

Apuntes

de Ciencia y Tecnología

nº 32, Septiembre 2009

ESPECIAL DARWIN



Boletín de la Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España (AACTE)

Sumario

pág

NOTICIAS DE LA AACTE 04

Respuesta la Directora del Gabinete Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación a la carta que propuso Tomás Ortín sobre la posibilidad de que la financiación concedida a IPs se pueda trasladar con ellos si éstos cambian de centro: 04. Pequeña entrada blog AACTE: 05. Petición de firmas en línea contra la desaparición del CNAU en Francia: 05. Tribuna de prensa en ELPAIS: 05.

OPINIÓN

- ¿Cuándo empezó la evolución biológica?, por Juli Peretó 08
- El precio del cierre de la central nuclear de Garoña, por Manuel Fernández Ordóñez 10
- Porqué se debe cerrar Garoña, por Francisco Castejón 13
- El hundimiento de la ciencia en España, por la Federación de Jóvenes Investigadores - PRECARIOS 16
- Eso que investigas, ¿Para qué sirve?, por Daniel Aguilar 17
- ¿Es misión del investigador funcionario conseguir fondos para la I+D?, por Juan F. Gallardo 19
- La "Investigación desestructurada" o la investigación según Sarkozy, por Juan F. Gallardo 20

NOTICIAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

El eclipse solar más largo del siglo: 22. Congreso sobre colaboración entre profesionales y aficionados en investigación astronómica: 23. ¿Severa sequía de Severos? 50 años de la concesión del Premio Nobel a Severo Ochoa: 23. Bionanocomposites como adyuvantes en vacunas de la gripe: 24. La orina como fuente renovable de Hidrógeno: 25. Reservas energéticas en el Ártico: 25. Mejoras en la eficiencia de electrodos de pilas de combustible mediante optimización morfológica: 25. Mejoras en las propiedades de vidrios metálicos: 26. Adiós a Liboa y Barcelona y a la "economía del conocimiento": 26. La burocracia europea, también en el ERC: 27. Vuelta al "cole" en la universidad francesa: 28.

ARTÍCULO

- Biodiversidad, asexualidad y virus: tres esbozos sobre la complejidad de la evolución,**
por Susanna C. Manrubia 29

EL RINCÓN PRECARIO

- Circo FPU: Odisea de un precario,** por Concepción Cortés Zulueta 37
- La investigación valenciana, más cerca de la carrera investigadora europea que la investigación española,** por Vicente Claramonte Sanz 38
- ¿Jóvenes titulados? ¡Becarios por decreto!,** por Salomón Aguado Manzanares 39

CRÍTICA DE LIBROS

- James Clerck Maxwell. Escritos científicos de José Manuel Sánchez Ron,** por Germán Sastre 41

AACTE



AACTE

Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España (AACTE)

<http://www.aacte.eu>

ISSN:1577-6794 © 2009 AACTE

Se pueden hacer tres tipos de contribuciones a la revista "*Apuntes* de Ciencia y Tecnología":

- a) Cartas
- b) Artículos de opinión
- c) Artículos científicos.

En todos los casos los textos y figuras deberán ser enviados por correo electrónico a la directora, a la dirección rosario.gil@uv.es, o al redactor jefe de la correspondiente sección. Los ficheros de texto deberán estar en formato ASCII, MS-Word o RTF. Los ficheros gráficos podrán estar en cualquier formato de uso extendido.

A. CARTAS

Las cartas dirigidas a la revista se publicarán en la sección "Correspondencia". Su longitud no deberá exceder las 500 palabras. El contenido de las cartas deberá estar relacionado con temas de actualidad o interés relacionados con la Ciencia y la Tecnología en España, dándose prioridad a las que comenten algún artículo o carta publicado en números anteriores de "*Apuntes* de Ciencia y Tecnología", así como aquellas relacionadas con algún tema debatido en cualquier foro promovido por la AACTE, como sus listas de correo electrónico (ver <http://www.aacte.eu>). Una modalidad de carta podría ser un chiste o viñeta sobre algún tema científico o de política científica.

B. ARTÍCULOS DE OPINIÓN

La extensión de los artículos de opinión no deberá sobrepasar las 2500 palabras. Deberán tratar sobre temas científicos o de política científica de actualidad o interés. Como criterio general para la aceptación de un artículo de opinión, el Consejo Editorial vigilará que su contenido se adapte a unas normas éticas y de estilo elementales y que no resulte ofensivo o falta de respeto para personas o instituciones.

La revista "*Apuntes* de Ciencia y Tecnología" no comparte necesariamente las opiniones vertidas en los artículos de opinión que publica, que expresan la posición personal de sus autores.

C. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Los artículos científicos no deberán sobrepasar las 5000 palabras, y deberán estar escritos en un estilo de alta divulgación, en español o en inglés. Se pretende que los artículos científicos publicados en "*Apuntes* de Ciencia y Tecnología" puedan ser leídos y entendidos por otros científicos no especialistas en el tema, a la vez que realizan aportaciones valiosas para los científicos que trabajan en temas afines.

Los artículos científicos deberán incluir un título -en español y en inglés-, un resumen -en español y en inglés-, una lista de palabras clave -en español y en inglés- y una lista de referencias, que irá al final del artículo. Podrán incluir tablas y figuras. Para ajustar la longitud del artículo, cada figura o tabla con el ancho de una columna equivale a 150 palabras por cada 10 cm de altura, mientras que si el ancho de la tabla o figura es mayor su equivalencia son 300 palabras por cada 10 cm de altura. La longitud del resumen no debe sobrepasar las 150 palabras.

Los artículos podrán contener resultados ya publicados, siendo en este caso responsabilidad exclusiva del autor obtener los permisos correspondientes de las revistas o libros donde hayan sido publicados para reproducirlos en "*Apuntes* de Ciencia y Tecnología" en forma divulgativa. El contenido de los artículos será revisado por al menos un especialista de la misma área de conocimiento o de un área afín, quien aconsejará sobre su publicación.

FUNDADOR Y DIRECTOR HONORÍFICO

Alejandro Gutiérrez

DIRECTORA

Rosario Gil

SUBDIRECTORES

Miguel A. Cambor
Arturo Martínez Arias

REDACTORES JEFE

Miguel A. Cambor (Noticias de Ciencia y Tecnología)
Daniel Farias (Artículos)
Rosario Gil (Opinión y Rincón Precario)
José Manuel Pérez de la Lastra (Noticias de la AACTE)
Germán Sastre (Crítica de Libros)

REDACTORES

Salomón Aguado Manzanares (Rincón Precario)
Alberto Fernández Soto (Noticias de la AACTE y Noticias de Ciencia y Tecnología)
Arturo Martínez Arias (Opinión, Noticias de Ciencia y Tecnología)
Arcadi Navarro (Noticias de Ciencia y Tecnología)

CONSEJO EDITORIAL

José A. Cuesta, Juan de la Figuera, Alberto Fernández Soto, Juan F. Gallardo, Arcadi Navarro, Joseba Pineda, Ruth Rama, Rafael Rodríguez Puertas, Luis Santamaría

DISEÑO

Leyre Jiménez

MAQUETACIÓN

Belén Cañada

JUNTA DIRECTIVA DE LA AACTE

Presidenta: Carmen Rodríguez Suso
Vicepresidente: Juan de la Figuera
Secretario: José Manuel Pérez de la Lastra
Tesorero: Mark van Raaij
Vocales: José A. Cuesta, Alberto Fernández Soto, Arturo Martínez Arias

Apuntes de Ciencia y Tecnología es una publicación de la Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España (AACTE). <http://www.aacte.eu>

Apuntes de Ciencia y Tecnología no comparte necesariamente las opiniones vertidas en los artículos firmados, que expresan, obviamente, la posición de sus autores.

Los textos publicados pueden ser reproducidos sólo bajo autorización expresa del Director y siempre citando la fuente.

© 2009 AACTE

Para cualquier asunto relacionado con la revista, contactar mediante correo electrónico con la Directora, en la dirección rosario.gil@uv.es

Los números atrasados pueden consultarse en la página web de la AACTE: <http://www.aacte.eu>

En nuestro último editorial denunciábamos, por enésima vez, la falta de una política científica coherente y la contradicción que supone frente a la proclamada voluntad de un cambio de modelo productivo hacia una economía basada en el conocimiento. Hablábamos entonces de una política científica al páiro y, tres meses después, de confirmarse los rumores, nos encontramos con que el temporal sigue arreciando y no se sabe si el capitán está definitivamente borracho o simplemente da la nave, o su propio cargo, por perdidos. Las últimas noticias insisten en un recorte dramático del presupuesto de I+D (hasta un 37%), mientras seguimos sin saber qué fue de la nueva Ley de Ciencia, cuyo "borrador cero" se presentó en Febrero pero cuya aprobación, o su propia existencia, podría estar subordinada a la de otra nueva ley, la de "economía sostenible". ¡Con qué facilidad asumen nuestros políticos las expresiones bonitas, pero cuánto les cuesta entenderlas!

La caída del presupuesto de investigación no supone un simple parón o un retroceso, sino una marcada marcha atrás. Como dijo Joan Guinovart, en ciencia es necesario correr mucho para quedarse en el mismo sitio. Y cuando, parafraseando a Mark Twain, advirtió: *"si creen que la investigación y la educación son caras, prueben con la ignorancia y la mediocridad"*, algunos pensamos que España lleva ya demasiados siglos probando con la ignorancia y sin decidirse a dar de verdad una oportunidad decidida y **sostenida** al conocimiento.

Este nuevo varapalo, que sigue al estancamiento de presupuestos de 2009 y al retorno de Universidades al Ministerio de Educación, debería dar mucho que pensar a los responsables del Ministerio de Ciencia e Innovación. Pasar en poco más de un año de ser *la niña bonita* a ser *el último mono*, con pérdida de competencias y de financiación, merece al menos una reflexión profunda y una decisión de futuro. La aparente incapacidad del Ministerio para llevar al Congreso un Anteproyecto de Ley de Ciencia es verdaderamente preocupante, pero también lo es la opacidad con la que en los últimos siete meses se ha seguido trabajando (o quizá no) en el borrador.

Por si no fueran éstas razones suficientes para el pesimismo, la última evaluación de la OCDE de la educación en España y la disminución de estudiantes universitarios en carreras científicas y técnicas no ofrecen muchas esperanzas para nuestro futuro. En verdad, no es de extrañar la escasez de vocación científica: la mala formación y el desconocimiento, por un lado, y la realidad de la investigación en España, por otro, no avalan mucho más. Aunque aquí, posiblemente, también los científicos hemos fracasado rotundamente, al dejar que se piense que la ciencia es aburrida (de nuevo, Guinovart *dixit*).

Entretanto, la falta de transparencia con que los responsables médico-políticos han abordado la prevención, control y tratamiento de la pandemia del nuevo virus de la gripe A H1N1, combinada con el alarmismo de algunos grupos políticos y medios de comunicación, refleja la falta de capacidad y responsabilidad de quienes tienen la obligación de tomar decisiones informadas y argumentarlas, ante la opinión pública, de una manera fiel. No debe extrañarnos que, finalmente, la respuesta de la sociedad se mueva entre el terror y la desconfianza. Tanto la exageración del riesgo por algunos como su negación por otros (achacando todos los casos con complicaciones a "patologías previas", sin documentar éstas) han llevado a la aparición de teorías conspirativas que reflejan la desconfianza y el desconocimiento que la falta de información ha ido generando. En nuestro número anterior, Arcadi Navarro ya explicó qué debemos temer (y qué podemos aprender) de esa pandemia.

Hay un par de frases de otro norteamericano genial, Benjamin Franklin, que deberían esculpirse a cincel en el despacho donde se celebran los Consejos de Ministros y en el Congreso de los Diputados. Una dice que *"la única cosa más cara que la educación es la ignorancia"*. La otra, que declara *"todos nacemos ignorantes, pero hace falta trabajar muy duro para seguir siendo estúpido"*, podría llevamos a pensar que, pese a la opinión de muchos, en España hay políticos trabajando a pleno rendimiento.



NOTICIAS DE LA AACTE

Respuesta la Directora del Gabinete Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación a la carta que propuso Tomás Ortín sobre la posibilidad de que la financiación concedida a IPs se pueda trasladar con ellos si éstos cambian de centro.

Con fecha 24 de Junio, recibimos una carta de la Directora del Gabinete Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación, en respuesta al escrito que, a propuesta de Tomás Ortín, dirigimos a la Ministra de Ciencia e Innovación el pasado día 27 de Abril. En este escrito habíamos solicitado que, en próximas convocatorias de proyectos de Investigación, se prevea que los investigadores principales de un proyecto puedan trasladarse de destino sin perder la financiación obtenida. A continuación, reproducimos el texto íntegro de esta carta, dirigida a nuestra Presidenta, Carmen Rodríguez Suso.

