega y en el caso de Castilla y León por dar nombre al hospital Río Hortega, el gran hospital público de Valladolid^[21].

Algo, sin embargo parece estar cambiando. Recientemente (2020) ha sido publicado un libro «Un científico en el armario. Pío del Río Hortega y la historia de la ciencia española», escrito por Elena Lázaro Real, periodista y comunicadora científica, que trabaja en la UCO dentro de la Unidad de Comunicación Científica, en el que actualiza la vida y obra de don Pío del Río Hortega y sobre el que después haremos algún comentario.

Río Hortega nació en Portillo (Valladolid) en 1882 y falleció en el exilio en Buenos Aires en 1945. Era pues 30 años más joven que Cajal. Al igual que Cajal de niño mostró una gran afición por el estudio de la Naturaleza, así como una gran habilidad manual y talento para el dibujo y la pintura, pero al contrario que Cajal era muy tímido e introvertido, lo que junto a su constitución débil, pequeño tamaño, aspecto atildado, espíritu perfeccionista y algo susceptible, le acarrearía dificultades con sus compañeros en su infancia y juventud y, posteriormente, con el grupo de Cajal^[23].

Terminó la carrera de Medicina en Valladolid en 1905, seis años después de que a Cajal le hubieran hecho Doctor *honoris causa* por las universidades de Boston, la Sorbona y Cambridge (1899), cinco desde que terminara el tercer fascículo de su *Textura del sistema nervioso del hombre y los vertebrados*, o que recibiera en París el premio Internacional Moscú, y unos meses antes de que le concedieran el premio Nobel de Medicina (1906). Circunstancias todas ellas que hacen más asombrosa la consideración de Cajal como discípulo de Río Hortega, citada en la entrevista en Jot Down, arriba comentada.

Tras la realización de la tesis doctoral en 1912 atraído por el prestigio de la escuela de Cajal se traslada a Madrid, incorporándose al grupo de Nicolás Achúcarro, en el Laboratorio de la Junta para la Ampliación de Estudios (JAE)^[24,25]. Al poco de llegar becado por la JAE que presidía Cajal realizó una estancia entre 1913 y 1915 en Berlín, Londres y París. Ya de vuelta a España se incorpora de nuevo al grupo de Achúcarro, que se encontraba ubicado provisionalmente en el Laboratorio de Investigaciones Biológicas de Cajal. Tras la muerte de Achúcarro en 1918 es nombrado a propuesta de Cajal, director del laboratorio de Histología Normal y Patológica en 1919^[26]. En 1917 había sido nombrado Secretario de la Sociedad Española de Biología que presidía Ramón y Cajal. En 1920, tras el conflicto con Cajal, que después comentaremos la JAE puso a su cargo un laboratorio, situado en la Residencia de Estudiantes, por el que pasarían diversos investigadores de Europa para conocer sus métodos y descubrimientos. En 1926 fue nombrado presidente de Real Sociedad de Historia Natural y en 1927, miembro de la Sociedad de Biología de París. Además, en 1928 fue también nombrado jefe de la Sección de Investigación del Instituto Nacional del Cáncer, institución que llegó a dirigir tres años después. En 1930 fundó los Archivos Españoles de Oncología y en 1933, ya en plena República fue cofundador de la Asociación de Amigos de la Unión Soviética, exiliándose en París en 1936, donde se le otorga la Legión de Honor francesa. Pasó después a la Universidad de Oxford, donde fue nombrado Doctor *honoris causa* por esta Universidad. Finalmente en 1940 se exilia en Argentina donde mantuvo una fecunda actividad científica de la que es muestra algunas prestigiosas figuras argentinas que le reconocen como su maestro, falleciendo en 1945. Previamente fue propuesto en dos ocasiones (1929 y 1937) al premio Nobel de Medicina. Las contribuciones de Río Hortega a la ciencia fueron muchas y muy importantes y el lector interesado puede consultar diferentes estudios dedicados a su obra^[27,28,29,30].

Después de recordar brevemente las biografías de Cajal y Río Hortega, estamos ahora en condiciones de pasar a considerar las relaciones entre ambos, con el objetivo, comentado al principio, de dar satisfacción a ciertas interpretaciones que se ha producido en diferentes medios sobre ellas.

La expulsión de Río Hortega del laboratorio de Cajal

Es preciso aclarar que lo que importa de Cajal y de Río Hortega es su obra, no los asuntos internos

de la vida privada de ambos. Aun así en la medida que tuvo repercusiones importantes, sobre todo en la obra de Río Hortega pues a Cajal le cogió ya mayor, es un asunto que ha interesado a los historiadores de la ciencia. La documentación que hay sobre esta historia no es muy numerosa y la mayor parte de las fuentes, no siempre citándola, acuden a «El maestro y yo»^[40], el libro que Río Hortega escribió en fecha indeterminada. Una historia que durante un siglo ha permanecido dentro de los círculos académicos pero que en los últimos años es un tema recurrente en los medios virtuales, acompañados casi siempre con titulares más o menos escandalosos^[32]. «El maestro y yo» es un libro inacabado, editado bastantes años después de su muerte, en el que Río Hortega salda cuentas con sus enemigos de «la escuela de Cajal». Pero el libro es mucho más. Es un libro realmente desgarrador, escrito por una persona que sufrió mucho, y que además, permite conocer en primera persona la evidencia de los hechos (muy creíbles por otra parte) así como ahondar en la personalidad de Cajal, a veces algo tamizada por ciertos biógrafos^[33]. Puede ser considerado como un retrato de la intrahistoria de una época en la que la ciencia española comenzaba a sembrar las simientes que hubieran permitido, de no ser por la guerra civil y la larga dictadura, recuperar el tiempo perdido. Una historia narrada en primera persona por don Pío, bien escrita, con el estilo propio de un guion cinematográfico (el relato daría para una buena película), a veces con momentos dramáticos, a veces épicos, otros pícaros y otros, en fin, aparentemente absurdos. Una historia en la que los protagonistas son dos de los más grandes científicos de nuestro país, dos personas muy distintas que se admiran y respetan, pero incapaces de controlar unos acontecimientos menores, que les llevan a una ruptura que en su momento debió ser dramática.

La historia comienza a partir de que el laboratorio de Achúcarro al que se había incorporado don Pío se traslada al laboratorio de Cajal. No era propiamente una fusión aunque el acercamiento tenía la vocación de mejorar por proximidad la funcionalidad de ambos. Mientras vivió Achúcarro no hubieron grandes problemas, pero tras su muerte en 1918, Cajal propone a don Pío para ocupar el puesto de jefe del laboratorio de Achúcarro. Y es a partir de ese momento cuando las cosas comienzan a complicarse. Si miramos esta historia, ocurrida hace cien años, con imaginación cinematográfica todo ocurrió en el cerrado recinto del laboratorio de investigación creado por Cajal y en el que su presencia y magisterio era indiscutido. Un Cajal ya casi septuagenario, ensimismado en sus proyectos y obsesionado por la vejez que le estaría impidiendo llevar a cabo todas las iniciativas que

bullían en su cabeza, sometido a las presiones que la gestión del grupo y del laboratorio le obligaban, preocupado por la supervivencia de su obra y, probablemente, celoso de las primacías en el conocimiento. Y, por otro lado, Río Hortega, que, al menos en su libro, se coloca en el papel de la víctima propiciatoria. Un laboratorio en el que habitaban pícaros como Tomas el conserje^[34], visitantes nacionales y extranjeros, no siempre oportunos, y unos científicos, la escuela de Cajal celosos del éxito de un extraño que venía del grupo de Achúcarro. Como dice Eduardo Garrido las razones últimas que llevaron a Cajal a tomar esa decisión no las conoceremos nunca^[35]. De especial interés es la interpretación que, desde la perspectiva de «la psicología de grupos», hace Pedro Cano sobre el papel que tuvo el grupo de Cajal en los malos entendidos entre Río Hortega y Cajal. Estaba compuesto por investigadores vinculados históricamente a la figura de Cajal que ejercía sobre ellos una autoridad sin fisuras. Don Pío siempre quiso trabajar con Cajal pero no fue propiamente un discípulo suyo sino de Achúcarro, con el que Cajal tenía una buena relación. Es sobre todo tras la muerte de Achúcarro y del nombramiento, a instancias del propio Cajal, de Río Hortega para suceder a Achúcarro al frente de su laboratorio cuando comienzan a hacerse explícitos los malos entendidos. Según Pedro Cano, a los ojos de los miembros de la escuela de Cajal, Río Hortega fue siempre una persona ajena a la historia del grupo, lo que probablemente dificultó su integración en el mismo. Don Pío era un miembro nuevo procedente de una escuela distinta que no compartía ciertas reglas internas, que podían ir desde la vinculación emocional con Cajal hasta la tolerancia del grupo hacia las particulares y nada leales maneras de comportarse del conserje^[36]. Un asunto menor aunque no desde la perspectiva de la dinámica del grupo, sobre todo si el nuevo miembro en muy poco tiempo sobrepasa ampliamente la producción científica media del grupo^[37] e incluso pone en cuestión algunas de las tesis del maestro indiscutido. Otros factores difíciles de cuantificar pudieron también intervenir en el enfrentamiento de Río Hortega con el grupo. Tal vez la extrema timidez de don Pío que le hace poco sociable, quizás un posible comportamiento considerado inmoral e inaceptable para la época (tendencias homosexuales) o sus ideas políticas republicanas y de izquierdas. Desde esta perspectiva la ruptura con Cajal no puede ser entendida, dice Cano Díaz, «sino como una ruptura con el grupo de Cajal. Tan es así que nunca significó un cambio en los sentimientos de don Pío hacia Cajal»^[38] (ni de Cajal hacia Río Hortega), de lo que han dejado ambos suficientes manifestaciones escritas como para que no quepa de-

masiadas dudas. Es poco después de la muerte de Achúcarro (1918), en 1920, cuando tiene lugar la expulsión de Río Hortega por Cajal de su laboratorio. En su libro Río Hortega publica la correspondencia que tuvo con Cajal con ese motivo. Y es esta correspondencia el único material al que verdaderamente merece la pena hacer caso, pues todo lo demás son interpretaciones de parte.

En la primera de las cartas Cajal expone a don Pío las quejas que otros colaboradores del laboratorio le han hecho llegar, así como otros asuntos relacionados con cierta disfuncionalidad del laboratorio, lo que lleva a proponerle que la mejor solución es que se traslade a otro laboratorio en la Residencia de Estudiantes. La carta termina con esta frase: «por lo demás puede usted contar siempre con mi protección desinteresada —que en el fondo es puro acto de justicia—, aunque este apoyo me enfríe o me enemiste, según ha ocurrido ya —con viejos amigos y camaradas...». No tarda en contestar don Pío, con otra extensa carta en la que se defiende pormenorizadamente de las acusaciones que según Cajal han hecho sobre él otros miembros del laboratorio. La carta termina con esta frase «créame don Santiago, que más que el propio disgusto, me apena el importunarle y entretenerle con minucias».

Al poco tiempo Río Hortega recibió una segunda de don Santiago en la que aseguraba que Tomas, el celador, le pediría perdón y que si no lo hacía le expulsaría (a Tomás) del laboratorio. Así ocurrió o así debió de ocurrir, pues don Pío se dio por satisfecho y continuó su actividad en el laboratorio de Cajal. Todo parecía ir mejor, incluidas las relaciones personales entre ambos, hasta que pasados unos meses, don Pío inesperadamente (al menos eso sugiere en su libro) recibió una larga carta de Cajal, en la que hace una minuciosa relación de presuntas «especies y juicios acerca de mi persona expuestos por usted siempre a espaldas mías y extremadamente desdeñosos cuando no mortificantes...», (contadas según escribe Cajal en la carta por personas absolutamente veraces...). En el texto Cajal se extiende en detalles de estas presuntas injurias y termina así: «En conclusión: A fin de que nuestros respectivos laboratorios no se conviertan en campo de Agramante perdiéndose el tiempo en dimes y diretes y en rencillas que pueden degenerar en enojosos choques personales, le ruego a usted que no vuelva a poner los pies en mi laboratorio. Podrá usted trabajar en el laboratorio del hospital o en el de Calandre en la Residencia de Estudiantes, mientras yo gestiono de la Junta la ampliación de un local donde pueda usted desahogar impunemente su orgullo o su mal humor...». Muy graves debieron ser las acusaciones o muy harto debería estar Cajal

cuando en la carta se deja de sutilezas e increpa directamente a don Pío, conminándole directamente a que se largue del laboratorio. No tardó en contestarle Río Hortega en otra carta (fecha el 5 de Octubre de 1920), en la que rechaza una por una todas las acusaciones, y se ofrece a un careo (que nunca tuvo lugar) con sus detractores, asumiendo ya su salida inevitable como muestra el que indica a Cajal que ha hablado ya con Negrín para gestionar su traslado al laboratorio de la Residencia de Estudiantes. La carta termina así: «De cualquier manera puede estar seguro de que mis sentimientos hacia usted no han sufrido la más pequeña variación y de que, a pesar de inmenso disgusto mío de estos días, lamento más el suyo propio».