“Estimada Sra.

Respondo al escrito que con fecha 27 de abril de 2009, dirigió como presidenta de la Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España, a la Ministra de Ciencia e Innovación solicitando que, en las próximas convocatorias de proyectos de investigación de este Ministerio, se prevea que los investigadores principales de un proyecto puedan trasladarse de destino sin perder la financiación obtenida.

Tanto por razones de seguridad jurídica, como de índole organizativa y económica, los beneficiarios de las subvenciones que se conceden a los proyectos de investigación son siempre personas jurídicas (Universidades, organismos públicos de investigación, centros privados de investigación, centros tecnológicos, empresas, etc.) y en ningún caso las personas físicas que los dirigen o coordinan. Este criterio ofrece garantías suficientes a la Administración del correcto cumplimiento de las condiciones que la legislación de subvenciones impone a los beneficiarios así como de las responsabilidades que pudieran derivarse de una defectuosa justificación de la subvención o del incumplimiento de las obligaciones y condiciones impuestas.

De otra parte, puesto que un proyecto se desarrolla en el seno de una institución que efectúa importantes y fundamentales aportaciones tanto en financiación como en cesión de instalaciones, maquinaria, equipamientos, y recursos humanos auxiliares necesarios para el desarrollo del proyecto, consideramos que el éxito del proyecto y su eventual continuación, dependen en buena medida de la institución que lo respalda.

El Ministerio, no obstante, es consciente de que la movilidad de los investigadores dentro de nuestro sistema de I+D es beneficiosa, y aunque genera una importante y compleja casuística desde el punto de vista del propio investigador, de la institución beneficiaria del proyecto o de la Administración concedente, se ha visto reflejada en las convocatorias. Así la Orden PRE621/2008, que regula las bases conforme a las cuales se convocan las ayudas para el desarrollo de proyectos de I+D+i del Plan Nacional, recoge la posibilidad de modificar la resolución de concesión en cuanto al beneficiario de la misma. Esto supone que, en la actualidad, es posible que mientras se está ejecutando un proyecto el Ministerio modifique la institución beneficiaria, por ejemplo por cambio de destino del investigador principal. Obviamente es necesario que concurren ciertos requisitos orientados a garantizar que no se alteran las condiciones técnicas y económicas del proyecto, ni se modifican sus objetivos. En resumen el planteamiento de su carta ya ha tenido reflejo en nuestras normas y está en vigor desde el pasado año.

El Ministerio agradece el interés de la Asociación que representa en la mejora de los procesos de gestión, atentamente,

Aurora Saeta del Castillo

Directora del Gabinete



Pequeña entrada blog AACTE

El pasado mes de Julio ha tenido entrada en nuestro blog (<http://weblogs.madrimasd.org/aacte>) un nuevo post titulado **“Evaluaciones externas”**, donde se comenta una noticia sobre la iniciativa de algunas instituciones de establecer un sistema de

evaluaciones por pares con revisores externos procedentes de países extranjeros. Hasta ahora este post ha recibido 3 comentarios. Nuevamente os animamos a que participéis en nuestro blog y enviéis vuestros propios posts o comentarios.

Petición de firmas en línea contra la desaparición del CNAU en Francia

En el mes de junio nuestro socio Ricardo González Villaescusa nos informó de los problemas que podían llevar a la desaparición del Centro Nacional de Arqueología Urbana (CNAU) en Tours, Francia. Este centro de documentación podría ser disuelto dentro de una reorganización de centros similares en el país vecino. Se nos informó del

inicio de una campaña de recogida de firmas para salvar este centro en la página web <http://sauvonslecnau.free.fr>.

Nuestro socio, Ricardo González Villaescusa, nos informa con más detalle desde la sección de Opinión (página 20)

Tribuna de prensa en ELPAIS

Nuestros compañeros de la AACTE Fernando Hiraldo (y otros científicos) por un lado y Alberto Fernández Soto por otro, han enviado sendas cartas a EL PAÍS en protesta por la reducción del presupuesto para la ciencia y que insisten en el debate que hemos tenido estos días atrás en la asociación. Aparecen publicadas en la sección de Sociedad de ELPAIS.com. Las reproducimos desde estas páginas:

Sorolla y la inversión en la ciencia

F. Hiraldo et al., 22/09/2009

Algunas cabezas pensantes creen que una reducción del escaso gasto que este país hace en ciencia puede contribuir a mejorar las expectativas de salir de la crisis, aunque probablemente estemos diferencialmente inmersos en ella, entre otras cosas, por el raquitismo crónico de nuestra ciencia. Resulta fácil en estas circunstancias recordar el cuadro de Sorolla titulado Aún dicen que el pescado es caro, donde el maestro valenciano de la luz representa a dos pescadores atendiendo a un joven compañero herido en el suelo de la bodega de un barco, entre maderos, cuerdas, aparejos y alguna cesta de pescado; mientras uno de ellos taponaba la herida, el otro lo abraza por las axilas. Con esta viva imagen el gran pintor parece indicarnos que detrás del pescado que llega a nues-

tra mesa hay más de lo que vemos y saboreamos; hay mucho trabajo, esfuerzo y riesgo. Desgraciadamente, en estos momentos de crisis resulta obligado recordar también a algunos que detrás de la ciencia, de sus productos que posibilitan el bienestar de la sociedad, hay mucho trabajo, esfuerzo y riesgo, y que éstos son, hoy más que nunca, necesarios para apuntalar la todavía débil estructura de nuestra ciencia.

El camino para llegar a ser científico en España es exigente, duro y prolongado. Algunos de los pocos buenos alumnos capaces de finalizar sus estudios universitarios con una nota media cercana al sobresaliente obtendrán una beca/contrato predoctoral. Para este reducido pelotón empieza entonces la tarea de aprender a ser científico. Tras cuatro años de trabajo sin casi vacaciones y con jornadas laborales generalmente por encima de las diez horas, el contratado está a punto de “leer la tesis”. Atrás quedan, junto a su investigación doctoral, el estudio de idiomas, de técnicas avanzadas de análisis estadístico o de lenguajes de programación, los varios meses cada año en laboratorios de otros países, las depresiones por los artículos rechazados por los editores y la euforia por el buen trabajo publicado, la alegría inmensa de algún pequeño gran descubrimiento y días y noches de felicidad creativa..., de ver nacer la ciencia..., de disfrutar de una aventura difícil de explicar.



Finalizada la tesis, el aspirante a científico optará a contratos posdoctorales, soliendo pasar, como poco, dos años en un laboratorio de un país extranjero. Si durante su posición posdoctoral consigue buenos resultados científicos, estará en condiciones de obtener un contrato posdoctoral para volver a España o continuar su carrera investigadora en otro país. En todo caso, una parte de este selectivo y esforzado grupo no conseguirá ningún tipo de contrato y deberá abandonar la carrera investigadora, reconduciendo por otros caminos su vida profesional. El resto, una auténtica minoría, accederá finalmente a un puesto de funcionario o a un contrato indefinido, con treinta y muchos o más de cuarenta años, tras un concurso-oposición. La recompensa económica al final de este largo trayecto será de unos 1.900 euros mensuales. Sin embargo, tendrán la satisfacción de dedicarse a lo que les apasiona, la ciencia. ¿Acaso parece un salario elevado para el notable esfuerzo de formación de una parte de nuestros mejores universitarios? Sólo tiene el lector que compararlo con los sueldos de la élite de las finanzas, el deporte o la banca.

Desde luego, pensamos que los relativamente bajos salarios iniciales en la carrera científica son una seria dificultad para atraer hacia la investigación a las más brillantes mentes de España u otros países. Sin embargo, no creemos que estos tiempos de crisis sean los adecuados para reivindicar mejoras salariales, por justas y estratégicas que sean. Pero igual de poco adecuado es plantear, en un país con el atraso científico de España, reducciones en los magros fondos que dedicamos a investigación. Es momento de profundizar en las reformas del sistema de ciencia y tecnología para conseguir mayor eficiencia en el gasto y más exigencia en sus resultados. Hay que abrir el sistema y hacerlo realmente competitivo y ren-

table para el beneficio de la sociedad española. Estabilicemos el esfuerzo económico y mejoremos los mecanismos de distribución y control. Una ciencia competitiva y flexible no es cara, sino la más rentable de las inversiones, como demuestran una y otra vez los mejores centros de investigación del mundo. Recordaba hace unos días Joan Guinovart que si piensan que la ciencia es cara prueben con la ignorancia y la mediocridad. Nunca es más evidente que en épocas de crisis que dar la espalda a la ciencia es lastrar las posibilidades de recuperación en un futuro inmediato.

En estos últimos años las mejoras en investigación han venido, de forma muy personal, de la mano del presidente Rodríguez Zapatero. Fue él quien se comprometió a doblar en su primera legislatura el gasto en I+D en España, y él quien lo impulsó y acabó consiguiéndolo. En esta crisis es necesaria, de nuevo, su implicación directa. No sólo para impedir la reducción del gasto en I+D en los presupuestos, sino también para impulsar los cambios administrativos y normativos que hagan más ágil y eficiente la inversión en ciencia. En el fondo, los que propugnan la reducción del gasto en ciencia son los mismos que han frenado durante años los imprescindibles cambios administrativos en OPIS y universidades encaminados a hacer más eficiente y rentable nuestra ciencia. A ellos hay que explicarles que la ciencia, como el pescado, no es cara si se valoran la dificultad para conseguirla y, sobre todo, sus beneficios posteriores. En las postrimerías del XIX, cuando Sorolla pintó el cuadro, no se conocían los efectos positivos que tiene el pescado sobre la salud, pero ahora sí sabemos la rentabilidad que para la sociedad tiene la ciencia. El indudable esfuerzo económico que supone mantener la inversión en tiempo de crisis merece la pena.

Una propuesta de ahorro

Alberto Fernández Soto, 25/09/2009

Estimado Señor Presidente, he estado pensando en posibles sistemas con los que el Estado español pudiera ahorrar dinero en este momento de crisis y, como no podía ser de otra manera dada mi profesión, he encontrado una respuesta en la Astronomía. Es evidente que el momento económico internacional exige sacrificios, y éstos representan la base de mi propuesta.

La Astronomía española ha pasado en unos treinta años de ser una actividad testimonial a representar una de las principales bazas españolas a la hora de compararnos con nuestro entorno científico. La

comunidad está formada por unos 500 investigadores y técnicos en plantilla de universidades y centros de investigación, acompañados de unos 300 becarios en diferentes niveles.

El sistema español de contratación no permite expulsar a los investigadores de plantilla, pero sí que permite no renovar ninguna beca ni contrato en los próximos años, a la par que no convocar ninguna de las diferentes modalidades de contratación fija o temporal. Mi estimación es que, con este método, el Estado podría ahorrarse desde el próximo año el equivalente anual de unas 150 becas/contratos, es decir, unos cuatro millones de euros. Esta cantidad crecería en años posteriores, según los presentes becarios vayan



acabando sus relaciones laborales con el Ministerio, y aumenten las jubilaciones no reocupadas.

Por otra parte, los profesionales de la ciencia logramos fondos para nuestro trabajo mayormente a partir de convocatorias de Planes Nacionales, o las Autonómicas equivalentes. He hecho un promedio de los últimos cinco años, y calculo que los proyectos en que participo, repartidos equitativamente entre sus participantes, representan en mi caso unos 40000 euros anuales. Gracias a mis colaboradores me considero en el lado afortunado de la financiación, así que estimo que el promedio nacional sea algo menor... a resultas de ello, y suponiendo que eliminamos toda financiación pública de los proyectos españoles de Astronomía en los próximos años, podríamos ahorrar unos diez millones de euros anuales.

Pero además existen aún otras posibles fuentes de ahorro. España participa en agencias internacionales como la Agencia Espacial Europea, o el Observatorio Europeo Austral. Tenemos en Canarias y en Almería algunos de los mejores Observatorios del Hemisferio Norte. Eliminar el desarrollo de instrumentación y el mantenimiento de estas instalaciones podría representar un nuevo ahorro significativo, posiblemente del orden de unos veinte millones de euros anuales.

Estos números son solo aproximados, Señor Presidente, y los he calculado a vuelapluma. Estoy seguro de que algunos de mis colegas (o alguno de sus con-

sejeros) me corregirán. Pero son suficientes para mostrarle que existe una buena posibilidad de ahorrar como mínimo unos 35 millones de euros en los presupuestos del año 2010, sin que ello represente una merma de nuestro bienestar. Es cierto que las industrias españolas que participan en proyectos de I+D relacionados con las ciencias espaciales o las tecnologías astronómicas perderán algunos contratos. Es cierto también que se perderán algunos puestos de trabajo altamente especializados. También se echará a perder la formación de toda una generación de jóvenes (y no tan jóvenes) astrónomos. Pero, sin duda, en nuestra economía del conocimiento y la tecnología, todos ellos encontrarán nuevas oportunidades.

Para ahorrar estos 35 millones de euros, Señor Presidente, basta con tomar la decisión de eliminar de raíz la Astronomía Española. Una vez tomada esta decisión podría usted pensar en eliminar otras ramas de la Ciencia, como la Biología Molecular, o la Física de Partículas, que podrían representar un ahorro aún más importante.

Quizás sea una decisión drástica, o eso puede parecer a algunos. Pero, en realidad, si se confirma que está usted dispuesto a reducir el magro presupuesto de la Ciencia española el próximo año, creo que está usted ya a punto de lanzarse por ese camino. La estrategia que le sugiero es, simplemente, un poco más focalizada, pero básicamente igual de válida.

VISITE LA PÁGINA WEB DE LA AACTE:



➔ <http://www.aacte.eu>



¿CUÁNDO EMPEZÓ LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA?

Juli Peretó

Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biología Evolutiva, UVEG

Juli.Pereto@uv.es

Hace unos meses la revista *Nature* publicó un artículo de Andrew Moore (flamante director de la revista *BioEssays*) titulado “*Science teaching must evolve*” en el que el autor contraponía los avances en el conocimiento de la evolución a escala molecular, por un lado, y el tratamiento obsoleto, según él, de la biología evolutiva en los textos y programas escolares. Uno de los ejemplos que escogía era el estudio del origen de la vida y decía: “*Las especulaciones sobre los orígenes químicos de la vida se encuentran casi universalmente en los programas escolares dentro del apartado de evolución, a pesar de la dudosa relevancia del tema para la evolución y su base científica más bien incierta. Como mucho representan una oportunidad para discutir los principios de desacuerdo entre ideas competidoras en ciencia. Pero están lejos de ser teoría evolutiva de la buena*”.

Junto con unos colegas mexicanos, le respondimos unas semanas después preguntándonos que si el estudio del origen de la vida no tiene cabida en un programa de evolución, ¿dónde lo deberíamos poner? Y recordábamos el riesgo de dejar este tema en el aire, como hacía aquella infame declaración del Consejo Escolar de Dover (Pennsylvania) de 2004 cuando decía que “*el diseño inteligente es una explicación del origen de la vida que difiere de la de Darwin... La escuela deja la discusión de los orígenes de la vida para los estudiantes y sus familias*”. El juez John Jones III ya se encargó de desenmascarar el engaño de los neocreacionistas del llamado *diseño inteligente* (DI). Y sobra justificar, ahora y aquí, en una revista científica, que estudiar el origen de la vida equivale a estudiar el origen de la evolución biológica y que, por lo tanto, es una investiga-

ción que forma parte integral de la biología evolutiva. Además, es un campo donde los estudiantes pueden experimentar de manera muy clara el placer intelectual de plantear las preguntas apropiadas, incluso a sabiendas de que la respuesta cierta no la lograremos nunca. Es lo que tienen las ciencias históricas, como la biología.

La estrategia del DI pasa por escoger aquellos temas en los que nuestro conocimiento parece ser más fragmentario y nuestras explicaciones más vulnerables. El origen de la vida es un tema predilecto para poner en marcha esa trampa epistemológica que consiste en proponer causas sobrenaturales cuando aparece un hueco en nuestras teorías científicas. Los teólogos profesionales ya hace tiempo que abandonaron esta táctica de utilizar a Dios para rellenar huecos. Sin embargo, los paladines del DI la utilizan hasta la náusea. La ignorancia nunca puede servir de fundamento para sacar conclusiones pretendidamente científicas. Entre otras cosas porque la ignorancia en ciencia es provisional. En todo caso, la biología evolutiva, como cualquier ciencia histórica, plantea un problema especial, pues difiere de las ciencias naturales experimentales en la metodología y en los resultados.

Para empezar hemos de admitir que no sabemos, y nunca sabremos, cómo se originó la vida en la Tierra pero podemos asegurar que su estudio no es objeto de meras especulaciones: podemos plantear el problema en términos científicos precisos e, incluso, ensayar la comprobación experimental de los postulados, la plausibilidad de cada paso. Si convenimos que la propiedad más notable de la materia química es su potencial por dar lugar a la emergen-



cia de la vida y convertirse así en materia prima de la historia, nos podemos plantear retos como, por ejemplo, preguntarnos qué significa en la materia química estar vivo en la escala de complejidad más baja posible. O si podemos demostrar experimentalmente la validez del postulado científico fundamental de que la vida puede emerger de la materia inerte, lograremos un hito de un evidente impacto filosófico.

Empecemos, pues, por marcar unos límites muy claros del problema de cómo la química se convirtió en historia: ¿cómo se pasó de la materia química en la Tierra primitiva a los antepasados comunes de todas las formas de vida? Precisamente, estos dos extremos, reconocidos hoy por la comunidad científica, ya fueron señalados por Darwin hace siglo y medio. Con perspicacia deslumbrante, Darwin reconoció la naturaleza química del problema y, por tanto, la necesidad de definir los ingredientes químicos y las fuentes de energía para alcanzar un estado de la materia con el potencial de incrementar su complejidad y organización. Rastreando en sus cartas, anotaciones y publicaciones se hace evidente que Darwin eludió tratar en público el problema del origen de la vida porque pensaba que la ciencia experimental de su época no estaba bastante madura. Pero no ahorró detalles en sus confidencias con algunos colegas.

Al mismo tiempo, Darwin estableció el principio de la comunidad de origen de todos los seres vivos, una conjetura que no sólo sigue vigente sino que ha sido corroborada por todo el desarrollo de la biología molecular. Pudieron haber varios orígenes de la vida, pero está claro que toda la biosfera actual desciende de antepasados comunes que ya compartían la arbitrariedad del código genético o las cajas de herramientas bioquímicas fundamentales.

Es cierto que los esfuerzos intelectuales de Darwin se centraron en su propuesta teórica de la selección natural, como explicación alternativa al designio divino para la diversidad y la complejidad biológica. Para decirlo a la manera de Dawkins, nadie explicó tanto con tan poco. Porque, a primera vista, la selección natural es un mecanismo rematadamente sencillo que explica la existencia de las mayores cimas de complejidad en el universo, los seres vivos. Asimismo hizo una revisión exhaustiva de pruebas a favor de la evolución y reveló, con todo su esplendor, la coherencia del conocimiento que emergía de su explicación. Varios filósofos de la ciencia han señalado que esta *consiliencia*, esta iluminación de hechos aparentemente inconexos que se hacen inteligibles a través del prisma evolutivo, es el mayor

mérito epistemológico de Darwin y su método. Taxonomía, embriología, paleontología, anatomía o distribución geográfica de los seres vivos eran departamentos estancos y aislados hasta que la explicación darwinista los llevó al primer plano de la inteligibilidad y a encajarlos en el marco de la evolución.

Así pues, para desgracia de Moore y otros como él que desdeñan el estudio del origen de la vida, hay que reconocer que el cuadro darwinista estará incompleto mientras no expliquemos satisfactoriamente no sólo cómo evolucionan las especies sino también cómo empezó todo. Para ser más precisos, ¿cuándo empezó a operar la selección natural? El premio Nobel Christian de Duve ha sabido plantear como pocos este problema y lo ha centrado en la emergencia del fenómeno de la autorreplicación. Es decir, el origen de moléculas que saben hacer copias de sí mismas. Como la perfección no existe, una vez que aparezca el fenómeno de la autorreplicación existirán las mutaciones y, con eso, ya tenemos los ingredientes básicos de la selección natural darwinista. ¿Cómo serían esas primeras moléculas autorreplicativas? ¿Cómo aparecerían a partir de sistemas más simples? ¿Se parecerían en algo a nuestros ácidos nucleicos? Como diría el mismo Darwin, empecemos por cartografiar nuestra ignorancia, no para abandonar el camino de la razón y del esfuerzo científico, como hacen los creacionistas, sino para guiar nuestro trabajo y ensayar explicaciones posibles.

Más información:

Català, J. y Peretó, J. (2009) El Darwin indigesto: repercusiones políticas, sociales y religiosas del darwinismo. En: López-Fanjul, C. (ed.) *El alcance del darwinismo. A los 150 años de la publicación de "El origen de las especies"*. Colegio Libre de Eméritos, p. 208-231 (disponible en: <http://tinyurl.com/nesb2h>).

de Duve, C. (2005) The onset of selection. *Nature* 433: 581-582.

Lazcano, A. et al. (2008) Evolutionary theory: it's on the school syllabus in Mexico. *Nature* 453: 719.

Moore, A. (2008) Science teaching must evolve. *Nature* 453:31-31.

Peretó, J. et al. (2009) Charles Darwin and the origin of life. *Origins Life Evol Biosph* DOI 10.1007/s11084-009-9172-7 (disponible en: <http://tinyurl.com/nhXu4l>).





EL PRECIO DEL CIERRE DE LA CENTRAL NUCLEAR DE GAROÑA

Manuel Fernández Ordóñez

Doctor en Física Nuclear

m.ordonez@ciemat.es

En los últimos tres años los medios de comunicación se han venido haciendo eco, cada vez con más asiduidad, de noticias relacionadas con la energía nuclear. El Sexto Plan General de Residuos Radiactivos del año 2006, junto a la aprobación por unanimidad de la Comisión de Industria del Congreso del Almacén Temporal Centralizado de residuos radiactivos (ATC) han hecho que la energía nuclear rompiera el cascarón del tabú en el que se hallaba abandonada para tomar el pulso a la opinión pública. Este hecho trae consigo dos consecuencias inmediatas: la primera es que la sociedad española ha comenzado a debatir sobre energía nuclear (aunque sea de un modo velado) y la segunda, mucho menos agradable, es que las posturas se han radicalizado en los últimos tiempos, tanto las de los pro-nucleares como las de aquellos pertenecientes al lobby anti-nuclear. Este comportamiento social ha sufrido una aceleración evidente durante los últimos meses debido a la decisión política del cierre de la central nuclear de Santa María de Garoña en Burgos.

Sucede con inusitada asiduidad (y no es por ello menos vergonzoso) que cuando temas científicos y técnicos trascienden al ámbito de la política, la talla cultural de nuestros dirigentes se manifiesta en su más cruda y desoladora realidad. Aún recordamos con amargor el 26 de Noviembre de 2003, cuando Francia nos arrebató la sede internacional del proyecto ITER de fusión. Un proyecto que iba a suponer el posicionamiento de España en el mapa internacional de la investigación, incrementando en varias décimas el PIB español. Ese día, que perdimos la oportunidad como país, Rita Barberá mostraba su euforia televisiva porque unos veleros iban a surcar el levante valenciano. Pasamos de recibir multimillonarias inversiones internacionales para crear riqueza a gastarnos nuestros impuestos en la Copa del América... y se mostraba euforia. La clase política española alardea, de este modo, de vivir en la más absoluta ignorancia energética. El propio presidente Zapatero, en una insólita entrevista en televisión, se permitió el lujo de mentir flagrantemente acerca de la energía nuclear hasta el punto de que, por primera vez en la historia de nuestro país, una empresa privada sacó un comunicado de prensa desmintiendo punto por punto la intervención del Presidente del Gobierno.

Parecen no entender nuestros políticos que el suministro eléctrico (y el bajo precio de éste) son condiciones *sine qua non* para mantener nuestros estándares de vida, nuestra sociedad, nuestro nivel de bienestar, nuestra capacidad de generar empleo, la competitividad de nuestra industria, el equilibrio de nuestra balanza de pagos y nuestros compromisos internacionales en materia de medioambiente. El Gobierno, desoyendo los informes del único estamento competente en materia nuclear en España (el Consejo de Seguridad Nuclear) y con el pretexto de cumplir una promesa electoral, decretó no renovar la licencia de explotación de la central de Garoña. Mediante la Orden Ministerial ITC/1785/2009 de 3 de Julio, se acordó como fecha del cese definitivo de la explotación de la central el día 6 de Julio de 2013. Invito a los lectores a analizar esta Orden Ministerial, publicada en el BOE el 4 de Julio, y determinar cómo su talla argumentativa es digna de merecer un análisis retórico, por lo cómico del asunto.