En su libro, Río Hortega no se priva de defenderse, de identificar a los culpables y de atribuir las decisiones de Cajal a su senectud («perturbación psíquica acusada por la pérdida del control riguroso de los hechos»). Todavía, poco después del ultimátum de Cajal y esta vez sí que inesperadamente, Río Hortega recibe otra carta de Cajal fechada el 20 de octubre de 1920 (solo 15 días después de la última de don Pío), en la que muestra su pesar por la situación, insinúa unos comentarios afectuosos a manera de disculpa: «a pesar de la mejor voluntad de los jefes, prodúcese siempre celos, chismorreos, rencillas y bandos enconados, que además de dificultar la labor científica, siembran entre todos gérmenes de discordia y antipatía. Es esta una genuina enfermedad española, absolutamente inevitable», coquetea con su vejez como motivo de la destemplanza de la carta anterior, ratifica su propósito de apoyarle para que continúe como jefe de laboratorio de histopatología fundado por Achúcarro y le asegura que «yo seguiré siempre —inspirado en altos móviles de justicia y patriotismo— citándole en mis libros y folletos y complaciéndome en usar sus métodos (así como mis discípulos) siempre que la naturaleza del asunto lo requiera». Para don Pío no fue suficiente este «esfuerzo de reconciliación» de Cajal y en su libro, aun reiterándose en su admiración a Cajal, no es muy condescendiente con él, sino todo lo contrario, especialmente porque tenía aun otra espina clavada relacionada con el reconocimiento de la prioridad en el descubrimiento por Río Hortega de la oligodendroglía^[39], que Cajal no acaba de hacerlo con suficiente contundencia.

Las consecuencias

Me he detenido en la relación de los hechos tal como cuenta Río Hortega, porque el lector que solo consulta las fuentes virtuales (o las informaciones que le llegan accidentalmente, como a mí me ha ocurrido),

puede sacar la imagen de un Río Hortega víctima y un Cajal envidioso y vengativo que nada se corresponde con la imagen mítica que la hagiografía cajaliana nos ha dejado. Poco conocemos de la versión de Cajal sobre toda esta historia pero el libro de don Pío, aunque inevitablemente subjetivo, está escrito con la suficiente honradez intelectual como para hacerse una idea, una composición de lugar, de lo que pudo ocurrir en aquellos años, entre ellos y en el interior de aquel laboratorio. Después de la lectura de las fuentes citadas a lo largo de este artículo mi impresión es que tanto Cajal como Río Hortega hicieron lo que pudieron y lo que tenían que hacer. Que los dos estuvieron a la altura de unas circunstancias que obligaron, sobre todo a Cajal a tomar unas difíciles decisiones. He dicho sobre todo Cajal porque es Cajal de alguna manera el que más difícil lo tenía. Estaba ya muy mayor y preocupado por la merma de sus capacidades, gozaba de un estatus moral y académico como pocas personas en este país han alcanzado, mantenía una actividad creativa y un empeño de originalidad poco habitual en una persona septuagenaria que ha conseguido objetivos y reconocimientos que a muy pocos les están concedidos, dirigía un gran instituto de investigación en el que no solo había investigadores nacionales sino también internacionales y era, además, el presidente de la JAE desde la que había promovido uno de los movimientos de regeneración científica más importante de la historia de este país. Con todo esto a sus espaldas Cajal se tuvo que enfrentar a un asunto doméstico que resolvió de una manera que, al menos a mí, no me parece descabellada. A Cajal se le debió de plantear un típico dilema de cualquier líder de un grupo de investigación en donde los conflictos interpersonales no son excepcionales. Es cierto que expulsó a don Pío de su laboratorio pero no lo dejó en la calle sino que le apoyó para su traslado a un nuevo laboratorio en la Residencia de Estudiantes en las que el mismo Río Hortega reconoce que estaba mejor que en el de Cajal y en el que consiguió sus mejores logros científicos. Es cierto que Río Hortega tuvo que pagar un precio muy alto a nivel personal. El mismo Cajal debió apreciarlo así cuando, tanto en la carta de reconciliación como en posteriores momentos, le mostró su aprecio como científico, aprecio que de una manera un poco infantil a don Pío nunca le pareció suficiente. Por otro lado don Pío demostró ser una persona capaz de superarse en las adversidades y tuvo la coherencia intelectual, a pesar de su resquemor con Cajal, de reconocerle en todo momento como su maestro. Pero si alguien se benefició de aquel conflicto fue don Pío. Al fin y al cabo la grandeza de una persona se mide por la de sus enemigos. Y desde este punto de vista, la escuela

cajaliana no los hubiera encontrado mejores. Más allá de la humillación doméstica ante el conserje y ante alguno de sus enemigos, su prestigio permaneció incólume gracias sin duda a sus propios méritos pero también por el apoyo explícito del propio Cajal allí donde Río Hortega acudió. Ya, fuera del laboratorio de Cajal, entre los años 1920 y 1928, desarrolló lo mejor de su labor científica en el laboratorio de Histología Normal y Patológica de la Residencia de Estudiantes y creó una verdadera escuela con jóvenes que acudían a trabajar con él, cosa que le hubiese sido mucho más difícil si no imposible en el laboratorio de Cajal. En cierto modo y desde la frialdad que dan los hechos así que han pasado cien años, Cajal hizo un favor a don Pío expulsándolo de su laboratorio. El mismo lo reconoce implícitamente en su libro, cuando se ufana de haber creado un laboratorio en el que, al contrario del «de la familia de enfrente» (el laboratorio de Cajal), «imperan la armonía, la ayuda y el respeto mutuo». Y por si quedaba alguna duda hablando sobre las noticias sobre las desavenencias en la «familia de enfrente», añade «me producían gran satisfacción. La de haber salido de aquella casa y haber creado fuera de ella una verdadera familia espiritual»^[40].

Tras el conflicto, las muestras de respeto a la labor de Río Hortega, por parte de Cajal son numerosas. En 1925 Río Hortega es enviado en representación de la JAE para ocupar la cátedra de cultura española en la Universidad de Buenos Aires. El Dr. Avelino Barrios representante de la «Institución Cultural Española» (patrocinadora de la cátedra) recuerda como el propio Cajal presentó a don Pío con estas palabras: «Para mí personalmente constituye una honda emoción ver que un discípulo de mi laboratorio puede salir a mostrar sus descubrimientos personales en aquel campo de la ciencia al que he consagrado toda mi vida».

En 1928, don Pío da por terminadas sus investigaciones en torno a la oligodendroglía, su gran aportación a la ciencia, con una publicación sobre la cuestión. Cajal recibió una monografía del trabajo dedicada por Don Pío, respondiéndole con una carta en la que le felicitaba efusivamente por su trabajo^[41], carta que Río Hortega mostró entusiasmado a sus amigos, tras la que ambos tuvieron un encuentro personal que para Ortiz Picón discípulo de Río Hortega marcaría el momento de la definitiva reconciliación^[42].

Sin embargo aquel conflicto con el grupo de Cajal sobreviviría a la muerte del propio Cajal. Tras la muerte del Nobel en 1934, queda vacante su plaza en la Real Academia de Medicina, presentándose Río Hortega y el Dr. Villaverde. La diferencia curricular entre ambas era abisal, tal como cuenta Rodríguez Lafora, presente en el concurso. Según Lafora la aca-

demia, «compuesta en su mayoría por viejos carca-males. Vestigios de la monarquía. Médicos-políticos sin prestigio médico ni político. Este magma amorfo se unió contra Del Río, inspirado y dirigido por un discípulo de Cajal, ya académico y que estaba en lucha permanente contra él y que había contribuido a su expulsión del Instituto Cajal, en convivencia con el conserje», le dieron la plaza al otro candidato, sin abrir ni siquiera el currículum de don Pío. No fueron las credenciales académicas sino su ideología y compromiso político con las opciones progresistas y republicanas, las que motivaron la decisión, según Lafora^[43]. Una muestra más de que el conflicto entre Cajal y Río Hortega no fue tanto un asunto personal de Cajal sino de su grupo.

Por otro lado los reconocimientos de Río Hortega a Cajal se sucedieron a lo largo de toda su vida ya en el exilio y hasta poco antes de su muerte, de los que ha ido dejando numerosos testimonios^[44,45]. Del discurso pronunciado en el Instituto de Histología de Montevideo, en 1944 con motivo del décimo aniversario de la muerte de Cajal extraemos estas palabras: «Trabajé durante muchos años a la luz de su figura venerable, sentí día a día la emoción de estrechar su mano y de escuchar su voz consejera y amiga... No siempre comprendido por él pasé a su lado y lejos de él por las alternativas del afecto, el desdén y acaso la injusticia y de nuevo, grande y purísimo afecto. Al lado de Cajal me sentí estimulado y deprimido, experimenté alegrías y amarguras, gocé de las más hondas emociones... Me complace, por todo, hablar de él, ahora y siempre»^[46].

Un comentario sobre el «Nobel» de Río Hortega

Como se ha comentado arriba, Río Hortega fue nominado en dos ocasiones al Nobel, en 1929 y en 1937 en plena guerra civil. Sus discípulos nunca comprendieron como Hortega no recibió este galardón. La primera de sus nominaciones la hizo Misael Bañuelos, catedrático de Medicina de la Universidad de Valladolid, y la segunda la propuso Eduardo García del Real, el primer catedrático de Medicina de la Universidad de Madrid. Tras esta segunda candidatura, Hortega escribe una carta en respuesta a García del Real que dice textualmente: «Querido don Eduardo, ¿cree usted que alguna institución va a apoyar su propuesta?, yo sinceramente no, ni la Academia, ni las universidades ni mucho menos el mundo político»^[47]. No se cuales serán las fuentes en las que se basan quienes afirman que no le dieron el Nobel por Cajal. Desde luego que debió haber presiones políticas, como las hubo para rechazar su candidatura a ingreso

en la Real Academia de Medicina. Cuando la primera nominación al Nobel de Río Hortega Cajal tenía 77 años y en la segunda había ya fallecido. Es cierto que Río Hortega tenía una posición política de izquierdas hasta el punto de que en plena II República formó parte del grupo de intelectuales españoles que fundó la Asociación de Amigos de la Unión Soviética^[48], pero es bastante improbable que este fuera un motivo para que no lo apoyara Cajal, cuyas ideas progresistas eran bien conocidas^[49]. Es cierto, por último, que don Santiago y don Pío tenían identidades radicalmente diferentes, enérgica y «viril» el primero y «tímida y frágil», el segundo, pero no hay en la numerosa correspondencia entre Cajal y Río Hortega, así como en los muchos testimonios de amigos y enemigos ninguna alusión a los posibles prejuicios de Cajal sobre la homosexualidad de Río Hortega. De hecho en el reciente libro sobre don Pío titulado explícitamente «Un científico en el armario...», se recupera a la figura de Río Hortega como un referente para la comunidad LGTBIQA+. En él, la autora reconoce que, de alguna manera, vivió su relación con su pareja Nicolás Gómez del Moral de manera estable, incluso ejemplarmente, y sin que aparentemente influyera nada en su vida académica y, desde luego en sus relaciones con Cajal o en su promoción al Premio Nobel^[50]. Por otro lado tampoco le dieron a Lorente de No el premio Nobel a pesar de haber sido nominado, cuya relación con Cajal fue extraordinaria^[51].

A manera de conclusiones

Río Hortega fue un gran científico, Cajal, además fue un sabio. Un hombre que se interesó por muchas cosas a lo largo de su vida. Hizo fotografía, literatura, ensayo, dibujo, deporte, y practicó el hipnotismo y la conversación. Fue, además, un hombre de «acción», con un elevado compromiso ciudadano o patriótico, invirtiendo la autoridad y el prestigio mundial ganado por su labor científica en trabajar por la reconstrucción civil de nuestro país, tanto mediante el ensayo en donde contribuyó a la «europeización de España» de la que fue quizás su principal valedor junto con Ortega y Gasset^[52,53], como con la creación y dirección de la JAE, de la que ya hemos hablado arriba.