El Gobierno considera que la central ha llegado al final de su vida útil de 40 años y, por tanto, debe cerrarse. Si es así, ¿por qué permitir que la central opere 42 años? ¿Por qué no cerrarla en 2011 cuando cumpla 40 años? ¿Por qué, entonces, hay otros países (EEUU) en los que centrales exactamente iguales a ésta tienen permiso para operar 60 años si no son seguras? ¿Por qué, entonces, hay países (Suiza) en el que sus centrales nucleares tienen una vida indefinida mientras cumplan las normas de seguridad? La realidad es que 40 años no son un límite en la seguridad de la central. Los 40 años de vida de diseño (y no vida útil) fueron establecidos por la Atomic Energy Commission americana como un estimador inicial para los cálculos económicos de retorno de capital y no guardan relación alguna con la seguridad de la planta. Es más, el organismo competente en materia nuclear en España, el CSN, es el único que puede definir el concepto de vida útil de una central nuclear. Así lo hace en la Guía de Seguridad 1.10 que dice: "*Vida Útil es el periodo de tiempo desde su puesta en funcionamiento hasta su retirada de servicio, siempre que se mantenga su capacidad para realizar las funciones relacionadas con la seguridad o relevantes para la misma, que tenga asignadas*"¹. Tras su estudio de seguridad, el

¹ Consejo de Seguridad Nuclear. Guía de Seguridad 1.10 (Revisión 1). Septiembre de 2008



CSN determinó que la central de Garoña podía operar, de manera segura, durante 10 años más haciendo una serie de inversiones. Por tanto, la vida útil de la central de Santa María de Garoña es ya de 50 años y no de 40 como dice el Gobierno que, recordemos, no tiene competencias para manifestarse sobre la seguridad de una instalación nuclear. En el programa electoral del PSOE para las elecciones generales del 2008, se decía en la página 190: *"Mantendremos el compromiso de sustitución gradual de la energía nuclear por energías seguras, limpias y menos costosas, cerrando las centrales nucleares de forma ordenada en el tiempo al final de su vida útil, dando prioridad a la garantía de seguridad y con el máximo consenso social..."*. La vida útil de Garoña es, como hemos visto, de 50 años y no de 40, permitir su explotación hasta 2021 no incumplía promesa electoral alguna. De hecho, lo que incumple esa promesa es cerrarla antes de llegar a su vida útil, **lo que la incumple es cerrarla en 2013**.

La Orden Ministerial dice también que la central de Garoña *únicamente* produjo en 2008 el 1.3% del total de la electricidad y, por tanto, podemos prescindir de ella por ser despreciable. Esto es un claro ejemplo de la clásica falacia del *continuum*, consistente en asumir que pequeñas diferencias en una serie continua de sucesos son irrelevantes. Decía Eubulides de Mileto: *"Si a quien no es calvo se le arranca un pelo, no queda calvo; si se le quita otro, tampoco; y así, pelo a pelo, nunca será calvo"*. La cosa es tan de perogrullo que uno no puede por más que ruborizarse al ver cómo los dirigentes de la octava economía del mundo vilipendian la lógica de modo tan falaz. Si ése es uno de los argumentos para el cierre de la central de Garoña, ¿por qué no aplicar el mismo razonamiento a las demás instalaciones de energía eléctrica? Cada grupo de un ciclo combinado o de una central térmica de carbón tienen una potencia similar a la central de Garoña ¿por qué no cerrarlos todos porque sólo producen el 1% de la electricidad cada uno de ellos? Cada parque eólico instalado en España no produce ni el 1% del total de la electricidad peninsular ¿por qué no quitarlos todos? ¿Por qué dar licencias para que se construyan más? Cada parque de paneles solares que se instala en España no produce ni el 1 por mil del total de la electricidad peninsular ¿por qué no quitarlos todos y ahorrarnos así, de paso, los miles de millones de euros en subvenciones a las renovables que los españoles pagamos cada año? ¿Consideran ustedes que esto es un argumento?

Lo que no hay forma de acomodar al uso de la razón es el cierre de una central eléctrica segura, que proporciona electricidad de forma respetuosa con el medioambiente utilizando el argumento de que genera "únicamente" el 1.3% de la electricidad peninsular para, poste-

riormente, dar el permiso de construcción a una central de ciclo combinado que también producirá "únicamente" el 2% de la electricidad peninsular pero emitiendo gases de efecto invernadero a cambio. Esta decisión, de paso, además de agravar nuestra dependencia exterior, afectará profundamente a la comarca de Alange en Badajoz, donde se encuentra situado un balneario romano del siglo III que, al cambiar el aire puro de la dehesa extremeña por los menos románticos gases contaminantes de la combustión del gas importado de Argelia notará, sin duda, un bajón en su actividad turística.

Muchos se llenan la boca predicando la sostenibilidad de la energía, la implantación de un mundo enteramente renovable, como si fuera eso técnicamente posible para el año que viene. Se predica un cambio de modelo social, pero ¿un cambio hacia dónde? Un modelo energético no se hace a base de talonario público en forma de subvenciones. En el periodo 2002-2008, los españoles nos gastamos más de 28.000 millones de euros de nuestros bolsillos en subvenciones al sector renovable². Esto contribuyó a la creación de un sector artificial, una nueva burbuja económica en la que se lucraban los bancos y cajas a base de créditos a empresas protegidas por los Reales Decretos que se redactaban *ad hoc* para seguir inflando el pelotazo, con subvenciones a la producción que alcanzaban incluso el 550% de sobrecoste sobre el precio del mercado. Este proceso, claro ejemplo de falta de previsión energética y económica, condujo a la explosión de la burbuja de las renovables entre septiembre de 2007 y septiembre de 2008. Debido a las fuertes subvenciones del Gobierno, se habían rebasado todas las previsiones de instalación de energías renovables (de hecho aún no se sabe exactamente cuántos MW solares hay instalados). En ese periodo de tiempo se cambió la legislación vigente en, al menos, tres ocasiones, creando fuertes inestabilidades e inseguridades en un sector al que habían derivado muchos inversores huyendo de la burbuja inmobiliaria. Las consecuencias eran evidentes y previsibles para cualquiera familiarizado con las leyes básicas de la macroeconomía: creación artificial de un sector a base de subvenciones, recorte posterior de subvenciones que implican cierre de empresas, pérdida de empleo y el colapso del sector.

Pero éste no es el único problema. Las energías renovables, esto es un hecho, producen el kWh efectivo más caro del mercado debido a las primas a la producción. Dada la estructura legal de nuestro marco energético, los españoles pagábamos un precio fijo por el kWh, independientemente del coste de producción, distribución y de las primas. Ahora bien, al aumentar el peso de las energías renovables en el mix energético, el valor de las primas a la producción de este tipo de energías se disparan. Sólo en el periodo 2005-2008 los españoles

2 Study of the effects on employment of public aid to renewable energy sources. Marzo de 2009. Gabriel Calzada et al.



hemos pagado casi 8.000 millones de euros en sobrecostes a energías que no son capaces de competir en el mercado por sí mismas³. Por otra parte, las empresas con gran consumo energético podían crear contratos bilaterales de forma directa con los productores de energía, sin pasar por el mercado eléctrico. Si, como pretende el Gobierno, vamos disminuyendo el peso de la energía nuclear en nuestro mix energético, al ser ésta la fuente de energía más barata⁴, el precio medio del kWh se incrementará, tanto para los consumidores domésticos como para los contratos bilaterales de la industria. Todo esto sin tener en cuenta, además, lo que se conoce como “Déficit Tarifario”. Este déficit, reconocido por ley y que todos los españoles debemos pagar a las eléctricas (además de los intereses), será tanto mayor cuanto menos energía nuclear haya en el sistema de generación español, acumulándose año tras año y que en 2008 superaba ya los 15.000 millones de euros⁵. Aún así, nuestros dirigentes políticos seguían alentando el cierre de las centrales nucleares e incentivando, a base de subvenciones, la instalación de energías renovables a costa de endeudarnos a todos. Al mismo tiempo, el entonces Ministro de Industria (Joan Clos) hacía declaraciones del tipo: “No subiremos la factura de la luz por responsabilidad política”. Las declaraciones eran de finales del 2007, pero una vez ganadas las elecciones generales de 2008, la factura de la luz ha subido casi un 30% hasta el día de hoy. La responsabilidad política, al parecer, hay que entenderla de un modo distinto a la semántica convencional de la palabra responsabilidad.

Por otro lado, conviene asomarse a las implicaciones del precio de la electricidad sobre el bienestar de nuestra sociedad. Hasta el año 2007 en el que comenzó a vislumbrarse la crisis económica en la que estamos inmersos, la evolución del Producto Interior Bruto per cápita de España y la evolución del consumo de electricidad seguían una estrecha relación⁶. Este comportamiento es similar en todos los países industrializados del mundo. La relación, por tanto, entre el nivel de vida y el consumo eléctrico es proporcional. En ningún país industrializado, de forma general, se ha incrementado el nivel de vida sin aumentar el consumo de electricidad. Pero la lectura es, en realidad, inversa: no consumimos electricidad porque somos ricos, sino que somos ricos porque consumimos electricidad. De hecho, desde el año 2007 y sobre todo en el 2008, el consumo de electricidad cayó de forma espectacular. No han sido los consumidores finales (los hogares) los responsables de estas caídas, lo ha sido la industria. La industria ha consumido menos energía porque ha bajado su producción, destruyendo en el camino centena-

res de miles de puestos de trabajo. El consumo eléctrico es un síntoma inequívoco de la salud de nuestra economía, un bajo consumo eléctrico significa menos actividad industrial, más desempleo, menos creación de riqueza y una pérdida en la calidad de vida.

No hay que confundir, sin embargo, consumo eléctrico con derroche energético. Me refiero aquí a un uso responsable de los kWh generados por nuestro parque eléctrico, porque conviene tener muy claro que no todos los kWh generados son igual de útiles desde el punto de vista económico. En un mundo globalizado y, en particular, en una Unión Europea entendida como mercado económico, la competitividad de nuestra industria (y por tanto nuestra capacidad de generar riqueza y empleo) depende de manera unívoca del precio de la energía que consumen las industrias de nuestro país. Una empresa manufacturera no puede competir en un mercado global cuando sus costes de producción superan con creces los de una empresa análoga asentada en un país donde el precio del kWh es sensiblemente menor. Únicamente podrá competir en un mercado local si se aplican políticas proteccionistas y aranceles a los productos externos. El propio Gobierno de España reconoce públicamente en sus análisis de la tarifa eléctrica⁴ que la energía nuclear es la fuente más competitiva que poseemos (incluyendo en sus cálculos la gestión y el tratamiento de los residuos radiactivos). Reconoce además, porque así lo han hecho la Unión Europea, la ONU y muchos otros organismos internacionales, que la energía nuclear produce electricidad de forma intensiva sin emitir gases de efecto invernadero en su operación, siendo óptima para la lucha contra el cambio climático y para ayudar a España a cumplir los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kioto (del cual nos alejamos de manera desmesurada).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, admitidas por el propio Gobierno, ¿cómo se explica que este mismo Gobierno despilfarre miles de millones de euros de los contribuyentes en incentivar fuentes de energía ineficientes con factores de carga ridículos que contribuyen a incrementar el precio medio de la electricidad en España? ¿Cómo es posible que un Gobierno únicamente incentive unas fuentes energéticas que reducen la competitividad de nuestra industria, coartando y limitando la capacidad de ésta de generar empleo y riqueza al conjunto del Estado? ¿Cómo es posible que un Gobierno desoiga de manera flagrante los estudios y los informes técnicos relativos a la seguridad de la central de Santa María de Garoña elaborados por el único organismo con autoridad para hacerlo? ¿Cómo es posible que un Gobierno cierre una central que produce el kWh más competitivo del mercado,

3 Comisión Nacional de Energía. Venta de Energía en Régimen Especial. Varios años.

4 Comisión Nacional de Energía. Precios y Costes de la Generación de Electricidad. Mayo de 2008.

5 Comisión Nacional de Energía. Liquidación Provisional nº13 de 2008, publicada en marzo de 2009.

6 Instituto Nacional de Estadística. Datos del período 1995-2007.



ocasionando que se incremente el precio del pool eléctrico y con ello el precio del kWh? ¿Cómo es posible que el Gobierno de un país que incumple de manera sistemática sus compromisos internacionales en materia de emisión de gases de efecto invernadero se permita el lujo de cerrar una central segura que no emite CO₂ para, a continuación, dar luz verde a nuevas centrales que producen la electricidad más cara y emitiendo gases de efecto invernadero?

Las respuestas a estas preguntas únicamente se pueden entender desde un concepto: la **radiofobia**. El miedo y el desconocimiento a todo lo que tenga relación alguna con lo nuclear. El miedo es irracional y visceral, cierto, pero lo

que de verdad da miedo es que nuestros dirigentes tomen medidas que afectan al conjunto de la sociedad de manera irracional basándose en fobias personales, desprovistas de razón y que se asientan en la ignorancia y la propaganda, desoyendo a los mayores expertos nacionales e internacionales en el campo y yendo a contracorriente de los países con mayor capacidad de generación de empleo y de riqueza del mundo. Eso da mucho más miedo, por sus implicaciones sociales y futuras, que la energía nuclear.



PORQUÉ SE DEBE CERRAR GAROÑA

Francisco Castejón

Doctor en Físicas y miembro de Ecologistas en Acción

francisco.castejon@ciemat.es

INTRODUCCIÓN:

La sociedad del riesgo

El concepto de riesgo y cómo manejar ciertas cantidades de riesgo en la práctica, es un tema sin duda controvertido. Se puede decir que el riesgo es inherente a todas nuestras actividades y que, querámoslo o no, en el mundo de hoy estamos sometidos a una serie de riesgos que no controlamos. Existen actividades cuyos riesgos son asumidos voluntariamente: el tráfico rodado en carretera es seguramente un buen ejemplo de puesta en riesgo voluntaria y cotidiana de nuestras vidas. A pesar de que sabemos que podemos sufrir accidentes, con una probabilidad relativamente alta, seguimos montando en coche. Y, lo que es peor, a pesar de ser conocedores del peligro, muchos de los conductores realizan malas prácticas que aumentan el peligro para ellos y para los otros conductores y pasajeros.

Pero, además de los riesgos asumidos voluntariamente, nuestras vidas están sumidas en múltiples riesgos desconocidos por nosotros y, por tanto, no asumidos. Probablemente, en algunos casos, muchos de nosotros pensásemos que esos riesgos valen la pena. O bien porque se obtienen bienes preciados de esa actividad o porque la probabilidad de accidente es muy baja.

Por otra parte, la apreciación de si vale la pena asumir un riesgo es individual, y está sometida a múltiples influencias de todo tipo. En particular, predomina la escala de valores de cada cual, que dictaminará qué riesgos deben asumirse y cuales no. Pero también cuentan los intereses. Evidentemente, alguien que obtiene beneficios directa o indirectamente de una acti-

vidad considerará más asumibles los riesgos que conlleva que alguien que no obtiene ningún beneficio.

Para avanzar en la solución de este difícil problema lo mejor es recurrir a mecanismos democráticos.

Desde las consultas directas a las poblaciones afectadas al establecimiento de mecanismos de participación ciudadana a través de organizaciones existentes o de nueva creación, para tratar con un problema determinado. Según el Convenio de Aarhus, firmado por nuestro país, la ciudadanía debe ser oída ante las decisiones que atañen al medio ambiente. Y debe ser oída con anterioridad para tenerla en cuenta.

Sin embargo, incluso la democracia tiene límites en este asunto. Aparecen una serie de incertidumbres que limitan la claridad de las decisiones. La primera de ellas es el alcance del riesgo y del beneficio. También, a menudo no es fácil delimitar la población que potencialmente sufre los efectos una determinada actividad y, lo que es peor, puede ser diferente de la que obtiene los beneficios de dicha actividad.

El riesgo nuclear

Uno de los problemas de la energía nuclear es el riesgo que conlleva. Independientemente de sus causas, el accidente de Chernobil puso de manifiesto los potenciales daños que un accidente nuclear puede acarrear. Hay que decir que las consecuencias de Chernobil han superado las peores expectativas de los especialistas.

El riesgo nuclear es un caso claro de que los potenciales efectos negativos pueden sufrírselos personas y agentes sociales distintos de los que se benefician de la acti-



vidad. En el caso de una central nuclear, como en cualquier actividad industrial, el principal beneficiario es la empresa que la explota. En segundo beneficiario es la sociedad que consume la electricidad producida por la central, aunque paga por ella. Sin embargo, los potenciales perjudicados pueden vivir a miles de km de distancia de la planta.

Se hacen verdaderos esfuerzos por identificar las principales fuentes de riesgo y por reducirlas: tal es la doctrina llamada Defensa en Profundidad. Pero, sin entrar en más consideraciones que el riesgo de accidente, una nuclear tiene varias dificultades específicas. En primer lugar, la reacción nuclear, una vez que el núcleo del reactor es supercrítico, es intrínsecamente inestable, es decir, es necesario actuar para que el ritmo de la reacción no se des controle, al menos en los modelos de reactores nucleares existentes. En segundo lugar, es un ente muy complejo y un fallo en un elemento no nuclear, aunque parezca de poca importancia, podría afectar al funcionamiento global de la planta y a la parte nuclear.

Los riesgos nucleares se tratan de estimar mediante los Análisis Probabilísticos de Seguridad (APS). Son estudios que implican una revisión profunda de la central y que usan grandes programas de ordenador que simulan la propagación de accidentes nucleares, calculando las probabilidades de que sucedan diferentes sucesos. El problema de los APS es que están basados en datos ideales que, a menudo, no coinciden con la realidad de la situación de la planta, y que no contemplan elementos exteriores como el fallo humano o las presiones económicas que relajan los niveles de seguridad.

Un segundo elemento que se usa es la creación de Organismos Reguladores que desarrollen normativas y las hagan cumplir, así como que vigilen el correcto funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas. En España este organismo es el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). El problema es que la credibilidad de tal organismo está dañada por numerosas muestras de falta de neutralidad en el debate nuclear, así como la dependencia cercana en el tiempo de la industria nuclear de muchos de sus integrantes. También se ha dado el caso de que algunos consejeros han trabajado en instituciones e instalaciones sometidas a la salvaguardia de este organismo, lo que de alguna manera puede influir en la toma de decisiones. Las afirmaciones de que los Consejeros han estado o están muy relacionados con la industria nuclear, a la que deberían vigilar con severidad no son un lugar común. Podemos poner ejemplos cercanos, sin

ánimo de construir una lista exhaustiva⁷: Tenemos un ejemplo de un Consejero que fue responsable de la Junta de Energía Nuclear, justo cuando se produjo la fuga radiactiva de 1973, el incidente con más repercusiones radiológicas de la industria nuclear española; otro Consejero trabajó en la construcción de Lemóniz y Valdecaballeros, fue Consejero del CSN y después fue presidente del Foro Nuclear, institución cuyo fin es impulsar la energía nuclear; en la actualidad tenemos un Consejero que previamente fue Presidente de ENRESA; la Presidenta del anterior Consejo hizo numerosas declaraciones a favor de la energía nuclear mientras era presidenta. Sería de desear que, al menos alguna vez, formaran parte del CSN personas que al menos sean escépticas respecto al uso de la energía nuclear, como muestra de neutralidad.

En algunas ocasiones el CSN no ha sido todo lo transparente que debiera con la situación de las instalaciones nucleares, más preocupado de disminuir la alarma social que de informar puntualmente⁸. Un ejemplo es que un año después de la aprobación de la Ley de Seguridad Nuclear aún no se ha puesto en marcha el Consejo Consultivo del CSN, que dicha Ley crea. Por cierto, que todo el proceso de evaluación de la situación de la central de Garoña se ha realizado sin el concurso de dicho Consejo Consultivo. Por si esto fuera poco, el CSN no hizo pública su decisión hasta el lunes día 8 de junio, tras las elecciones europeas del 7 de junio. El CSN lo niega, pero es difícil no pensar que esto se hizo voluntariamente para que la decisión no influyera en las elecciones europeas. Quizá porque los consejeros pertenecen a partidos a los que no interesaba el debate nuclear en época electoral: dos del PP y uno de CiU, formaciones ambas que están a favor de la energía nuclear y de la continuidad de Garoña, y dos al PSOE, partido que está dividido respecto a este tema. La transparencia, otra de las exigencias legales del CSN, no se ha satisfecho en la evaluación del estado de la central, puesto que no se ha hecho público ni un solo informe.

El riesgo específico de Garoña

La central nuclear de Santa María de Garoña (Burgos) es la más antigua y más pequeña de las nucleares españolas. Su potencia es de 466 MW, y en 2008 produjo el 0,6% de la electricidad consumida en nuestro país. Estas cifras son tan exiguas que si se llegara a la conclusión de que es necesario el cierre de la central, como este artículo postula, su aportación al suministro eléctrico no supondría ningún obstáculo, como tampoco lo sería su amortización, puesto que la central ya está amortizada con creces.

⁷ En el texto sólo se dan algunos ejemplos de los múltiples casos que se han registrado. Se dan, además, sin nombres aún sabiendo que para el lector no es difícil encontrar los nombres a los que me refiero. A pesar de que los Consejeros del CSN son personas públicas y, como tal, sujetos a la crítica, he preferido no citarlos.

⁸ A menudo las notas de prensa del CSN acaban con la coletilla de “el suceso no supuso riesgo ni para la población ni para el medio ambiente”. Y esto se hace incluso antes de investigar el suceso, tal como ocurrió en la fuga radiactiva de Ascó. Sería más sensato decir algo así como “se están investigando las consecuencias del suceso”. O, si se quiere y las circunstancias lo permiten, incluso podría decirse: “se están investigando las consecuencias del suceso aunque parece que no supone riesgo para la población y el medio ambiente”.



Garoña estaba diseñada para 40 años de vida y la situación de sus sistemas de seguridad así lo atestigua, porque presentan serios síntomas de envejecimiento. La prueba es que en la primera mitad de 2009 sufrió 7 sucesos notificables al CSN por fallos en diferentes sistemas que, aunque no supusieran riesgo de accidente, sí son síntomas del envejecimiento de diversos componentes: válvulas, el alternador, la turbina, etc.

Un problema de Garoña, que debe ser afrontado por muchas centrales nucleares viejas y no tan viejas, es el de la corrosión. La corrosión en un reactor puede deberse a diferentes motivos. Uno de ellos, siempre presente, es el efecto de las radiaciones que, si bien en primera instancia no son capaces de generar corrosión, sí son capaces de aumentarla, dando lugar a lo que se conoce como corrosión asistida por radiación. Y otra causa común es el trato que recibió el material, en particular, cuando se realizaron las soldaduras: éstas pudieron introducir tensiones en el material, dando lugar a lo que se conoce como corrosión intergranular bajo tensión, o cambiando la naturaleza del acero de austenítico a martensítico, que presentan propiedades totalmente distintas a la corrosión, siendo el segundo tipo mucho menos resistente. Finalmente, la historia del material es clave para entender su comportamiento ante la corrosión. Es imprescindible evaluar si ha sufrido algún ataque químico o si se han tomado las medidas apropiadas para que el material esté rodeado de un medio reductor y no oxidante.

Garoña presenta corrosión en el circuito primario, lo que ha dado lugar a fisuras en dos elementos importantes: el barrilete y las penetraciones de las barras de control. El barrilete no soporta presión pero es la pieza que se encarga del soporte estructural del núcleo y de la dirección de los flujos de refrigerante en la vasija del reactor. Y las penetraciones son claves, puesto que por ellas se introducen las barras de control. Ninguno de estos dos problemas es abordado en profundidad por el CSN en su informe, seguramente porque tal organismo considera que ya están resueltos. En su día el CSN aprobó unas reparaciones que consistían en la soldadura de unos tirantes en el barrilete para mantener su integridad, y en la colocación de unos sellos mecánicos en las penetraciones. Pero las soluciones no son definitivas, puesto que no garantizan que la corrosión no vaya a seguir avanzando a otros elementos del primario o, incluso, que afecte a las soldaduras de las reparaciones realizadas en el barrilete.

Además de éstos, según el propio CSN, las inspecciones mostraron en torno al año 2000 78 elementos severamente degradados y otros 135 componentes con un estado de degradación medio o bajo. Estas piezas son de tipo mecánico e hidráulico, electrónico y de instrumentación y control, por lo que se puede afirmar que los síntomas de envejecimiento se extienden por el total de la central. Entre los elementos degradados se encontra-

ban elementos tan importantes como las válvulas de parada y de control del caudal del refrigerante, que estaban afectadas por erosión, corrosión y fatiga. La corrosión ha afectado, pues, a más elementos que el barrilete y las penetraciones.