Como hemos comentado al principio, nos ha movido a escribir estas líneas la inesperada lectura de un texto en formato virtual en el que un prestigioso académico de nuestro país, en una amplia entrevista, utiliza como ejemplo del cainismo nacional el comportamiento de Cajal con Río Hortega. Es un ejemplo de maledicencia desinformada, pues aparte de confundir al maestro con el discípulo, utiliza con ligereza, informaciones de terceros o, probablemente,

de las redes sociales en las que en los últimos tiempos han menudeado versiones frívolas sobre este conflicto, más al servicio de un buen titular que de la verdad histórica. Aunque de generaciones diferentes, Cajal y Río Hortega, contribuyeron a lo que algunos han llamado la Edad de Plata de la Ciencia Española^[54], ese momento que va desde comienzo del siglo hasta la guerra civil en donde en España comenzaron a ponerse las primera piedras de lo que debió de ser el resurgimiento y europeización definitiva de la ciencia española, periodo histórico que no se concibe sin Cajal y sin científicos como Río Hortega. Una oportunidad desgraciadamente frustrada por la guerra civil y la larga dictadura. En este contexto las relaciones personales entre Cajal y Río Hortega son un asunto menor. Una historia doméstica en la que dos hombres excepcionales, ensimismados en la búsqueda del conocimiento y en la regeneración de la ciencia en España, se vieron envueltos en un duelo de pasiones domésticas en las que se mezclaba lo épico, con lo pícaro, la generosidad con la maldad, la inteligencia con la estulticia. Un conflicto real que mirado desde la lectura de la bibliografía existente sobre el tema y desde la atalaya de hoy, no dejó víctimas en el camino, si acaso algún quebradero de cabeza para el viejo Cajal y el orgullo herido del joven Río Hortega, aunque por poco tiempo pues la salida del laboratorio de Cajal y su posterior instalación en la Residencia de Estudiantes, no solo no mermaron su productividad ni su prestigio sino que fue allí donde consiguió sus más logradas metas. Una interpretación que es posible que defraude a quienes disfrutaban hurgando en las miserias de la historia.

Cajal en contra de su voluntad fue «divinizado en vida»^[55]. La dictadura franquista recuperó de él su patriotismo, tergiversándolo, al tiempo que fue implacable con sus discípulos vivos y con su obra representada por la JAE a la que disolvió, refundándola como CSIC (Consejo superior de Investigaciones Científicas), reescribiendo la historia de la ciencia española, como se puede leer con cierto sobrecogimiento en «Descargo de conciencia», de Lain Entralgo.

Pero el patriotismo de Cajal nada tenía que ver con aquel que Ibáñez, su primer presidente, exponía en su discurso fundacional del CSIC. Cajal murió antes de tener que asistir a todo este espectáculo. Pero su enorme labor de regeneración científica y cultural fue ocultada, como fueron ignorados la mayor parte de los científicos de la escuela de Cajal, algunos de ellos en el exilio. Esta condescendencia de la dictadura con la figura de Cajal debió de ser la causa de que ya recuperada la democracia los gestores del pasado se vieran «obligados a poner a Cajal en su sitio». No otro ha sido el empeño por recuperar

su figura humana, ¡demasiado humana! para algunos, con trivialidades perfectamente irrelevantes para comprender su obra y su trabajo regeneracionista o, ya más recientemente, las relaciones con Río Hortega colocando a Cajal en la posición de persona despechada por los progresos de un discípulo aventajado que tuvo la osadía de poner en cuestión sus hipótesis, creándose una situación de rivalidad que llevó a Cajal a expulsarlo de su laboratorio, abusando de su superioridad jerárquica y moral y también de la orientación sexual de Río Hortega.

Por alguna extraña razón la transición democrática «se ha visto en la obligación» de desmitificar a Cajal. Solo así se explican los comentarios que mueven este trabajo o la frase perfectamente innecesaria en el contexto del reciente libro sobre don Pío del Río Hortega, libro por otro lado ameno e informativo^[56]: «Pío del Río Hortega nunca logró el reconocimiento social de Santiago Ramón y Cajal, don Santiago el joven cachas y presumido, luego viejo conversador de las tabernas y cafés: don Santiago el orgullo patrio. No hubo estatuas, ni apretones de manos espontáneos en la calle para don Pío. Tampoco tengo claro que los quisiera. Para él quedaron el aplauso siempre discreto de la comunidad científica internacional, la admiración de sus discípulos y dos candidaturas al Premio Nobel».

El revisionismo postmoderno puede ser cruel. Cajal es culpable por el mero hecho de haber sido excepcional y humano al mismo tiempo. Por ser en fin Cajal.

Un comentario final. La escritura de este artículo ha sido motivada por los comentarios sobre Cajal y Río Hortega, de un personaje importante de la cultura española. Similares errores hubieran sido inconcebibles si en la entrevista, en lugar de hablar de dos científicos se hubiera referido a Picasso y a Ortega, por citar dos ejemplos de referencias españolas del mundo de las humanidades y del arte, de lo que, en fin, con bastante reduccionismo se suele llamar la «alta cultura». Es una muestra de cómo el mundo de la cultura en España ha vivido de espaldas a la ciencia de la que desconoce incluso a sus más notables representantes. Hoy sabemos que la ciencia es cultura, es parte de la cultura y que una sociedad moderna no será culta sino tiene una cultura científica. Este acercamiento entre las ciencias y las humanidades es lo que algunos científicos como Wilson han llamado «la tercera ilustración»^[57], un proyecto indispensable para hacer frente a un futuro de cuya complejidad estamos viviendo estos días una muestra con la pandemia COVID-19. Este artículo tienen, pues, también, como objetivo el llamar la atención sobre la escasa cultura científica de nuestro

país, de la que la entrevista en Jot Down citada es solo un desafortunado ejemplo.

Agradecimiento

Al Dr. Eduardo Garrido Marín por la lectura crítica del manuscrito.

Referencias

- [1] Alberto Campo Baeza: «La luz es el material más lujoso que hay, pero como es gratis, no lo valoramos»
- [2] Federico J.C-Soriguer Escofet. Si don Santiago levantara la cabeza. La lógica científica contada en 100 historias nada científicas. Editorial Incipit, Madrid, 2016.
- [3] Pío del Río Hortega. El maestro y yo. Ariel.2015.
- [4] Garrido Marín, Eduardo (2014). «Naturaleza, montaña, deporte y aventura en la vida de Santiago Ramón y Cajal». *Cultura, Ciencia y Deporte* 9 (25): 69-80.
- [5] Ferrer Benimeli, José Antonio. La Masonería en Aragón. Librería General, 1985
- [6] Ramón y Cajal, Santiago. Recuerdos de mi vida. Historia de mi labor científica. Alianza Editorial, 2008.
- [7] Laín Entralgo, Pedro (1952). Cajal y el problema del saber. Ateneo de Madrid (conferencia pronunciada el 30-10-1951).
- [8] Ramón y Cajal, 1852-1934: Expediente administrativo y otros documentos, Ministerio de Educación, colección «Expedientes administrativos de grandes españoles», nº 2, Madrid, 1978, págs. 335 y ss.
- [9] Baratas Díaz, Luis Alfredo (1997). La obra neuroembriológica de Santiago Ramón y Cajal. *Dynamis: Acta Hispanica ad Medicinam Scientiarumque. Historiam Illustrandam* (Universidad de Granada) 17: 259-279. ISSN 0211-9536.
- [10] Garrido Marín, Eduardo, 2014 (Op.cit)
- [11] Santiago Ramón Cajal, Las sensaciones de las hormigas. Real Sociedad Española de Historia Natural, tomo del 50º aniv. (págs. 555 a 572), 15 marzo 1921. Madrid.
- [12] Santiago Ramón y Cajal. Fotografía de los colores. Bases científicas y reglas prácticas. 1912. Las Tres Sorores. Prames Editorial. Reedición Gobierno de Aragón 2007
- [13] Cajal fotógrafo. <https://jralonso.es/2014/08/02/cajal-fotografo/>
- [14] Santiago Ramón y Cajal. Los tónicos de la voluntad: Reglas y consejos sobre investigación científica (1ª edición, 1987). Gadir, 2016.
- [15] Felipe Cid, Felix Cruz Teresa Pous-Mas. Sobre la problemática científica del cólera: Una carta inédita de Santiago Ramón y Cajal a Jaime Ferrán. <https://ddd.uab.cat/pub/dynamis/02119536v2/02119536v2p373.pdf>
- [16] Ramón y Cajal, S. Dolores del parto considerablemente atenuados por la sugestión hipnótica. *Gaceta Médica Catalana*. 1889; Vol 12: 484-6 <http://www.ucm.es/BUCM/med/doc12538.pdf>
- [17] *En*: Pedro Laín Entralgo. Escritos sobre Cajal. Ediciones Triacastella. Madrid, 2008. La correspondencia completa de D. Santiago Ramón y Cajal se puede ver en: Juan Antonio Fernández Santarén. Santiago Ramón y Cajal. Epistolario. La esfera de los libros, 2014.

- [18] Ramón Muñoz Chápuli. Santiago Ramón y Cajal y la literatura de ficción científica. Encuentros en la Biología, Vol. 12, Nº. 168 (Verano), 2019, págs. 11-15.
- [19] https://es.wikipedia.org/wiki/Consejo_Superior_de_Investigaciones_Científicas#cite_note-Elías_2000-11
- [20] Afortunadamente con el paso de los años el CSIC fue evolucionando hacia otra cosa, y hoy es el mayor centro de investigación nacional, habiendo llegado a ser la novena agencia científica del mundo.
- [21] José Ramón Alonso, en su blog cuenta la siguiente anécdota: *Habiendo ríos tan conocidos aquí como el Pisuerga, el Esgueva o el Duero, ¿por qué le habrán puesto a este hospital el nombre de un río que nadie conoce?* ... dice que le oyó en una ocasión a un visitante del hospital. (<https://jralonso.es/2014/04/12/don-pio-la-glia-y-la-guerra/>)
- [22] Elena Lázaro Real. Un científico en el armario. Pío del Río Hortegea y la historia de la ciencia española. Next Door Publishers, 2010.
- [23] Juan del Río-Hortega Bereciartu. Pío del Río-Hortega: The Revolution of Glia. *The Anatomical Record* 303:1232-1241 (2020).
- [24] La JAE se creó en 1907, al año siguiente de la concesión del Nobel a Cajal, siendo Ministro José Castillejos. La JAE estuvo vinculada a la Institución Libre de Enseñanza. Más atenta ésta a la reforma de la enseñanza primaria y secundaria y la dinamización de la educación superior y la investigación. Presidida por Cajal desde el comienzo hasta su muerte, su principal objetivo fue el pensionar estancias de jóvenes investigadores en centros extranjeros y reintegrarlos después a los institutos de investigación que se estaban creando en España contribuyendo al fortalecimiento de la ciencia española. Fue el momento en el que junto a la Institución Libre de Enseñanza, vivero de cultura y de ciencia, se implantaron en España, una red de laboratorios y otros espacios, que comprendían desde la historia y la filología hasta la física, la química y la biología, dando lugar a lo que se ha llamado la Edad de Plata de la ciencia española. La JAE fue en sus primeros años un semillero de proyectos para construir una base institucional de rango internacional, fundada sobre la necesidad de europeizar España (José Manuel Sánchez Ron y Antonio Lafuente, 2007) . En 1939 fue desmantelada y a partir de su estructura se creó CSIC.
- [25] José Manuel Sánchez Ron y Antonio Lafuente (ed.). El laboratorio en España. La junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Madrid: CSIC-Residencia de Estudiantes, 2007.
- [26] Achúcarro nunca pudo conseguir un verdadero contrato para Río Hortegea quien tras su muerte se enteró que Achúcarro le había estado pasando la mitad de su propio salario sin decirselo (Río Hortegea, 2015, Op.cit).
- [27] Fernando de Castro (1981) Pío del Río-Hortega. Su obra científica. En «Cajal y la Escuela Neurológica Española» (1981), Ed. de la Univ. Complutense. Madrid (España).
- [28] Sierra A, de Castro F, del Río-Hortega J, Iglesias-Rozas JR, Garrosa M, y Kettenmann H (2016) The “Big-Bang” for Modern Glial Biology: Translation and Comments on Pío del Río-Hortega 1919 Series of Papers on Microglia. *GLIA* 64: 1801-1840. DOI: 10.1002/glia.23046
- [29] Pedro Cano Díaz. Una contribución a la ciencia histológica: la obra de don Pío del Río-Hortega . Madrid: Instituto «Arnau de Vilanova; », 1985.
- [30] Juan del Río-HortegaBereciartu, 2020 (Op.cit).
- [31] Pío del Río Hortegea. 2015 (Op.cit).
- [32] Pío del Río Hortegea, neurocientífico, republicano y gay (1882-1945); Ramón y Cajal, el joven cachas, pendenciero y carcelario que ganó un Nobel
- [33] Eduardo Garrido (comunicación personal).
- [34] Representados por un infame Tomas el conserje, alcahuate, servil con su amo y miserable con otros, con un poder de influencia incomprensible en la vida de personas como Cajal y el propio Río Hortegea a los que se les supone unas capacidades muy superiores.
- [35] Eduardo Garrido (comunicación personal).
- [36] Rodríguez Lafora, G.: Disgustos, peripecias y grandes desengaños de que fue víctima el Doctor del Río-Hortega., *Revista Española de Oncología*, XII, 46, 1965. (cit. Por Pedro Cano Díaz. (Op.cit).
- [37] A lo largo de cinco años, 13 autores publicaron 30 trabajos de los cuales 10 (es decir la tercera parte fueron de Río Hortegea). (Pedro Cano Díaz. Op. cit).
- [38] Pedro Cano Díaz, 1985 (Op.cit).
- [39] En ese momento se consideraba que el tejido nervioso estaba compuesto por tres elementos. 1. Primer elemento: las células nerviosas o neuronas, descubiertas por Cajal. 2. Segundo elemento: dos variedades de células intersticiales o neuroglía: los llamados astrocitos protoplasmáticos y fibrosos y 3. Lo que Cajal llamó el «tercer elemento», «elemento apolar» o «células sin procesos», que fue cuestionado por Río Hortegea.
- [40] Pío del Río Hortegea. 2015. (Op.cit). P.180.
- [41] *Amigo del Río: He visto su nuevo trabajo de la oligodendroglía y me he convencido, no solo de la realidad de este tipo de glía sino también de las muchas disposiciones morfológicas que adopta; ... Siempre me pareció que en los centros nerviosos debe haber algo que contenga la mielina; ... usted ha hecho un gran trabajo al imaginar técnicas que revelan claramente los corpúsculos antes mencionados ... Ya sabe que le valoro y que le admiro. Su viejo amigo compañero, S. Ramón y Cajal.* (Río-Hortega, 1986). Poco antes de morir con motivo de un homenaje a Río Hortegea Cajal escribe esta nota: *Al Presidente de la Comisión de la Homenaje al Dr. Río-Hortega. Apoyo de todo corazón el merecido homenaje de respetuosa veneración que amigos y admiradores rinden hoy al extraordinario histopatólogo e investigador infatigable Pío del Río-Hortega. Santiago Ramón y Cajal. Hoy 12 de marzo de 1934* (traducidas de: Juan del Río-Hortega Bereciartu. (2020) (ver bibliografía).
- [42] Ortiz Picón JM. La obra histoneurológica del Doctor Pío del Río-Hortega (1882-19 · 1,5). Discurso de ingreso en la Academia de Medicina de Granada. 25 de enero de 1970, pág. 9. (citado por Pedro Castro Díaz, 1985) (Op.cit).
- [43] Rodríguez Lafora, G (1965) (Op.cit).
- [44] Alberto Sánchez Alvarez-Insúa. Santiago Ramón y Cajal y Pío del Río Hortegea. *Arbor* CLXI, 634 (Octubre 1998), 151-176.
- [45]
- [46] Don Santiago Ramón y Cajal (conferencia pronunciada por el Dr. Pío del Río Hortegea en el Instituto de Histología de Montevideo, 1994). (en: Alberto Sánchez Alvarez-Insúa.1998 (Op.cit).
- [47] Entrevista a Juan del Río Hortegea, sobrino de don Pío. nieto https://www.elnortedecastilla.es/prensa/20070507/valladolid/discipulos-entendieron-hortega-recibio_20070507.html
- [48] Pío del Río Hortegea, neurocientífico, republicano y gay (1882-1945).
- [49] El blog de Ramón Alonso. Cajal, político. <https://jralonso.es/2014/07/21/cajal-politico/>