El dictamen del CSN del 5 de junio de 2009 en que prorrogó la licencia de Garoña por 10 años es realmente sorprendente. Sobre todo a la vista del informe que el propio CSN ha emitido. El CSN reconoce el incumplimiento de dos condiciones de las 10 impuestas a la central con anterioridad y que deberían haber estado satisfechas para el 5 de junio. Se trata del cambio de kilómetros de trenes de cables y la reparación del sistema de ventilación de emergencia de la contención. Es obvio que los cables eléctricos, sean para transmitir potencia o información, son claves para la seguridad de la central, también porque pueden actuar como transmisores de incendios, tal como ya ocurrió en el accidente de Vandellós I. Y la segunda condición consiste en reparar la ventilación de emergencia de la contención, que demostró ser vital durante el accidente de la Isla de las Tres Millas en 1979. El CSN emplazó a Nuclenor a arreglar estos dos defectos en 2011. En el caso de la ventilación de emergencia sorprende además el hecho de que Garoña ya fue sometida a una serie de reparaciones para adecuarla a las nuevas normas de seguridad que se establecieron tras aquél accidente.

Además, el CSN le daba a Nuclenor hasta 2013 para reparar otros elementos como el sistema de protección contra incendios, sistema que viene arrastrando problemas desde mediados de los 90; como el aislamiento de gases radiactivos de la sala de control, donde se encuentran los operadores, lo que en caso de accidente sería clave para mantener la integridad de los operadores. Y finalmente, se la emplaza a realizar nuevas reparaciones en las penetraciones de las barras de control.

Por cierto que algunas de estas mejoras proceden todavía de las evaluaciones relacionadas con el accidente de Harrisburg o Three Miles Islands, a pesar de que, tras el accidente, se aseguró que todas las lecciones aprendidas se habían implementado en las centrales españolas. Llama la atención poderosamente que éste sea uno de los requerimientos del CSN: que Garoña cumpla con las lecciones aprendidas tras ese accidente porque ¿es que no se implementaron en su día todas las modificaciones de diseño?

Si admitimos que existe una gradación del riesgo, esto es, de la probabilidad de accidente, esos problemas y, sobre todo los incumplimientos cuya solución se aplaza de 2009 a 2011, aumentan esa probabilidad. Sin complejos cálculos nadie puede decir cuánto, pero a falta de este conocimiento han de pesar otros elementos como el grado de aceptación del riesgo y la necesidad de la electricidad producida por la central.



Cabía esperar, al menos, una paralización cautelar de la central.

CONCLUSIONES:

¿Para qué?

Como he indicado más arriba, a falta de una estimación más precisa del riesgo de accidente, la decisión de si debe asumirse o no la presente situación depende de la necesidad de la central y de los beneficios que otorga. Y, como también se ha dicho, es lógico que los beneficiarios directos apuesten por la continuidad. Así pues, esta decisión debería basarse más en los intereses de la sociedad que en los intereses particulares de los propietarios de la planta o de sus trabajadores. Si bien, estos últimos deberían ser desde luego tenidos en cuenta.

Garóña produce electricidad, pero su aportación al suministro es ciertamente pequeña: el 1,3%. Y, por tanto, su contribución a la reducción de emisiones de gases de invernadero es también pequeña, pues sólo alcanza el 0,25%. Esto significa básicamente que no vale la pena correr riesgos. Los problemas de seguridad de Garóña, que fuerzan a fuertes inversiones en el futuro próximo para mantenerla en funcionamiento y a continuas inspecciones que aumentan las dosis radiactivas recibidas por los trabajadores, y la producción de residuos radiactivos de alta actividad para los que aún no existe solución satisfactoria, no compensan los beneficios que la central aporta.

Además, algunos de estos problemas son asumidos por la sociedad española en su conjunto, o por los organismos públicos y empresas públicas que los representantes políticos de la sociedad han construido.

¿Cuál es el plazo más sensato para el cierre? Desde luego, para minimizar el riesgo el cierre debería ser instantáneo. Pero cabe también tener en cuenta que se ha autorizado a Nuclenor a realizar una nueva recarga de combustible. Este hecho, unido a que el dictamen del

CSN exige las primeras inversiones en 2011, indica que no debería prolongarse la vida de la central más allá de ese año.

La decisión, supuestamente salomónica, adoptada por el Gobierno de permitir que la central funcione hasta 2013 es sencillamente equivocada. Por un lado no queda claro el criterio en que se basa. Por otro lado forzará a Nuclenor a realizar una serie de inversiones en 2011 que sólo podrá rentabilizar en dos años. Finalmente, es posible que el presente Gobierno pierda las elecciones de 2012, lo que significa que la decisión adoptada puede no ser operativa. Sobre todo si gana el Partido Popular y lleva a la práctica su anuncio de revocar la decisión del Gobierno.

Finalmente, no parece sensato apostar como baza de futuro por una fuente de energía como la nuclear que no tiene resueltos todos sus problemas técnicos, cuyo combustible es escaso y está mal distribuido y que implica la realización de enormes inversiones de dudosa recuperación. En estas circunstancias parece más sensato ir prescindiendo escalonadamente de las centrales nucleares y permitir la aparición en el sistema eléctrico de nuevas fuentes de energía, como las renovables. Éstas tienen algunas especificidades como la generación distribuida y la intermitencia en la producción, lo que obligará al desarrollo de tecnologías de almacenamiento eléctrico. El empeñarse en mantener en funcionamiento las centrales nucleares no es sensato porque, de hecho son un obstáculo para el desarrollo renovable por su falta de flexibilidad para entrar y salir de la red y por las enormes inversiones que requieren. Así que es mejor que vayamos cerrando las nucleares gradualmente en lugar de empeñarnos en mantenerlas en funcionamiento más allá de lo sensato.



EL HUNDIMIENTO DE LA CIENCIA EN ESPAÑA

Federación de Jóvenes Investigadores – PRECARIOS

En el año 2002, ya designado candidato a la Presidencia del Gobierno, el Sr. Rodríguez Zapatero declaraba que “es imprescindible que la sociedad asuma que los investigadores son trabajadores”ⁱ. Siete años más tarde, su Gobierno sigue sin reconocerlo. No sólo eso, sino que ha torpedeado medidas que podrían solucionar la situaciónⁱⁱ y ha excluido conscientemente a amplios grupos

de investigadores de la protección de la tímida normativa que, al verse presionado por el colectivo, acabó aprobando en el 2006. Como consecuencia, nos encontramos en pleno siglo XXI con personas que, bajo un gobierno autodenominado socialista, siguen trabajando sin contrato, sin cotizar a la Seguridad Social, sin cobertura de riesgos laborales, etc.

i http://www.elpais.com/articulo/sociedad/Zapatero/pide/becarios/investigacion/tengan/contrato/elpepisoc/20021129elpepisoc_4/Tes

ii http://www.precarios.org/tiki-read_article.php?articleId=173



Además de lo ya indicado, la Administración Pública ha batido records de improvisación e ineficacia. La Subdirección General que gestiona gran parte de los contratos pre y postdoctorales ha cambiado de Ministerio de adscripción dos veces en un año, con la consiguiente paralización administrativa. El plazo de resolución de determinadas ayudas supera los ocho meses (cuando la convocatoria establece un plazo máximo de tres) y su gestión se convierte en un circoⁱⁱⁱ. El calendario de convocatorias es una aleatoria ruleta rusa y éstas aparecen según el humor y las chapuzas de los gobernantes, como se demuestra con las ayudas postdoctorales: la convocatoria de 2009 lleva ya siete meses de retraso mientras los investigadores a la espera de que se publique no reciben ninguna información sobre cuándo sucederá.

El Gobierno de José Luis Rodríguez Zapatero se comprometió a un espectacular aumento de la inversión en I+D. Si ya en poco se notaron esos fuegos de artificio en la situación de los investigadores, ahora^{iv} se nos anuncia ni más ni menos que un recorte del 37% en la partida de I+D+i de la que salen las becas y contratos de investigación competitivos o los proyectos de inves-

tigación. Parece que el dinero que sí tiene el Sr. Zapatero para iniciativas como el Plan E falta para la investigación científica; seguramente es culpa nuestra, porque, a diferencia de un paseo marítimo o una farola, un investigador no puede ser inaugurado ni se ponen primeras piedras del reconocimiento de los derechos sociales.

Es sorprendente que, constatado el fracaso del modelo económico asentado en el ladrillo y en un momento en que las principales potencias refuerzan su apuesta por una economía innovadora y orientada a sectores emergentes, el Gobierno se empeñe en proseguir un rumbo errático al borde del abismo. El Presidente del Gobierno ha decidido seguir fielmente la afirmación de Benjamin Franklin: "la única cosa más cara que la educación es la ignorancia". La Federación de Jóvenes Investigadores no está dispuesta a permitir este HUNDIMIENTO DE LA CIENCIA EN ESPAÑA, planteando, si fuera necesario, la movilización general de los científicos.



ESO QUE INVESTIGAS, ¿PARA QUÉ SIRVE?

Daniel Aguilar

Instituto Municipal de Investigación Médica, Barcelona
daguilar@imim.es

Seguramente cualquier científico que no se dedique a alguna investigación de relevancia social habrá tenido que contestar a esta pregunta alguna vez. ¿Para qué sirve investigar los agujeros negros o los cuásares, que están tan lejos de la Tierra? ¿Para qué gastar dinero desenterrando huesos de dinosaurio? ¿Por qué estudiar la genética de un alga sin ningún valor? Mientras haya gente muriendo de cáncer o padeciendo alzheimer, ¿qué sentido tiene gastar tiempo y dinero en eso?

¿Cómo respondemos los científicos a estas acusaciones de inutilidad de nuestro trabajo? Primero tendríamos que definir qué se puede considerar "ciencia útil". Creo que una definición socialmente aceptada sería que la ciencia es útil cuando ayuda a mejorar el bienestar del ser humano (entendiendo como bienestar el bienestar físico, material y mental; ya se sabe: "Tres cosas hay en la vida..."). Por lo tanto, cualquier investigación no directamente relacionada con alguno de

estos tres aspectos corre el peligro de ser cuestionada. Esto es lo que lleva a algunos científicos a echar mano de argumentos posibilistas del tipo: los griegos inventaron el motor de vapor en el siglo primero antes de Cristo, pero no lo desarrollaron al no encontrarle utilidad. El motor de vapor era, pues, un invento inútil en su época. Godfrey Hardy dedicó buena parte de su carrera a estudiar los números complejos, un campo de las matemáticas considerado en su época como una simple curiosidad, incluso por él mismo ("*Nunca he hecho nada útil*", llegó a afirmar). Sin embargo, décadas después sus abstracciones matemáticas tienen gran aplicación en la informática y la ingeniería. Internet surgió como un derivado inesperado de la tecnología militar de la Guerra Fría. Gracias a la carrera espacial ahora tenemos GPS, teléfonos móviles, etc. Estas son justificaciones comunes de la utilidad de investigaciones sin aparente beneficio inmediato. Pero ¿son justificaciones acertadas?

iii http://www.precarios.org/tiki-read_article.php?articleId=177

iv http://www.elpais.com/articulo/sociedad/Alarma/comunidad/cientifica/recortes/investigacion/elpepisoc/20090910elpepisoc_2/Tes



Creo que, en general, no. Aún siendo ciertas en algunos casos, me parecen justificaciones muy lábiles, que puede dar la impresión de que hacer ciencia es un “probar a ver qué pasa”. Partamos de la base que la investigación científica es una empresa por definición incierta. No se puede pedir a un investigador que asegure de antemano que su hipótesis será correcta, porque si tuviéramos esa certeza no tendría sentido investigar. Pero, aún así, se investiga con un objetivo. Ni se puede “investigar por investigar” ni se puede dar la sensación de que eso es lo que se hace. ¿Cuántas veces suena la flauta por casualidad? ¿Cuántos Godfrey Hardy hay en el mundo? Eso que investigas, ¿para qué sirve? Pues no lo sé, quizá algún día cure el cáncer o prevenga la calvicie o algo.

¿Qué argumento usamos para defendernos, entonces? ¿O es que no tenemos defensa? A mí me parece mucho más razonable decir que toda investigación sería contribuye a expandir el conocimiento humano. Incluso viéndonos obligados a rechazar una hipótesis estamos aportando algo nuevo a la base de datos (y digo “viéndonos obligados” con toda la intención: a todos nos gusta ver nuestra hipótesis confirmada). ¿Realmente las teorías de Godfrey Hardy fueron inútiles hasta que los ingenieros les encontraron una utilidad? ¿El estudio de un alga exótica está condenado a ser un desagüe de dinero y recursos? ¿O si mañana se descubre que esa alga cura el cáncer toda su investigación quedará retroactivamente justificada? Quizá conocer la fotorespiración de una especie de algas no le salvará nunca la vida a nadie, pero la humanidad tiene ahora un nuevo ladrillo sobre el que ir construyendo el castillo del conocimiento. El conocimiento es un componente del bienestar humano, ya que sacia la pulsión de la curiosidad. Precisamente, la civilización occidental dejó atrás la oscuridad del medioevo cuando surgieron pensadores dedicados a las cuestiones menos mundanas.

Y aún así, éste es un argumento difícil de sostener ante el ciudadano medio. Es evidente que el objetivo que persigue el ser humano desde el origen de los tiempos es conocerlo todo. Pero lograr ese objetivo pide dinero y recursos, que son limitados, y eso significa establecer prioridades. Ejemplos de investigaciones escandalosamente inútiles (como mínimo en apariencia) son presentados periódicamente en los medios de comunicación, que incluso les otorgan premios (por ejemplo, los Ig Noble Prizes, léase *Ignoble Prizes*). Seguramente interesará a algunos saber que las tácticas futbolísticas no han variado en los últimos tres mundiales (estudio realizado en la

Universidad del País Vasco y publicado en una revista de psicología), pero todos podemos pensar en alguna aplicación más útil para el dinero que se ha invertido en esa investigación. ¿Cuánto dinero público se ha de dedicar a cada cosa? De los recursos públicos han de responder los políticos ante la sociedad, que probablemente les pedirá más dinero para la biomedicina y menos para la psicología deportiva o la ficología (por eso algunas solicitudes de financiación parece que prometan la cura del cáncer, el párkinson y el SIDA en un solo paquete). Por otro lado, la investigación financiada por empresas privadas necesita, por la propia naturaleza de estas organizaciones, garantía de aplicación a corto o medio plazo. Los departamentos de investigación han de acabar reportando a un consejo directivo, que sólo les financiará si tiene unas garantías de rentabilidad. Esto es especialmente acusado en campos como la investigación en nuevas tecnologías, donde las novedades caducan rápidamente. Al fin y al cabo, la regla básica de la economía es que los beneficios son los ingresos menos los costes: si la investigación no proporciona ingresos, reduce los beneficios. Por ello, el sector privado suele fomentar líneas de investigación eminentemente aplicadas y conservadoras.

Con todo, creo que es deber de las instituciones públicas apoyar la investigación del alga exótica. Y no sólo porque el sector privado no lo hará, sino porque investigar es formarse. Un *predoc* que participa en una investigación no sólo obtiene los beneficios de una publicación, sino que aprende a organizarse y a pensar críticamente. Lograr esto forma parte del compromiso de la administración con la sociedad. Naturalmente, con proporción: el cáncer (o el párkinson o el SIDA) son *realmente* una prioridad. Eso que investigo ayuda a convertir a jóvenes doctorandos en buenos investigadores. Esa podría ser una respuesta complementaria, que propongo desde aquí.

¿Y también debe la administración pública subvencionar la investigación sobre el mundial de fútbol? Preguntas como ésta hacen que etiqueta de ciencia “prescindible” o “imprescindible” (por no decir inútil o útil) continúe ahí. A aquellos que no dedican sus esfuerzos a investigar en un área de impacto social no les quedará más remedio que continuar poniendo cara de póquer cada vez que algún amigo, pariente o conocido les salga con la dichosa preguntita: Eso que investigas, ¿para qué sirve?





¿ES MISIÓN DEL INVESTIGADOR FUNCIONARIO CONSEGUIR FONDOS PARA LA I+D?

Juan F. Gallardo

Socio de la AACTE y de la A.P.I.
jgallard@usal.es

Es poco discutible que desde la aparición de la ya superada **Ley de la Ciencia** (Ley 13/1986) hasta el año 1991 hubo una irrupción de la Ciencia española en el mundo, pasando casi más bien la cola hasta el lugar donde, más o menos, ocupa hoy día. A ello contribuyó sin duda el incremento del gasto de la I+D sobre el PIB, que pasó de alrededor del 0,3 al 0,7 % en ese corto periodo, pero sin modificar el sistema de investigadores funcionarios.

¿Cuáles fueron entonces los limitantes del estancamiento de la I+D española? Pues a pesar del frenazo que supuso la crisis del '92 (quizás menos grave que la que estamos pasando...) el I+D español aún se relanzó significativamente posteriormente hasta el inicio del Siglo XXI, a pesar que sólo se logró mover ya ese porcentaje unas décimas (oscilando desde entonces en torno de 1,0 %, ahora aún menos según *EL PAÍS*). El Gobierno del PSOE de los años ochenta, pensando en un crecimiento sin límites de los fondos para la I+D, pasó casi todo el presupuesto disponible del CSIC al capítulo de personal (plazas de funcionarios), lo que tuvo dos consecuencias: a) Incremento vertiginoso de plazas funcionariales en este Organismo (que se colocó en cabeza de los OPIs) y de *papers* emitidos por los nuevos científicos funcionarios (ascendiendo significativamente el lugar del CSIC en el *ranking* mundial); y b) Pero también la ruina ("descapitalización") del CSIC, al no disponer ya de fondos propios para su funcionamiento holgado (o establecer programas científicos propios), **dependiendo entonces el Organismo de los dineros que pueden conseguir sus funcionarios-investigadores** (ahora poco o, en todo caso, insuficiente...; y paliado durante ciertos años por recibirse mucho dinero a través de la U.E., bien por medio de Proyectos, o por los fondos estructurales comunitarios que se emplean mayormente en ladrillo y equipamiento).

Luego, al menos en el caso del CSIC, el tema del progreso de la Ciencia española **no** fue, ni es, **un problema de funcionarios o no**, como se viene repitiendo muchas veces, sino de un Organismo arruinado que depende de la buena voluntad de sus funcionarios o contratados en una búsqueda angustiosa por dinero público (privado, el menos). Es muy diferente al caso del CIEMAT o al INIA, que disponen de fondos propios.

Luego, en todo esto, el funcionariado personal del CSIC no es precisamente lo que más falla en el sistema I+D español. Fallan otras muchas cosas aún con mayor

gravedad... Antes de plantearse si el personal del CSIC debe ser o no funcionario, otras muchas cosas habría que solucionar muy, muy primeramente.

En el caso de la Universidad se fracasó en cuanto a la investigación (salvo honrosas excepciones) por la insuficiencia de las distintas Leyes de Universidades respecto a diferentes puntos: a) No contemplar técnicos de investigación o carrera investigadora; b) Recaer el peso de la justificación de su funcionariado mayormente en la carga de clases de pregrado impartidas; c) No contemplar como carga lectiva el Tercer ciclo; d) No incentivar-se mercedamente la investigación en la carrera docente por la preponderancia de la endogamia o clientelismo universitario; e) El fracaso político en los intentos de crear un Ministerio de Ciencia y Universidades; entre otras.

Lo indicado anteriormente es, pues, **importantísimo** tenerlo en cuenta en cualquier nueva Ley de la Ciencia o Estatuto del investigador, dado que según la Ley de la Administración Pública los **funcionarios deben recibir de la Administración los medios suficientes para desarrollar su labor**. Y éste no es el caso en el I+D en general (ni mucho menos el caso del CSIC).

Ni la Ley de la Ciencia en vigor, ni la nueva proyectada, parece darse cuenta de ese importantísimo detalle. **La misión del Investigador no es**, ni tiene como función como funcionario, **conseguir medios económicos** (como funcionario que es, incluso contratado o laboral); su misión es investigar. Luego, si se desea que siga siendo funcionario (o aunque se desee que sean contratados renovables, cosa muy en discusión por los derechos laborales y lo que se lee a diario de los costos de despidos...), es forzoso indicar que cualquier **nueva Ley de Ciencia contemple esa nueva función del funcionario** (o del contratado investigador): **Que una de sus funciones es o será** (además de investigar) **conseguir dinero**. Si eso no aparece en la nueva Ley estaremos con Leyes y realidades separadas como hasta ahora. Pero una consideración revolucionaria como ésta en la nueva Ley de Ciencia apartaría aún más a la Universidad de la I+D y, por fuerza, cambiaría la relación laboral (y salarios) de los investigadores del CSIC, pero no cabe duda que sería **más realista** sobre lo que sucede en España respecto a la I+D: **El investigador pasa tanto tiempo o más buscando y logrando dinero que investigando realmente**.



Pero hay también que recordar que **no ser investigador funcionario en la España actual es peligroso**, por cuanto es la única garantía que tiene el investigador (concebido como actualmente) como individuo de lograr sus propios fondos (con más o menos éxito) para investigar sin peligrar su cabeza: El sueldo medio de la Europa del euro es más de 32000 euros, el de España no llega ni a 22000. ¿Se cree alguien que a un investigador contratado se le va a pagar conforme a la indicada media europea? Me temo que no. **Y si se incluye en sus funciones buscar dinero habría que pagarle aún más o mejor**, porque en realidad se le está reconociendo mayormente como empresario (más que como simple investigador).

La realidad es que tenemos sueldos bajos dentro de la gama europea (y que ello no va a cambiar a corto plazo); la realidad es que, funcionarios o contratados, actualmente no tenemos entre nuestras funciones legalmente adjudicadas la de buscar dinero, que es responsabilidad de la Administración procurarlo; la realidad es que a pesar de ello un sector de funcionarios (exagerando, la mitad de ellos) del CSIC han hecho lo imposible por lograr dinero y publicar internacionalmente, lo que ha ocasionado colocar a España bastante alto en emisoras de 'papers' (cosa que sea dudoso ayude mucho al desarrollo del país, si ese es el único producto logrado); y la realidad es que si no se contempla (y reconoce legalmente) que la Administración española no va a proporcionar los medios suficientes para poder investigar (cosa que no se puede en la

actualidad ni en la Universidad, ni en el CSIC), si no que continuará el actual "sálvese quien pueda" en apañar algunos euros donde los haya, en **la nueva Ley de Ciencia se debería plasmar como función primordial del científico, no sólo la de investigar, si no que también la función de conseguir dinero** y reconocerse en la Ley. Si el MCINN no lo hace, la nueva Ley ya no será real, si no otra nueva entelequia.

Sea, pues, aviso para caminantes en la vía de la política científica. De todas formas, el MICINN (en el estado actual) ya no tiene sentido; quizás se debería volver a la vieja petición que (lo que queda de) este Ministerio pase a Presidencia de Gobierno, aunque sea como Secretaría de Estado; ahí podría tener un mayor peso político que ser un mero apéndice del Ministerio de Industria. Paradójicamente esto fue una vieja reclamación... ¡de los años '70-'80! O quizá más eficaz que mantener un Ministerio 'florero' de Ciencia sería simplemente establecer en esa nueva Ley sobre la Ciencia que el presupuesto público para I+D español nunca puede ser inferior, por ejemplo, al 1,8 % del PIB (algo así como se le otorga a la astuta Iglesia con 'su' 0,7 %, a pesar de ser un Estado teóricamente laico).

Trujillo, uno de Agosto de 2009.



LA "INVESTIGACIÓN DESESTRUCTURADA" O LA INVESTIGACIÓN SEGÚN SARKOZY

Ricardo González Villaescusa

Socio de la AACTE

ricardo.gonzalez-villaescusa@univ-reims.fr

La ultra-liberalización de la investigación y de la educación superior del gobierno francés no conoce límites. El CNRS ya no es lo que fue, un centro único, y las distintas unidades de investigación van convirtiéndose poco a poco en institutos de investigación. El Centro Nacional de Arqueología Urbana, el CNAU, tampoco escapa a esta política. El CNAU⁹ tiene su origen en el desarrollo de la arqueología urbana. Una disciplina originada como consecuencia del desarrollo urbano de postguerra y de la reconstrucción de las ciudades devastadas que implicaba la destrucción de los denominados "archivos del suelo" por el primer director del CNAU, Henri Galinié.

La sensibilización ciudadana y la transformación de esa sensibilidad en leyes y prescripciones de arqueología de urgencia supuso la proliferación de excavaciones arqueológicas en las ciudades y la necesaria labor de homogenización y establecimiento de protocolos de intervención (excavación, registro, interpretación...) de una disciplina, cuyo principal método, la excavación, es destructivo, porque altera la disposición o hace desaparecer su objeto de estudio, las estructuras arquitectónicas, los restos humanos, o la matriz de tierra que los envuelve.