-
- [50] Elena Lázaro Real (2020) (Op.cit).
- [51] Eduardo Garrido (comunicación personal).
- [52] Especialmente en la tercera edición de las *Reglas y Consejos de la Investigación Científica* (1913).
- [53] Juan Pimentel. Una lección de anatomía. En: *Fantasmas de la ciencia española*. Marcial Pons, Ediciones de Historia, 2014.
- [54] José Carlos Mainer. *La Edad de Plata (1902-1939)*. Ensayo de interpretación de un proceso cultural. Madrid. Cátedra, 2009.
- [55] De hecho Cajal no acudió a la inauguración de su estatua en El Retiro. «Cajal le dio un soberano plantón a Alfonso XIII el día 24 de Abril de 1926, enviando a Tello en su lugar que leyó un discurso en el que (Cajal) daba un tirón de orejas a sus compatriotas por exagerados, una colleja a Primo de Rivera y un espaldarazo a todos aquellos compañeros que se habían movilizado contra el dictador...» (cit. Or Elena Lázaro Real, 2020) (Op.cit).
- [56] Elena Lázaro Real, 2010 (Op.cit) p.18.
- [57] E.O.Wilson. *Los orígenes de la creatividad humana*. Ed. Crítica, 2018.
-
-

LÍQUENES Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACIÓN DEL SISTEMA SOLAR por M.R. LÓPEZ-RAMÍREZ¹, J. MARTÍNEZ-FRÍAS², R. DE LA TORRE NOETZEL³

¹UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, DPTO. QUÍMICA-FÍSICA, MÁLAGA. ²IGEO-CSIC, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID, MADRID. ³INTA, INSTITUTO NACIONAL DE TÉCNICA AEROSPAZIAL, MADRID
MRLOPEZ@UMA.ES;TORREN@INTA.ES;J.M.FRIAS@IGEO.UCM-CSIC.ES

Resumen: La búsqueda de la vida fuera de nuestro planeta es uno de los objetivos que se propone la astrobiología. Para ello se han llevado a cabo multitud de misiones espaciales de carácter internacional estando muchas de ellas centradas en el planeta Marte. Aunque a partir de los resultados de estas misiones se han resuelto muchos enigmas, también se desarrollan investigaciones en el campo de la astrobiología en laboratorios ubicados en la Tierra y en zonas terrestres que han sido reconocidas como análogos planetarios, caracterizadas por unas condiciones de habitabilidad extrema. Para el estudio de la evolución de la vida en estas condiciones, los líquenes han demostrado ser unos organismos especialmente idóneos para conocer los límites de la vida en el espacio y sobre otros planetas. Las conclusiones de los experimentos con estos organismos demuestran que son capaces de sobrevivir en el espacio.

Abstract: *The exploration for life outside our planet is one of the main objectives proposed by astrobiology. Many international space missions have been launched and the most important have been focused on the planet Mars. Although many enigmas have been solved from the results of these missions, a large part of the research carried out in the field of astrobiology is developed at laboratories placed on Earth and through terrestrial areas that have been recognized as planetary analogues characterized by extreme habitability conditions. For the study of the evolution of life under these conditions, lichens have proven to be model organisms to know the limits of life in space and other planets. The main conclusion of the experiments on these organisms shows that they are able to survive in space.*

Introducción: Retos en astrobiología

Los fundamentos de la astrobiología se basan en la búsqueda de ambientes habitables, dentro o fuera de nuestro Sistema Solar. Del mismo modo, busca evidencias y rastros que demuestren la existencia en el presente o en tiempos pasados de química prebiótica en otros cuerpos planetarios, habiéndose centrado hasta ahora fundamentalmente en Marte. El origen de esa disciplina científica se produjo en 1998, junto con la creación del NASA Astrobiology Institute (NAI) en los EEUU y se puede decir que es una evolución de las ramas de exobiología y de bioastronomía como apoyo a los programas de exploración espacial.

Algunas de las preguntas que los científicos intentan responder son: ¿cómo surgió la vida en la Tierra?, ¿existe o ha existido alguna forma de vida en el universo distinta a la conocida? Si es así, ¿cómo podríamos detectarla? o ¿cuál es el futuro de la vida en la Tierra y en el universo? Todas estas cuestiones, nada fáciles de resolver, necesitan las herramientas y el conocimiento que pueden aportar diversas áreas, es decir, es imprescindible una aproximación multidisciplinar, integrando los conocimientos y métodos de áreas dentro de la biología, geología, física (inclu-

yendo a la astronomía y a la astrofísica), química, matemáticas e ingenierías a distintos niveles y desde distintas perspectivas.

Las investigaciones no siempre se basan en la búsqueda de señales o huellas fuera de nuestro planeta, sino que en laboratorios también se están llevando a cabo multitud de investigaciones sobre el origen y evolución de la vida en la Tierra y se analiza el potencial de las distintas formas de vida presentes en la Tierra para adaptarse a condiciones extremas. En relación con este tema, se ha estudiado con mucho interés una gran variedad de organismos extremófilos y extremotolerantes, con el objetivo principal de extrapolar su capacidad para sobrevivir en ambientes extremos con una posible adaptación para poder sobrevivir, o incluso desarrollarse, en otras zonas del universo con condiciones ambientales distintas a las existentes en la Tierra. En astrobiología se barajan distintas hipótesis sobre el origen de la vida en un planeta siendo una de las más relevantes la hipótesis de la panespermia propuesta por primera vez en 1865 por H. E. Richter^[1], desarrollada unos años más tarde por S. Arrhenius^[2] y actualizada recientemente por Fajardo-Cavazos^[3] hacia la actual hipótesis de la litopanespermia. Esta hipótesis propone la posibilidad de que distintas formas de vi-

da (microorganismos, estructuras reproductivas, etc.) presentes en las eyecciones de impacto producidas por un meteorito, pudieran desarrollarse en otra zona del universo donde las condiciones fueran favorables. Es una hipótesis que ha suscitado numerosas críticas a lo largo del tiempo transcurrido desde su proposición, con argumentos como que no puede ser demostrada experimentalmente, que ningún organismo vivo podría sobrevivir a las duras condiciones del espacio, o que no resuelve la cuestión sobre el origen de la vida, sino que lo traslada a otro lugar del universo fuera de la Tierra.

Durante décadas, las investigaciones sobre organismos extremófilos han permitido descubrir lo que se han denominado «análogos planetarios» para iden-

tificar zonas de similares características que las encontradas en otros planetas o cuerpos celestes como los análogos a Marte en la Tierra, encontrados en la superficie y en la subsuperficie de la Antártida e Islandia, en desiertos fríos y calurosos (Atacama y Omán), y también como los análogos del océano subsuperficial de hielo de la luna de Júpiter, Europa, como pueden ser algunas zonas de la Antártida donde existen glaciares y lagos debajo del hielo superficial o fuentes hidrotermales. En el suroeste de España tenemos también nuestro particular análogo marciano y se encuentra en el Río Tinto, en la faja pirítica Ibérica, siendo una formación geológica originada por actividad hidrotermal.



Figura 1: (a) Plataforma sobre la que se instaló el taladro automático durante la campaña LMAP-2017 en la cuenca del Río Tinto; (b) Fotografía del Río Tinto donde se aprecia la tonalidad rojiza de sus aguas debida a la presencia de minerales ricos en hierro^[4]; (c) Apilamiento de capas en la zona de «Payson» en la región de Meridiani Planum en Marte. Fuente: NASA.

Se ha sugerido que las características geológicas del río y su entorno podrían ser similares a las de la región de Meridiani Planum (la zona de exploración del rover Opportunity) durante el Noeico, que abarca desde la formación de Marte hasta hace unos 3.800 – 3.500 millones de años. Algunas de las investigaciones llevadas a cabo en esta zona arrojan información sobre la existencia de vida en estas condiciones tan extremas, como los estudios realizados por un grupo de investigación del Centro de Astrobiología (CAB) en Río Tinto los cuales detectaron la presencia de comunidades microbianas asociadas en gran medida a variables abióticas, tales como la mineralogía. Las características del suelo en la zona de Río Tinto han revelado ser muy parecidas al suelo marciano abriendo la puerta a la búsqueda e identificación de biomarcadores de distinta naturaleza para su uso como referentes en futuras misiones al planeta rojo^[4].

Así, entre todos los organismos estudiados que se puedan agrupar dentro de los denominados extremófilos se han encontrado desde organismos más sencillos

como protozoos hasta especies eucariotas más complejas. Entre ellos destacan especies de líquenes muy resistentes cuando se han expuesto a condiciones espaciales y, particularmente, a condiciones similares a las de la atmósfera del planeta Marte^[5].

Marte: un planeta para explorar su habitabilidad

Durante siglos los estudios en profundidad de Marte han estado limitados por la gran distancia que lo separa de la Tierra, situándose una vez cada dos años en su aproximación más cercana (oposición), a unos 55 millones de kilómetros de la Tierra y es entonces cuando somos capaces de capturar imágenes de máxima resolución con telescopios terrestres. El desarrollo de la tecnología espacial ha permitido al ser humano recabar detalles del planeta inimaginables siglos atrás llegando a ser uno de los planetas más investigados. Los estudios revelan la existencia de agua

en el pasado^[6,7,8,9] y también se ha encontrado presencia de agua a través del reciente descubrimiento de restos de minerales hidratados hallados en las laderas de los cráteres de Marte^[10] por la sonda orbital Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) de la NASA. Esto ha llevado a suponer la existencia de agua subterránea rica en sales que fluye hacia la superficie por medio de «arroyos», dejando como huella sales hidratadas en las estaciones más cálidas, y desapareciendo en las

más frías, por lo que se cree que Marte podría incluso tener un ciclo geológico. Se abre de esta forma, una nueva perspectiva en el estudio de la habitabilidad de Marte. Aún no es posible saber con certeza si la vida emergió e incluso si pudo evolucionar en el pasado acuoso marciano, cuando las condiciones de habitabilidad eran más favorables y también más diversas atendiendo a su mayor vitalidad geológica.

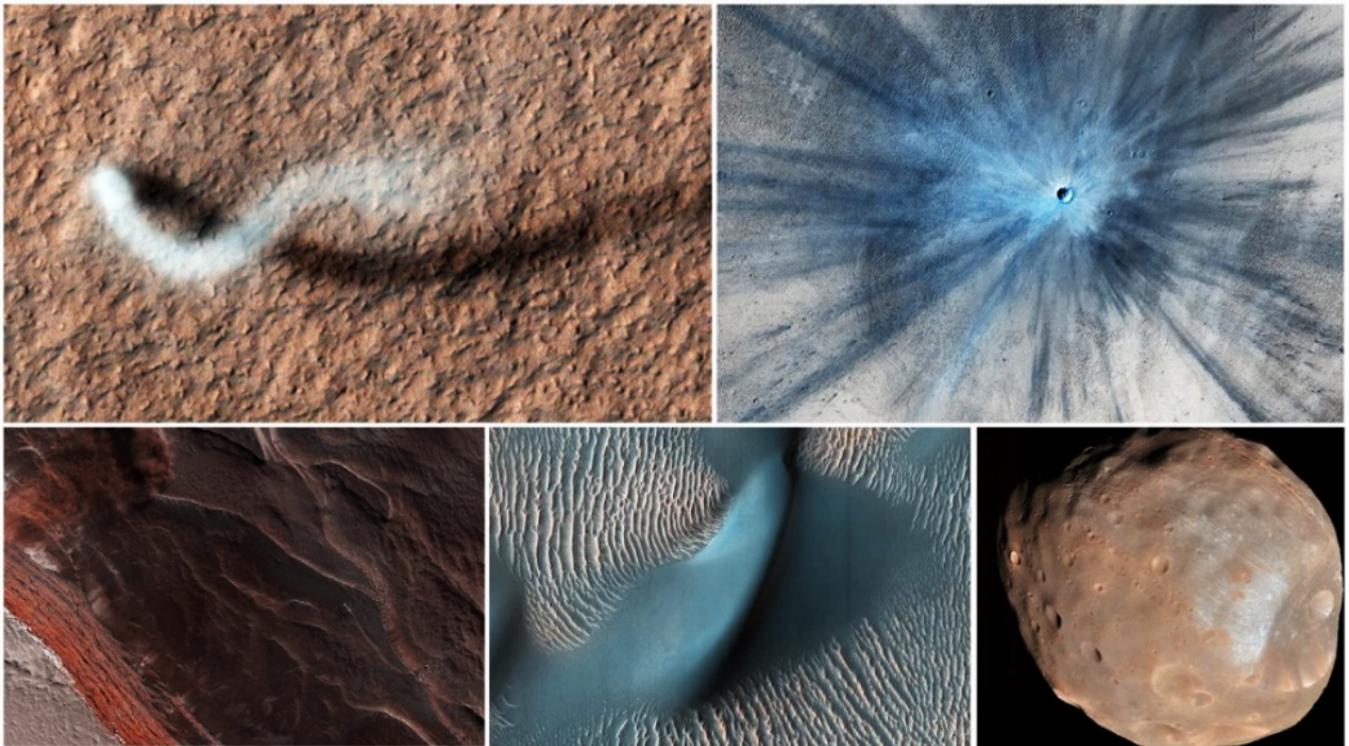


Figura 2: Imágenes tomadas con la cámara HiRISE instalada en la sonda «Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)». Fuente: NASA/JPL-Caltech/University of Arizona.

Tampoco se descarta que la vida microbiana pueda existir en la actualidad en el planeta rojo, aunque sería más improbable que en el pasado y, en caso de existir, se encontraría bajo la superficie ya que los parámetros ambientales sobre ella, es decir, la elevada radiación, la composición y presión atmosférica, así como las temperaturas extremas, hacen que Marte sea un escenario difícil para la existencia de vida y resulte perjudicial para la materia orgánica. La elevada resistencia mostrada por algunas especies como, por ejemplo, los líquenes ha permitido identificarlos como organismos modelo en astrobiología.

Líquenes: extremófilos y referentes planetarios

Los líquenes son organismos en los que un alga o fotobionte y un hongo o micobionte entran en simbio-

sis, nutriendo el alga por medio de los productos de la fotosíntesis, en todo o en parte, al hongo. Se han seleccionado los líquenes para experimentos espaciales debido a su habilidad para colonizar hábitats terrestres en condiciones extremas, como áreas polares o alpinas, favorecida por mecanismos de protección específicos en estas especies.

Muchos de los experimentos realizados con líquenes y también con otros organismos forman parte de misiones espaciales en una órbita terrestre baja (LEO, Low Earth Orbit), bien en satélites o a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS), para estudiar la capacidad de supervivencia a corto y largo plazo de estos organismos de carácter extremófilo o extremotolerantes expuestos al espacio y a condiciones similares a las de Marte como, por ejemplo, las que se describen en la Tabla 1.

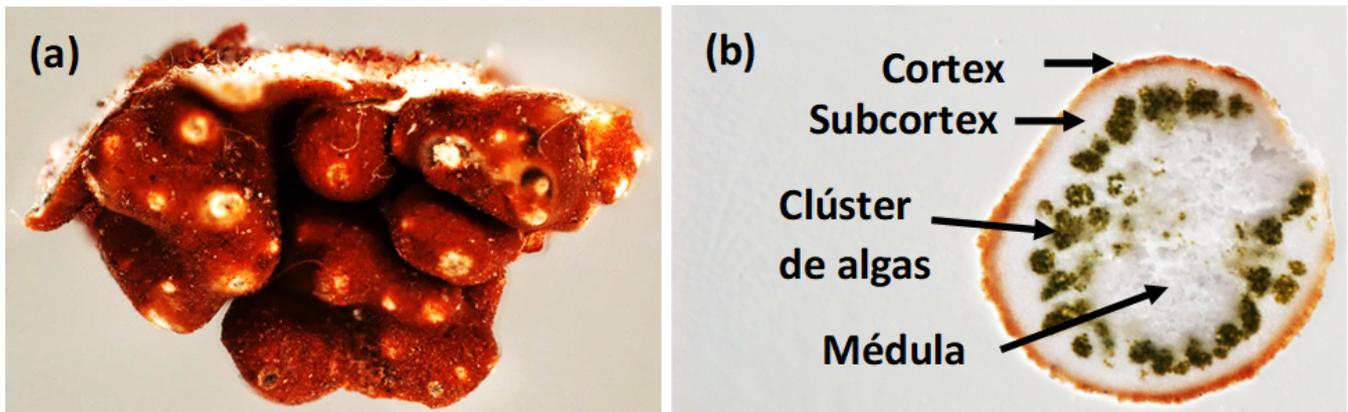


Figura 3: (a) Trozo del líquen *Circinaria gyrosa* usado en exposiciones a diferentes condiciones espaciales y de Marte; (b) Sección transversal del talo del líquen *Circinaria gyrosa* donde se detalla su estructura interna.

Tabla 1: Algunos proyectos que estudian la supervivencia de organismos en condiciones espaciales o planetarias.

Experimento	Muestras estudiadas	Plataforma espacial	Ref.
LICHENS	<i>Rhizocarpon geographicum</i> , <i>Xanthoria elegans</i>	Biopan-5 (FOTON-M2)	[12]
TARDIS	Tardígrados	Biopan-6 (FOTON-M3)	[13]
LITHOPANSPERMIA	<i>Rhizocarpon geographicum</i> , <i>Xanthoria elegans</i> , <i>Circinaria gyrosa</i> , cianobacterias y otros microorganismos	Biopan-6 (FOTON-M3)	[11]
ADAPT	<i>Bacillus subtilis</i> MW01	EXPOSE-E (ISS)	[14]
BIOMEX	Arqueas, bacterias, algas, líquenes, hongos, biomoléculas, biofilms, minerales y substratos	EXPOSE-R2 (ISS)	[15]

En particular, los líquenes poseen una serie de propiedades que les permiten ser unos organismos modelo para estudiar los límites de la vida en el espacio y sobre otros planetas. Diversos experimentos demuestran que los líquenes son los primeros organismos simbiotes que han sido capaces de sobrevivir en el espacio debido a su capacidad de entrar en un estado latente o de inactividad metabólica, característico de organismos que pueden tolerar la desecación extrema (pérdida de hasta un 98 % de su contenido en agua) como también les ocurre a las cianobacterias, musgos y tardígrados («ositos de agua»).

De esta forma los líquenes pasan a formar parte de los organismos más resistentes a la radiación ultravioleta y al vacío espacial. Además, los resultados obtenidos en el proyecto LITHOPANSPERMIA [11] han mostrado que no sólo son capaces de recuperar su actividad metabólica prácticamente al 100 % después del vuelo, sino que también sus esporas son capaces de germinar y de crecer (75-98 %), e incluso el fo-

tobionte o alga puede prosperar sin su compañero simbiótico u hongo protector.

Todos estos estudios sobre extremófilos han demostrado, en definitiva, que las condiciones de viabilidad para encontrar vida extraterrestre son mucho más flexibles de lo que se pensaba y las misiones espaciales se han convertido en una cuestión científica mucho más emocionante. En este sentido, el planeta Marte reserva un buen número de sorpresas fruto de las misiones venideras como la Mars 2020 que se posará sobre su superficie en febrero de 2021 y que cuenta con la colaboración de grupos de investigación españoles.

Referencias

- [1] Richter, H.E. Zur darwinschen Lehre. *Schmidts Jahrbücher Ges. Med.* 126, 243-249 (1865).
- [2] Arrhenius, S. Die Verbreitung des Lebens im Weltenraum. *Umschau* 7, 481-485 (1903).

- [3] Fajardo-Cavazos, P., Link, L., Melosh, H.J., Nicholson, W.L. Bacillus subtilis spores on artificial meteorites survive hyper-velocity atmospheric entry: implications for Lithopanspermia. *Astrobiology* 5 (6), 726-736 (2005).
- [4] Sánchez-García, L., Fernández-Martínez, M., Moreno-Paz, M., Carrizo, D., García-Villadangos, M., Machado, J.M., Stoker, C.R., Glass, B., Parro, V. Simulating Mars Drilling Mission for Searching for Life: Ground-Truthing Lipids and Other Complex Microbial Biomarkers in the Iron-Sulfur Rich Río Tinto Analog. *Astrobiology* 20(9), 1029-1047 (2020).
- [5] Böttger, U., Meessen, J., Martínez-Frias, J., Hübers, H.-W., Rull, F., Sánchez, F. J., de la Torre, R., de Vera, J.P. Raman Spectroscopic Analysis of the Calcium Oxalate Producing Extremotolerant Lichen *Circinaria gyrosa*. *International Journal of Astrobiology* 00, 1-14 (2013).
- [6] Horneck, G. The microbial world and the case for Mars. *Planet and Space Sci.* 25 48 (11), 1053-1063 (2000).
- [7] McKay, C. P. The search for life on Mars. *Orig. Life Evo. Bioph.* 27, 263-289 (1997).
- [8] Mehta, M., Renno, N.O., Marshall, J., Grover, M.R., Sengupta, A., Rusche, N.A., Kok, J.F., Arvidson, R.E., Markiewicz, W.J., Lemmon, M., Smith, P.H. Explosive erosion exposes the subsurface ice on Mars. *Icarus* 211, 172- 194 (2011).
- [9] Nelli, S.M., Renno, N.O., Murphy, J.R., Feldman, W.C. Simulations of Atmospheric Phenomena at the Phoenix Landing Site with the Ames GCM. *Journal of Geophysical Research, Special Issue on Phoenix*, 115, E00E21 (2010).
- [10] Villanueva, G.L., Mumma, M.J. Novak, R.E., Käufel, H.U., Hartogh, P., Encrenaz, T., Tokunaga, A., Khayat, A., Smith, M.D. Strong water isotopic anomalies in the martian atmosphere: Probing current and ancient reservoirs. *Science* 348 (6231), 218-221 (2015).
- [11] De la Torre, R., Sancho, L.G., Horneck, G., de los Rios, A., Wierzbos, J., Olsson-Francis, K., and Ott, S. Survival of lichens and bacteria exposed to outer space conditions results of the Lithopanspermia experiments. *Icarus* 208, 735-748 (2010).
- [12] Sancho, L.G., de la Torre, R., Horneck, G., Ascaso, C., de los Rios, A., Pintado, A., and Schuster, M. Lichens survive in space: results from the 2005 LICHENS experiment. *Astrobiology* 7, 443-454 (2007).
- [13] Jönsson, I.K., Rabbow, E., O.Schill, R., Harms-Ringdahl, M. and Rettberg, P. Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit. *Curr Biol* 18, R729-R731 (2008).
- [14] Wassmann, M., Moeller, R., Rabbow, E., Panitz, C., Horneck, G., Reitz, G., Douki, T., Cadet, J., Stan-Lotter, H., Cockell, C.S., and Rettberg, P. Survival of spores of the UV-resistant *Bacillus subtilis* strain MW01 after exposure to low-Earth orbit and simulated martian conditions: data from the space experiment ADAPT on EXPOSE-E. *Astrobiology* 12, 498-507 (2012).
- [15] De Vera, J.P. and the BIOMEX-Team, Supporting Mars exploration: BIOMEX in Low Earth Orbit and further astrobiological studies on the Moon using Raman and PanCam technology. *Planetary and Space Science*, 74 (1), 103-110 (2012).

REPROGRAMACIÓN METABÓLICA EN CÁNCER

por ISABEL VIDAL VALENZUELA

GRADUADA EN BIOQUÍMICA POR LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA Y DE SEVILLA

ISABEL25.VIDAL@GMAIL.COM

Introducción

A finales de la década de 1920, Otto Warburg determinó que las células cancerosas metabolizaban la glucosa de una forma diferente al resto de las células normales del organismo. De hecho, muchas de las células cancerosas emplean la glucólisis anaeróbica, seguida de la fermentación láctica, para obtener energía aún en presencia de oxígeno. Esto podría parecer una incongruencia, ya que las células tumorales requieren altos niveles de energía para poder mantener sus elevadas tasas de proliferación, y por tanto, deberían emplear la vía oxidativa por la que obtendrían más energía en lugar de la glucólisis anaeróbica. Sin embargo, tras una revisión del grupo de Vander Heiden (Sullivan et al., 2015), se determinó que este efecto Warburg no debería observarse únicamente desde el punto de vista energético, sino que también se debería tener en cuenta la demanda biosintética de estas células. La glucólisis y varias rutas biosintéticas se encuentran alteradas en muchos tipos de cáncer respecto al tejido normal, como por ejemplo las rutas de biosíntesis de purinas y pirimidinas. De esta forma, se ha podido conectar el efecto Warburg con el metabolismo de lípidos, nucleótidos y proteínas.

La reprogramación metabólica podría ser el resultado de mutaciones en genes metabólicos o bien de mutaciones oncogénicas en rutas de señalización. En este último caso, el resultado sería la expresión alterada de genes implicados en el metabolismo o modificaciones diferenciales postraduccionales de las enzimas metabólicas, que llevarían a una actividad y/o localización subcelular diferentes. En este caso, estaríamos hablando de factores intrínsecos que contribuirían a la heterogeneidad metabólica intra e intertumoral. No obstante, también existen factores extrínsecos que podrían favorecer dicha heterogeneidad como las células del sistema inmunitario, fibroblastos asociados al cáncer (CAF) y el estroma, gradientes de oxígeno y nutrientes... Por tanto, la reprogramación metabólica también podría deberse a un desequilibrio metabólico en la homeostasis del tejido sano, como en el caso de tejidos hipóxicos o inflamados, o condiciones de la enfermedad metabólica

como la obesidad y la diabetes. Cada uno de estos casos es explicado con mayor detalle a continuación.

En las células normales, diferentes vías de señalización, como las rutas de WNT, TP53, RAS y PI3K controlan el ciclo celular, el crecimiento, la supervivencia y el destino celular en función de la disponibilidad de nutrientes y oxígeno. La mayoría de estas cascadas transmiten señales al núcleo con el fin de regular la expresión de genes que codifican enzimas metabólicas, o para regular la actividad de las propias enzimas a través de modificaciones postraduccionales. En las células cancerosas, la desregulación de los componentes de estas vías de señalización conduce a una proliferación descontrolada y un desequilibrio en el estado redox.

No obstante, deberíamos preguntarnos si la reprogramación metabólica es causa o consecuencia del proceso de transformación. A continuación, nos centraremos en el metabolismo como iniciador del cáncer a través de alteraciones genéticas y no genéticas:

Mutaciones en las vías metabólicas como motor de tumorigénesis

Recientemente se han identificado mutaciones genéticas en enzimas mitocondriales claves del ciclo de Krebs, como la succinato deshidrogenasa (SDH), fumarato deshidrogenasa (FH) e isocitrato deshidrogenasa (IDH1/2), como iniciadores del cáncer. Los metabolitos que se acumulan como resultado de estas mutaciones: succinato, fumarato y D-2-hidroxiglutarato (D-2HG) respectivamente, funcionan como oncometabolitos. Estos tres oncometabolitos actúan como inhibidores de dioxigenasas, afectando la expresión de genes implicados en la diferenciación celular; de esta forma, inducen la transformación.

Cambios no genéticos en el metabolismo que conducen a la tumorigénesis

Aunque la contribución de los factores genéticos en el cáncer es clara, aún se está evaluando la contribución de las alteraciones metabólicas no genéticas. Varios estudios han destacado una reprogramación metabólica en el microentorno del tumor causada por

hipoxia, disponibilidad de nutrientes e inflamación. Aunque estos factores desempeñan funciones reguladoras en el cáncer, al modificar el microentorno tumoral para favorecer el crecimiento tumoral, existe evidencia de que también podrían actuar como iniciadores tumorales en algunos casos.

Enfermedades por desregulación metabólica:

Enfermedades como la diabetes y la obesidad serían un ejemplo de cómo la desregulación metabólica puede ser compleja y desencadenar múltiples cambios simultáneos en los microambientes tisulares, como el estrés oxidativo y la inflamación, y cambios en la señalización celular, incluida la activación de las vías de señalización PI3K o AMPK.

La obesidad se ha ligado con altos niveles de leptina en la circulación, pero niveles bajos de adiponectina. La leptina tiene efectos metabólicos en todo el organismo, incluyendo la activación de la ruta PI3K-AKT-mTOR y aumentando la proliferación celular. Por otra parte, la ausencia de adiponectina lleva a una reducción en la activación del sensor de nutrientes AMPK, lo que llevaría a una proliferación descontrolada.

Enfermedades por desregulación metabólica:

Muchos cánceres gastrointestinales podrían ser un producto de inflamación crónica como el cáncer colorrectal, carcinoma hepatocelular, adenocarcinoma ductal pancreático, cáncer de vesícula biliar, etc. En todos estos casos, las infecciones, heridas o exposiciones tóxicas ambientales dan como resultado perturbaciones metabólicas que preceden a la inestabilidad genómica y la acumulación de mutaciones. La inflamación crónica que precede a la tumorigénesis puede ser un escenario compuesto de aumento de ROS (especies reactivas de oxígeno) e hipoxia, los cuales pueden causar daño en el DNA y provocar inestabilidad genómica.

Por ejemplo, en el caso de infecciones persistentes, la producción de ROS y especies reactivas de nitrógeno (RNS) por parte de leucocitos y otras células fagocíticas conduce al daño del DNA en los leucocitos y en las células epiteliales. Estos ROS/RNS también están implicados en la carbonilación de proteínas, que es una modificación proteica irreversible.

Hipoxia: La hipoxia es una característica de los tumores, y la mayoría de los estudios metabólicos y genómicos muestran claramente que los HIF (factores inducibles por hipoxia) se activan en muchos cánceres. Destaca el complejo HIF1 que inicia la transcripción de genes metabólicos, factores de supervivencia y

crecimiento (como el factor de crecimiento transformante β [TGF β], factor de crecimiento similar a la insulina II [IGF-II]) y factores de angiogénesis, incluido el factor de crecimiento endotelial vascular [VEGF] para iniciar el cáncer.

Cambios no genéticos en el metabolismo que conducen a la tumorigénesis

Los tumores no son una colección de células uniformes, sino que tienen poblaciones clonales impulsadas por diferentes lesiones genéticas. Estos distintos linajes clonales generan gran heterogeneidad genética dentro de un tumor. Por tanto, existe una heterogeneidad genética, y también metabólica, entre las células tumorales de un mismo tumor, así como de tumores diferentes. En ocasiones, esta heterogeneidad metabólica intra- e inter-tumoral puede ser producida por diferentes factores del ambiente tumoral:

Privación de nutrientes: La disponibilidad de nutrientes es un factor clave para determinar la actividad de mTOR y AMPK. En células normales, AMPK actúa como un sensor de energía y mantiene a las células en homeostasis energética. Cuando los nutrientes son limitados, AMPK aumenta los niveles de ATP al promover el catabolismo de la glucosa y la oxidación de lípidos, evitando así la síntesis y el almacenamiento de lípidos. Al mismo tiempo, AMPK inhibiría al complejo 1 de mTOR (mTORC1), que tendría una función opuesta. De la misma forma, en condiciones de abundancia de nutrientes, mTORC1 regularía negativamente a AMPK.

En la mayoría de tumores se observa una mayor actividad de mTOR, es decir, una mayor inhibición de AMPK, lo que limitaría los niveles de ATP y promovería la síntesis y almacenamiento de lípidos, aún en ausencia de nutrientes. Por ello, se han estudiado varios inhibidores de mTOR como la rapamicina para que sean empleados como tratamiento en algunos tipos de tumores.

Células del sistema inmunitario: Las células inmunitarias dependen en gran medida de la disponibilidad de nutrientes para su activación y función, siendo la glucosa particularmente indispensable para la producción de citocinas. Sin embargo, no es solo la glucosa, sino también otros aminoácidos, como la glutamina y el triptófano, los que pueden modular su función. La falta de glutamina en condiciones de cultivo celular puede detener la proliferación de células T y la producción de citocinas. Por ello, se ha postulado que la restricción de glutamina en el microambiente tumoral favorecería un aumento específico

de las poblaciones de células T reguladoras, que ejercen una inmunosupresión mayor que las poblaciones de células T colaboradoras o efectoras.

Por lo tanto, al modular la concentración de metabolitos en su entorno, las células tumorales pueden afectar al metabolismo de las células inmunitarias. Las células T, los linfocitos citolíticos (*natural killer cells* en inglés) o los macrófagos compiten con las células tumorales por la glucosa y otros nutrientes esenciales necesarios para su función.

Fibroblastos asociados a cáncer (CAF): Los CAF son muy heterogéneos, ya que podrían originarse a partir de fibroblastos, sucesores de adipocitos, células endoteliales, células de la médula ósea y otras células epiteliales.

Los CAF importan activamente cistina y la convierten en cisteína, que puede ser absorbida fácilmente por las células tumorales. Esto conduce a un aumento de la síntesis de glutatión, que puede conferir una ventaja protectora a las células frente al estrés redox.

Asimismo, los CAF producen glutamina que es utilizada por las células cancerosas para apoyar su proliferación y supervivencia en un ambiente con un déficit en glutamina. Además, los CAF actúan como una fuente de proteínas para la matriz extracelular (incluido el colágeno, el sulfato de condroitina, el ácido hialurónico y otros) y es por ello que han sido identificados como barreras en la eficacia farmacológica de los tumores durante el tratamiento.

Finalmente, los CAF pueden liberar lactato, que es captado por las células cancerosas, activando la

vía de señalización del TGF β y mejorando su actividad mitocondrial, lo que conduce a la producción de energía. Se ha demostrado que la hipoxia y las altas concentraciones de lactato inducen el programa de transición epitelio-mesénquima que prepara a las células cancerosas para un proceso metastásico. Los factores transcripcionales que impulsan esta transición también pueden regular directamente la expresión de enzimas metabólicas, determinando los perfiles metabólicos de las células metastatizantes.

Conclusión

En conclusión, la reprogramación metabólica constituye un «hallmark» del cáncer ya que es observada en la mayoría de las rutas metabólicas centrales del tumor. La explotación terapéutica de estas alteraciones es un gran reto debido a que: (1) el escenario metabólico en los tumores suele ser complejo, con múltiples factores que regulan e interactúan de forma cruzada en el microentorno tumoral; (2) debe lograrse la especificidad de las células cancerosas, ya que estas vías son esenciales tanto en las células normales como en las cancerosas; (3) la eficacia del tratamiento depende de la dosis, que es difícil de medir debido a la gran variabilidad metabólica; y a que (4) los tumores son metabólicamente dinámicos y pueden modificar su metabolismo tras la intervención. Por ello, la elección de las dianas terapéuticas basada en datos genómicos y metabólicos es fundamental para el éxito en el uso de estrategias antitumorales basadas en el metabolismo.

Para saber más:

Serrano, J. J. (2012). Metabolismo y cáncer. *Encuentros en la Biología* 5 (138 – 139), 35 – 36.

Seth Nanda, C., Venkateswaran, S. V., Patani, N., & Yuneva, M. (2020). Defining a metabolic landscape of tumours: genome meets metabolism. *British Journal of Cancer*, 122(2), 136–149.

Sullivan, L. B., Gui, D. Y., Hosios, A. M., Bush, L. N., Freinkman, E. & Vander Heiden, M. G. (2015). Supporting aspartate biosynthesis is an essential function of respiration in proliferating cells. *Cell* 162, 552–563.

Frezza C. (2020). Metabolism and cancer: the future is now. *British Journal of Cancer*, 122(2), 133–135.

Harris A. L. (2020). Development of cancer metabolism as a therapeutic target: new pathways, patient studies, stratification and combination therapy. *British Journal of Cancer*, 122(1), 1–3.

LA REPROGRAMACIÓN METABÓLICA ES UNA CAPACIDAD DISTINTIVA DEL PROPIO METABOLISMO

por MIGUEL ÁNGEL MEDINA

CATEDRÁTICO DE BIOQUÍMICA Y BIOLOGÍA MOLECULAR, UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

MEDINA@UMA.ES

La publicación en este mismo número de Encuentros en la Biología del artículo *Reprogramación metabólica en cáncer*, firmado por la Graduada en Bioquímica Isabel Vidal me ha hecho plantearme que podría ser oportuno aportar este breve texto, en el que (y disculpen la autocita) hago alusión a un artículo mío recientemente publicado en la revista *BioEssays*^[1]. Dicho artículo, titulado *Metabolic Reprogramming is a Hallmark of Metabolism Itself* pretender arrojar luz sobre el concepto *reprogramación metabólica*, a mi entender muchas veces mal utilizado.

En su versión revisada y ampliada de 2011 de la clásica revisión sobre las señales distintivas del cáncer, Douglas Hanahan y Robert A. Weinberg propusieron la «desregulación de la energética celular» como una de las nuevas señales distintivas emergentes del cáncer^[2,3]. En la actualidad esta desregulación de la energética celular suele ser nombrada como «reprogramación metabólica» y se acepta ampliamente como una característica común de los tumores clínicamente relevantes y de otras enfermedades. Visto desde este punto de vista, la regulación del metabolismo sería una consecuencia impuesta por la misma enfermedad. Lo que trato de argumentar en mi artículo en *BioEssays* es que la reprogramación metabólica no es impuesta por la enfermedad sino que es en realidad la principal característica y capacidad distintiva del propio metabolismo.

Desde la perspectiva de la termodinámica, el metabolismo debería ser considerado el auténtico «motor» de la vida, que proporciona los adecuados intercambios de materia, energía e información con el entorno, imprescindibles para el mantenimiento de la propia vida. Mi experiencia de más de treinta años de estudiar y enseñar metabolismo me lleva a atreverme a postular que, de hecho, el metabolismo es el motor de la vida... pero algo más. El metabolismo es entendido hoy en día como una compleja red dinámica y plástica, capaz de adaptarse a los cambios y las demandas metabólicas y bioenergéticas de cada situación particular. De acuerdo con esta noción, la reprogramación metabólica en el cáncer (o en cualquier otra enfermedad) representaría simplemente un

ejemplo (ciertamente destacable) de la flexibilidad y adaptabilidad que caracterizan al metabolismo. En realidad, pueden comentarse infinidad de casos de reprogramación metabólica más allá de la identificada como señal distintiva del cáncer. En mi artículo de *BioEssays* menciono, a modo de ejemplos, algunos casos, de los que quizás el más recurrente sea el caso de la «automática» adaptación metabólica de los organismos anaerobios facultativos a cambios en la biodisponibilidad de oxígeno.

En el último tercio del siglo XX, el neurobiólogo chileno Humberto Maturana introdujo el concepto de autopoiesis para referirse a las propiedades inherentes a la vida, un concepto que desarrolló lúcidamente en el extraordinario libro *El árbol del conocimiento*, escrito con su discípulo (prematuramente desaparecido) Francisco Varela^[4]. En este libro, los autores afirman:

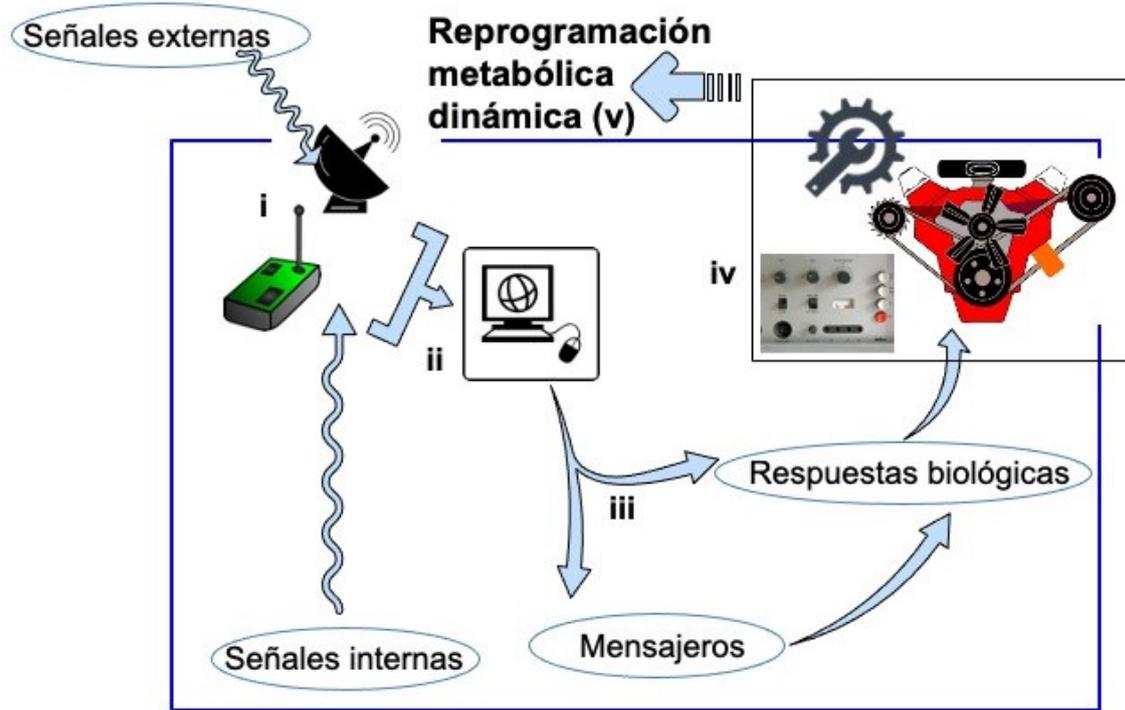
[...] los seres vivos se caracterizan porque, literalmente, se producen continuamente a sí mismos, lo que indicamos al llamar a la organización que los define «organización autopoietica» [...] En primer lugar, los componentes moleculares de una unidad autopoietica celular deben relacionarse dinámicamente en una continua red de interacciones.

Pues bien, esta red dinámica de interacciones es el metabolismo y su capacidad para adaptarse a cambios tanto eternos como internos es lo que llamamos reprogramación metabólica. De esta forma, volviendo a algo que queda mencionado más arriba, el metabolismo es el auténtico motor de la vida... y algo más. Mi propuesta es considerar el metabolismo como el conjunto complejo y dinámico de «máquinas biomoleculares» que consta de: i) sensores capaces de detectar esos cambios en señales/condiciones internas e internas (en términos de cambios de energía, materia o información); ii) unidades centrales de procesamiento (CPU) capaces de procesar e integrar estas señales y de producir iii) mensajes y respuestas biológicas que permitan continuamente «sintonizar» iv) el motor de

la vida, capaz de producir v) respuestas biológicas finales, asociadas siempre con cambios metabólicos dinámicos (esto es, con una continua reprogramación metabólica). Este enfoque queda representado de forma gráfica y simbólica en la figura adjunta.

Estoy convencido que reprogramar el metabo-

mo en el núcleo central mismo de la vida contribuirá a mejorar nuestra comprensión de los procesos biológicos y de la propia vida. En este sentido, bien podría concluirse que el metabolismo es la principal señal distintiva de la vida.



Referencias

- [1] Medina MA. Metabolic reprogramming is a hallmark of metabolism itself. *BioEssays* 42: 202000058, 2020.
- [2] Hanahan D., Weinberg RA. Hallmarks of cáncer: The next generation. *Cell* 144: 646-674, 2011.
- [3] Hanahan D., Weinberg RA. The hallmarks of cáncer. *Cell* 100: 57-70, 2000.
- [4] Maturana H., Varela F. *El árbol del conocimiento* (3ª ed). Madrid, Debate, 1999.

LA ILUSTRACIÓN CIENTÍFICA: UNA NECESIDAD PARA FAVORECER LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA EN REDES SOCIALES.

SCIENTIFIC ILLUSTRATION AS AN ESSENTIAL TOOL IN THE DISSEMINATION OF SCIENCE ON SOCIAL MEDIA.

por POR AYNHOA GÓMEZ-OLLÉ, ANTONIO-ROMÁN MUÑOZ Y VANESSA GÓNZALEZ-ORTIZ.

FACULTAD DE CIENCIAS – MÁLAGA (ESPAÑA)

EMAIL

Palabras clave: Conocimiento científico, Divulgación científica, Ilustraciones científicas, Infografía, Instagram, Redes sociales, Twitter.

Keywords: Scientific knowledge, Scientific dissemination, Scientific illustration, Infographic, Instagram, Social media, Twitter.

¿Por qué es importante facilitar el acceso del conocimiento científico a la sociedad?

Hoy en día acercar los avances científicos a la población es una labor de una importancia creciente, ya que permite informar y concienciar a las personas para que puedan valorar lo que ocurre, tomar medidas con criterio y despertar el interés general por la ciencia^[1]. Es por ello que la divulgación científica va tomando más relevancia entre la comunidad científica. Sin embargo, aunque la forma de divulgar es amplia y existen muchos formatos, actualmente encontramos un alto porcentaje de la sociedad que no tiene formación o base científica y que alegan su falta de interés en la ciencia es la complejidad de los temas que se tratan. En el caso concreto de España, en una encuesta realizada por la FECYT, se pone de manifiesto que un poco más de la mitad de los participantes, 51,2%, afirman que no llegan a comprender los temas que se publican porque la ciencia está muy especializada^[2]. Este hecho no es específico de España, ya que también ocurre en otros países desarrollados, de modo que surgen propuestas e iniciativas a nivel internacional para despertar el interés por la ciencia en el público general, que no tiene una base o formación científica.

La imagen como herramienta en la divulgación

Una de las soluciones que se ha estudiado para captar la atención de las personas sobre la temática científica es aplicar un formato gráfico y visual, como el que nos ofrecen las imágenes. Ya en la antigüedad se planteaba que la imagen era una herramienta valiosa que servía de apoyo en el aprendizaje, tal y como describe Aristóteles en su obra filosófica *De*

Anima, «el alma jamás entiende sin el concurso de una imagen». Recientemente se ha demostrado que, a la hora de explicar un proceso biológico, las imágenes proporcionan un medio que ayuda a las personas a comprender y entender la temática tratada^[3]. Uno de los formatos gráficos más utilizados como imagen es la fotografía, ya que se trata de una herramienta efectiva a la hora de facilitar la comprensión de textos científicos^[4]. Sin embargo, existen otros medios visuales clásicos como la ilustración científica que es una herramienta versátil que proporciona numerosas ventajas a la hora de presentar de forma gráfica cualquier tipo de información científica^[5] (Figura 1).

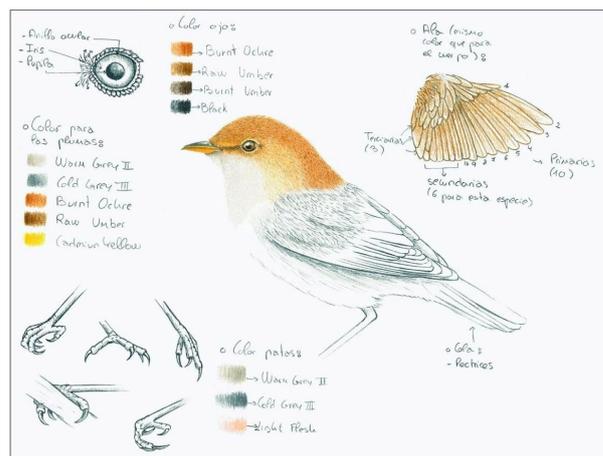


Figura 1. Estudio previo y documentación del carricero común (*Acrocephalus scirpaceus*).

La ilustración científica actualmente continúa siendo una herramienta que permite la comunicación desde las distintas disciplinas científicas, adaptándose para poder llegar tanto al público con conocimiento científico como al que no lo tiene. Los ilustradores científicos siguen una metodología en la que es necesaria la colaboración estrecha con el investigador especializado para reunir la información a divulgar

y sintetizarla, para posteriormente transmitirla de forma simplificada y precisa a la sociedad (Fig. 2). Un ejemplo actual sobre el meticuloso proceso de creación de una ilustración científica es el caso del virus SARS-CoV-2, que causa la enfermedad conocida como COVID-19, el cual se ve reflejado en el artículo de Frumkin^[6]. Cuando la entrevistadora le dice al profesor Goodsell, implicado en la elaboración de la ilustración científica del SARS-CoV-2, que su trabajo es una obra de arte, éste le responde amablemente que su ilustración está muy ligada a la ciencia e intenta que sea lo más cercana a la realidad posible, ayudando así a que las personas puedan concebir al coronavirus como una entidad física, con un tamaño, forma y propiedades que se puedan entender (Fig. 3).

ello es que nos permite la reconstrucción de ecosistemas o especies que a día de hoy están extintos y no pueden ser fotografiados. Otra de las aplicaciones más notables que proporciona la ilustración científica frente a la fotografía, es poder elaborar arquetipos que sintetizan y simplifican estructuras complejas y rasgos esenciales de una especie de forma esquemática. También es útil para representar todas las estructuras de una disección de forma sencilla, facilitando una mejor comprensión de la organización de los diferentes tejidos que forman un órgano o sistema. A nivel microscópico es esencial, ya que comprender fotografías de muestras microscópicas es una tarea compleja a menos que la persona esté especializada. Por último, los diagramas ilustrados son ampliamente usados para representar procesos dinámicos, como el ciclo del carbono, la acidificación del mar o el ciclo del nitrógeno junto con los distintos organismos implicados^[5]. Gracias a estas ventajas, lejos de desaparecer o quedar relegada a ámbitos académicos, la ilustración científica es actualmente un apoyo importante en prensa, revistas y libros de divulgación científica, que aplican especialmente el formato infografía como predilecto para unificar y sintetizar el uso de imágenes, datos, mapas y textos, proporcionando un resultado gráfico rico en información visual que puede ser comprendida con mayor facilidad por el lector^[7,8] (Figuras 2, 4 y 5).



Figura 2. Resultado final de la infografía relativa a la sedentarización del carricero común (*Acrocephalus scirpaceus*) en la península ibérica.

El papel de la ilustración científica

La ilustración científica es una disciplina de perfil científico-técnico mediante la cual se pueden describir hallazgos científicos de forma visual, facilitando un mejor entendimiento de los procesos implicados o de la especie que se esté estudiando a través del dibujo. Tradicionalmente se ha relacionado con aquellas obras realizadas durante las expediciones a tierras desconocidas, en las que era necesario retratar de forma rigurosa todas las especies nuevas que se iban descubriendo. Sin embargo, la realidad es que la ilustración científica va más allá de la ilustración de animales y plantas, ya que se aplica en numerosas ramas de la ciencia. Además, con respecto a la fotografía presenta algunas ventajas. Un ejemplo de

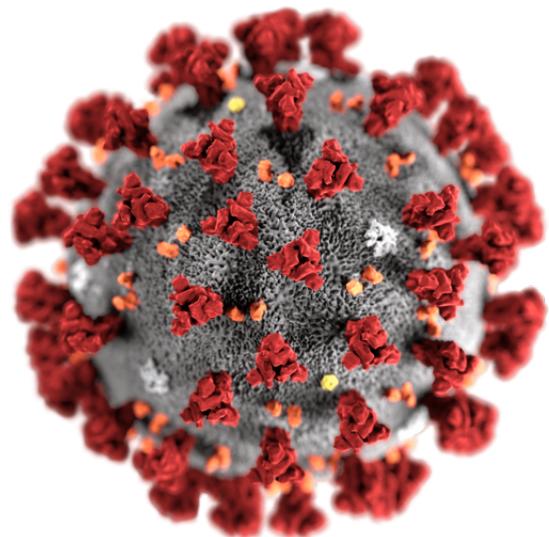


Figura 3. Ilustración de la visión microscópica del coronavirus SARS-CoV-2 creada por Centers for Disease Control and prevention (CDC).

Redes sociales en divulgación científica

La facilidad de comprensión que nos facilita la imagen ha sido estudiada y aprovechada en marketing, siendo esta un recurso esencial en publicidad y

política para realizar cualquier tipo de campaña^[9]. Esta estrategia también se aplica a las redes sociales, las cuales son una herramienta efectiva a la hora de diseminar información. El hecho de que los usuarios compartan contenido en internet está motivado por un componente más emocional que lógico^[10]. Este factor emocional es objeto de estudio de numerosas empresas y entidades, ya que están aprovechando las redes sociales para llegar y conectar con la ciudadanía^[11]. Estas técnicas afectan en última instancia a cómo se divulga el contenido científico en redes sociales. En el caso concreto de Twitter, se ha demostrado que se comparten más aquellos estudios que han sido «tuiteados» (publicados en Twitter) con un resumen en formato visual, que aquellos que no^[12], mientras que otros estudios respaldan que los estudios científicos que han sido tuiteados son más citados que los que no^[13]. Este tipo de estudios nos ponen de manifiesto el potencial de las redes sociales aplicadas a la divulgación del conocimiento científico.

fotografía, para favorecer la divulgación científica. Tanto las ilustraciones como las infografías que se realizaron específicamente para el TFG (Figuras 1, 2, 4 y 5) siguieron la metodología de la ilustración científica, empezando con el estudio previo, como se puede apreciar en la Figura 1, y la documentación de la especie y sus consecuentes correcciones. El experimento se basó en publicaciones en las redes sociales de Twitter e Instagram de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga, a través de las cuales se obtuvo una gran cantidad de información gracias a la interacción que los usuarios ejercían sobre las mismas. Dichas interacciones se debían a diferentes acciones como, por ejemplo, dar «Like» a la publicación, compartirla o comentarla. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis exploratorio de los datos obtenidos para cuantificar los distintos tipos de interacciones y conocer su evolución a lo largo del tiempo. Finalmente, se estudiaron los datos generales para comprobar qué formato era más eficaz en cada una de las redes estudiadas, teniendo en cuenta el conjunto de publicaciones y también datos puntuales, para saber si existían diferencias relevantes entre las diferentes publicaciones de manera individual. De los resultados obtenidos se pudo concluir que en Twitter la ilustración científica en formato de infografía fue más eficaz que la fotografía, ya que las publicaciones con este formato llegaron a un mayor número de usuarios y generaron más interacciones. Cabe destacar que del trabajo también se obtuvieron algunos datos interesantes, como que la especie objeto de estudio y divulgación parece ser importante con respecto al interés que se suscita entre los ciudadanos. Por esta razón, es probable que los usuarios tiendan a difundir más aquellas publicaciones cuya especie sea conocida o carismática que aquellas que son menos conocidas. En el caso de Instagram, no encontramos diferencias significativas entre la infografía y la fotografía a la hora de divulgar conocimiento científico.



Figura 4. Resultado final de la infografía para la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*), la cual recoge información relativa a su estatus de especie invasora.

¿Qué formato gráfico es más efectivo?

Aunque el poder de la imagen ha sido muy estudiado, poco se sabe todavía de cuál sería el formato gráfico más eficaz a la hora de divulgar conocimiento científico en las redes sociales. En el TFG «La ilustración científica como herramienta en la divulgación científica en redes sociales» defendido en septiembre de 2020 en la Universidad de Málaga, se planteó la hipótesis de que una ilustración científica en el formato de infografía, debido a su versatilidad gráfica, podría ser más eficaz en redes sociales que una

Una herramienta para la ciencia:

Conocer la efectividad de los diferentes formatos visuales en las diferentes redes sociales puede ayudarnos a optimizar la divulgación de la ciencia. Actualmente, la divulgación científica va ganando peso dentro de la comunidad científica, ya que, al igual que avanza la ciencia, también lo hace su forma de comunicarse, tanto con el público no especializado en ciencia como con los propios científicos. En la actualidad, la inclusión de mecanismos de divulgación científica comienza a ser uno de los requisitos que se piden para poder acceder a proyectos de investigación (p. ej. en la convocatoria que promueve el Ministerio

para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Fundación Biodiversidad), y es creciente el número de revistas que solicitan una infografía que acompañe al artículo donde se destaquen los resultados más novedosos. Es en este punto donde la ilustración científica juega un papel importante en la divulgación científica, ya que proporciona un recurso valioso para enriquecer las publicaciones y su difusión. Este trabajo concluye que las redes sociales son una herramienta de gran interés, que pueden ponerse al servicio de la divulgación científica, teniendo en cuenta que el formato gráfico que se utilice puede afectar a la efectividad de dicha divulgación. Sin embargo, como investigadores, debemos atender las nuevas demandas de información y seguir investigando qué tipo de herramientas pueden potenciar la divulgación del conocimiento científico, ya que los estudios científicos no deben quedar relegados a la propia comunidad científica o, incluso, a un sector especializado de la propia comunidad, sino que es necesario, y debe ser un compromiso, hacerla llegar al resto de la sociedad.

Referencias

- [1] Davis, R. y D'lima, D. Building capacity in dissemination and implementation science: a systematic review of the academic literature on teaching and training initiatives. *Implementation Science*, 15: 1-26, 2020.
- [2] Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología Fecyt. IX Epscyt 2018 informe de resultados, 2018.
- [3] Botsis, T. y otros. Visual Storytelling Enhances Knowledge Dissemination in Biomedical Science. *Journal of Biomedical Informatics*, 2020.
- [4] Barcelos, J., Gomes, S. y Oliveira, F. Análise eyetracking do uso da fotografia na divulgação científica. *Em Questao*. 24(2): 83-108, 2018.
- [5] Cervoño, C., Correia, F. y Alcaráz, M. Scientific Illustration. An indispensable tool for knowledge transmission. In *Proceedings of the 3rd International Conference of Illustration and Animation*, 261-277, 2015.
- [6] Frumkin, R. How to draw the coronavirus. *The Paris review*, 2020.
- [7] Smiciklas, M. The power of infographics: Using pictures to communicate and connect with your audiences. *Que Publishing*, 2012.
- [8] Thoma, B. y otros. The impact of social media promotion with infographics and podcasts on research dissemination and readership. *Canadian Journal of Emergency Medicine*, 20(2), 300-306, 2018.
- [9] Ayerdi, K. M. y otros. Retroperiodismo o el retorno a los principios de la profesión periodística. Zaragoza, España: *Sociedad Española de Periodística*, 161-178, 2016.
- [10] Botha, E. y Reyneke, M. To share or not to share: the role of content and emotion in viral marketing. *Journal of Public Affairs*, 13(2), 160-171, 2013.
- [11] Relph, M. K. 2015. Why Do People Share What They Do? Here's What Neuroscience, Psychology, and Relationships Tell Us About Highly Shareable Content. *Buffer*, 2015.
- [12] Ibrahim, A. M. y otros. Visual abstracts to disseminate research on social media: a prospective, case-control crossover study. *Annals of surgery*. 266(6): 46-48, 2017.
- [13] Luc, J. G. y otros. Does Tweeting Improve Citations? One-Year Results from the TSSMN Prospective Randomized Trial. *The Annals of Thoracic Surgery*, 2020.



Figura 5. Resultado final de la infografía para el ratonero común (*Buteo buteo*) y el ratonero moro (*B. r. cirtensis*), en la que se informa acerca de la hibridación entre ambas especies.

Ámbito y política editorial

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

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

Instrucciones para los autores

1. Todas las contribuciones serán inéditas o contarán con la autorización expresa del organismo que posea los derechos para su reproducción, en cuyo caso la edición incluirá la referencia de su autoría. Los manuscritos recibidos podrían revisarse con medios técnicos para detección de plagios.
2. Cada contribución constará de un título, el nombre completo del autor o autores, su afiliación (institucional, académica o profesional) y correo electrónico. Para distinguir la afiliación de diferentes autores utilice símbolos (*, †, ‡, §, ¶, etc.) después del nombre de cada uno.
3. El documento se puede enviar en formato txt, rtf, sww/odt (OpenOffice/LibreOffice), doc/docx (MS-Word) o tex (L^AT_EX). Manuscritos largos pueden dividirse en varias partes que aparecerían en números distintos.
4. Los nombres de las proteínas se escribirán en mayúsculas y redondilla (ABC o Abc). Los de genes y especies aparecerán en cursiva (*ABC*, *Homo sapiens*). También se pondrán en cursiva los términos que se citen en un idioma distinto al castellano.
5. Los autores que no sean castellanohablantes pueden remitir sus manuscritos en inglés. Una vez aceptado, el equipo editorial elaborará un resumen en castellano.
6. Las tablas, figuras, dibujos y demás elementos gráficos deberán adjuntarse en ficheros independientes. Cuando sea posible, utilice el formato vectorial no propietario pdf, svg, eps o ps. En caso de fotografías o figuras tipo *bitmap* se pueden enviar en formato jpg, tif o png con una resolución mínima de 300 ppp. Existe la posibilidad de incorporar breves animaciones en formato gif a baja resolución.
7. Las referencias bibliográficas se citarán dentro del propio texto, numeradas por orden de aparición, entre corchetes en superíndice^[1]. Al final del mismo, se incluirá la sección de *Bibliografía* o *Referencias* de acuerdo con el estilo del siguiente ejemplo:
¹Einstein Z y Zwestein D. Spatial integration in the temporal cortex. *Res Proc Neurophysiol Fanatic Soc* 1: 45-52, 1974.
 Si hay más de dos autores, se citará el primero seguido de «y otros».
 Si el texto principal no incluye referencias bibliográficas, se ruega a los autores que aporten 3-4 referencias generales «para saber más» o «para más información».
8. Se anima a contribuir a la sección *la imagen comentada* con imágenes originales o de libre distribución (300 ppp de resolución como mínimo) acompañadas en documento aparte con un breve comentario de unas 300 palabras relacionado con la misma (descripción, información, técnica, etc.).
9. Se considerará cualquier contribución para las distintas secciones de la revista.
10. Envío de contribuciones: el original se enviará por correo a los coeditores o a cualquier otro miembro del comité editorial que consideren más afín al tema de la contribución. Como último recurso, se pueden enviar por correo postal acompañados de un CD. No se devolverá ningún original a los autores.
11. La aceptación de todas las contribuciones se hará a petición de los miembros del equipo editorial, manteniendo en todo caso los coeditores la decisión final sobre la misma. También se podrá sugerir al autor mejoras formales o de contenido para adaptar el artículo al perfil de la revista. La notificación se enviará por correo electrónico al autor que figure como corresponsal.