Según informa el sindicato CGT¹⁰, la ubicación del Centro Nacional de Arqueología Urbana (CNAU) en el seno

⁹ <http://www.culture.gouv.fr/culture/cnau/fr/index.html>

¹⁰ http://www.cgt-culture.fr/IMG/pdf/2009_06_04_Sgpa_communique_Alerte_CNAU.pdf



de la futura Dirección General del Patrimonio estaba prevista por el departamento transversal de la dirección de la política de investigación y ciencia. A finales de abril, los sindicatos fueron informados de que el CNAU sería adscrito a la Subdirección de Arqueología (SDA). Más tarde, como consecuencia de la ausencia del CNAU en el proyecto de decreto sobre la organización de la futura SDA, el personal preguntó a la administración, la cual informó oralmente y confirmó la reasignación de personal a uno o más departamentos de la SDA y la desaparición del CNAU como estructura y del puesto de director. En definitiva, no hace más que confirmar la función de la arqueología urbana como una labor técnica sin una reflexión y construcción científica.

Los diferentes actores de la comunidad arqueológica, de las universidades, los centros de investigación del CNRS, los departamentos de arqueología de las administraciones locales (ayuntamientos, mancomunidades, provincias) con responsabilidad en la gestión arqueológica han reaccionado con la siguiente carta¹¹ dirigida al ministro de Cultura Frédéric Mitterrand, sobrino del antiguo presidente francés.

"[...] fundado en 1984, [el CNAU] es un servicio central del ministerio de Cultura y Comunicación, dependiente de la Dirección de la arquitectura y del patrimonio: subdirección de la arqueología, etnología, del inventario y del sistema de información.

El CNAU es un centro de reflexión metodológica y de información que contribuye a resolver los problemas de erosión del patrimonio arqueológico de las ciudades y a difundir los resultados de la investigación en Francia (...).

El CNAU colabora igualmente en las investigaciones iniciadas por otros organismos (...), es frecuentemente solicitado para facilitar informaciones sobre temáticas específicas y contribuye al diálogo entre arqueólogos y promotores.

En este marco, el CNAU es un centro de documentación e información, de investigación y formación. Además de numerosas publicaciones de carácter metodológico, el CNAU publica cada año el anuario de excavaciones

arqueológicas urbanas. El CNAU garantiza la dirección científica y la edición de la colección Documentos de evaluación del patrimonio arqueológico de las ciudades de Francia (...)

Con 11000 publicaciones y ediciones periódicas, 1060 expedientes y 27210 referencias, es el único centro que reúne una documentación de tal magnitud sobre la arqueología y la historia urbanas. Investigadores y estudiantes franceses y extranjeros son acogidos frecuentemente en su seno.

Su especificidad temática sobre el espacio urbano, en la confluencia disciplinaria entre arqueólogos, urbanistas y geógrafos, concede al CNAU un papel central en la investigación en arqueología e historia urbanas. Los objetivos científicos del CNAU son numerosos, desde la aportación del conocimiento del espacio urbano en la diacronía y los sistemas urbanos, sobre los útiles y métodos de análisis de las ciudades, sobre el rol del patrimonio en las políticas de ordenación y desarrollo urbano. (...)

Una estructura como el CNAU es indispensable para unificar una comunidad interdisciplinar con el objetivo de suscitar nuevas pistas de investigación. Por ejemplo, desde 2001, le CNAU, ha puesto en marcha un taller de cronocorematología urbana, donde se reúnen arqueólogos, historiadores y geógrafos que han propuesto un procedimiento innovador de modelización del espacio urbano desde sus orígenes a nuestros días (...).

La programada disolución del CNAU será un signo del abandono de la misión de coordinación de la reflexión metodológica y de prospectiva. La desaparición de un organismo como éste, único en Europa, supondrá una pérdida considerable para la investigación arqueológica urbana (...). Por ello nos dirigimos a usted con el objetivo de que se mantenga el Centro Nacional de Arqueología Urbana."



¹¹ <http://sauvonslecnau.free.fr/>

Con espíritu crítico y constructivo,
desde la diversidad, como amalgama de profesionales
de todos los estamentos y disciplinas científicas,
¡Luchamos por conseguir el progreso del sistema español de I+D!



Tu opinión es importante
¡Hazte de la AACTE!

Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España. <http://www.aacte.eu>



NOTICIAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

EL ECLIPSE SOLAR MÁS LARGO DEL SIGLO

El pasado 22 de julio de 2009 se producía lo que para muchos es uno de los fenómenos más bellos de la naturaleza: un eclipse total de Sol. Este espectáculo comienza con el oscurecimiento gradual del cielo a medida que el disco lunar va cubriendo al de nuestro Sol, introduciendo al espectador en una sombra que suele medir decenas o cientos de kilómetros sobre la superficie terrestre, según las posiciones de los tres astros. La extraña calma y los colores que se generan en el paisaje culminan en el momento en que el último rayo de Sol desaparece en el cielo. En ese momento es fácil creer que, en la antigüedad, para algunas culturas esa imagen representara la señal del fin del mundo. En la fase total, además, aparece súbitamente la luz de la corona solar: las capas más altas de la atmósfera del Sol, que se muestran como un halo de luz envolviendo la silueta oscura de la Luna. Ver y fotografiar esta escena es el motivo por el que muchos “cazadores de eclipses” viajan cada año alrededor de la Tierra hasta los lugares donde se producen eclipses totales de Sol.

El de este año tenía además el aliciente de mostrar la fase de totalidad más larga de los que sucederán en este siglo XXI, con una duración máxima de 6 minutos y 38 segundos visible desde un punto del océano Pacífico al sur de Japón. La sombra de la Luna recorrió varios países asiáticos, entre ellos China, Japón, la India, Nepal, Bután, Bangladesh y las Islas Marshall. La posición de la Luna, próxima al perigeo, fue uno de los factores que produjeron la larga duración del eclipse. La meteorología, marcada por la época de monzones en muchas de las zonas por donde pasaba la banda de totalidad, hizo decidirse a la mayoría por ir a observar el eclipse desde algunas grandes ciudades de China, como Shanghai o Chongqing.

Fue a varios kilómetros al norte de Chongqing desde donde la expedición Shelios, en colaboración con la Junta de Extremadura, realizó una retransmisión en directo del evento que pudo seguirse a través de la página web www.eclipsesolar.es, desde donde más de medio millón de personas pudo disfrutar del fenómeno. A pesar de algunas nubes al inicio de la fase parcial, finalmente la meteorología se comportó y pudo hacerse llegar a todo el mundo la emoción y las sensaciones

que produce el momento de la totalidad del eclipse.

Hacer llegar la astronomía a todo el mundo es precisamente uno de los principales objetivos que toda la comunidad astronómica, formada por profesionales y aficionados, se ha propuesto durante este 2009, el Año Internacional de la Astronomía. El desconocimiento general de esta ciencia contrasta con la gran curiosidad que suele suscitar al público más general. Es este hecho lo que suele producir una gran aceptación de las actividades que tienen que ver con la divulgación de la astronomía, pretendiendo acercar el conocimiento sobre los astros al gran público. Fenómenos celestes como este eclipse pueden, además, ayudar a hacer despertar la curiosidad a la sociedad y generar más preguntas que, al fin y al cabo, son las que impulsan el desarrollo de esta ciencia.



Banda de observación del eclipse total de Sol (NASA)

Enrique Herrero Casas
Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, Universitat de Barcelona



CONGRESO SOBRE COLABORACIÓN ENTRE PROFESIONALES Y AFICIONADOS EN INVESTIGACIÓN ASTRONÓMICA

[M.A.C.] La Sociedad Española de Astronomía organizará en Córdoba el 20 y el 21 de Noviembre el primer congreso sobre colaboración entre profesionales y aficionados en investigación astronómica. España ha pasado en las últimas tres décadas desde una posición anecdótica en el contexto internacional a ser casi una potencia (octavo país en producción de artículos y décimo en citaciones), gracias a la instalación en nuestro país de una red de telescopios internacionales. A la vez, los astrónomos aficionados han alcanzado un potencial observacional considerable merced a los avances tecnológicos: detectores CCD de última generación, computadores potentes y asequibles, control remoto de observatorios a través de internet, entre otros. Se abre así una gran oportunidad para la colaboración entre astrónomos profesionales y aficiona-

dos, que ya ha comenzado a dar sus frutos.¹ Sin embargo, la comunidad científica profesional desconoce en profundidad el potencial de sus colegas amateur, por lo que en este congreso se confeccionará un listado de telescopios e instrumental de la comunidad amateur, se discutirán las líneas de investigación en la que la participación amateur pueda ser de mayor interés e impacto y se creará un protocolo de comunicación entre los dos colectivos. Los conferenciantes invitados representan a ambas comunidades. Se puede encontrar más información en el sitio web del congreso.²



¿SEVERA SEQUÍA DE SEVEROS? 50 AÑOS DE LA CONCESIÓN DEL PREMIO NOBEL A SEVERO OCHOA

[A. N.] A los largo de los más de cien años de historia de los Premios Nobel, apenas siete españoles han alcanzado tan alto honor. Entre estos sólo dos, Santiago Ramón y Cajal (1906) y Severo Ochoa de Albornoz (1959), han sido premiados en un área científica. De hecho, tan sólo el primero era español, pues don Severo había adoptado la nacionalidad americana en 1956. En resumidas cuentas: de los 192 premiados hasta 2008, sólo dos habían nacido en España. Por añadidura, uno de ellos forjó su carrera científica en los EEUU, de modo que, con total legitimidad, los estadounidenses lo consideran un premio Nobel americano.

Independientemente de su nacionalidad, Severo Ochoa fue galardonado por sus estudios sobre el metabolismo energético centrados en las moléculas fosforiladas. Entre sus muchos logros está el descubrimiento de varias enzimas del Ciclo de Krebs. En 1954 descubrió la polinucleótido fosforilasa, enzima capaz de sintetizar el RNA, intermediario entre proteínas y DNA, accediendo a la clave necesaria para descifrar después el código genético. Fue este des-

cubrimiento el que le valió el Nobel de Fisiología y Medicina, que compartió con su discípulo Arthur Kornberg, el descubridor de la DNA polimerasa.

Don Severo no había renunciado a la nacionalidad española, y su prestigio hizo que España intentara recuperarlo creando en Madrid el Centro de Biología Molecular en 1971. Desde 1974 Severo Ochoa se trasladó como Investigador Distinguido al Instituto Roche de Biología Molecular en Nueva Jersey, jubilándose en 1975 de la Universidad de Nueva York e incrementando su interacción con el Centro de Biología Molecular. A partir de 1985, Severo Ochoa volvió definitivamente a España como Director Honorario de dicho centro, que por entonces ya llevaba su nombre: "Centro de Biología Molecular Severo Ochoa", cargo que ocuparía hasta su muerte en 1993.

Se trata pues de una impresionante trayectoria que, como la de Don Santiago, ilustra la historia de pobres cosechas obtenidas por la ciencia Española y hace resaltar con especial crudeza los 50 años de severa sequía que -en cuanto a premios Nobel- vie-

¹ Ver, por ejemplo, Apuntes, num 27 (2008), 25.

² <http://www.iac.es/congreso/proam/pages/programa.php>



nen aquejando a nuestro país. Incluso debería hablarse de un siglo de sequía, puesto que es difícil imaginar que Severo Ochoa hubiera conseguido sus resultados fuera del sistema estadounidense. En este sentido, resulta preocupante observar que cuando se habla de candidatos españoles al premio Nobel en un área científica, ya sea Fisiología y Medicina, Química, Física o Economía, estos hayan desarrollado la mayor parte de sus carreras fuera de España.

Joan Massequé e Ignacio Cirac son los dos ejemplos más recientes de este grave fenómeno.

¿Qué es lo que falla? ¿A qué puede deberse esta sequía de Nóbeles? Las causas son múltiples y leer el editorial de este número de *Apuntes* permite hacerse una somera idea de algunas de ellas. En cualquier caso, está claro que la sequía seguirá si la situación no cambia. Es obligación de todos conseguirlo.

BIONANOCOMPOSITES COMO ADYUVANTES EN VACUNAS DE LA GRIPE

[M.A.C.] Un equipo de investigadores del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (CSIC) y del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria han desarrollado un nuevo material que puede ser usado para la fabricación de vacunas más eficaces y de fácil administración.³ Se trata de un bionanocomposite, es decir, un material híbrido organo-inorgánico derivado de la interacción entre un biopolímero (en este caso goma de xantano) y un sólido inorgánico nanométrico (sepiolita), sobre el que es posible inmovilizar virus sin que pierdan su bioactividad. El concepto se ha probado con virus de gripe (H1N1), aunque en principio podría ser válido para otras enfermedades, SIDA incluido. Los ensayos preliminares sobre ratones demuestran que estos materiales pueden ser utilizados como adyuvantes efectivos en vacunas de bajo coste, aumentando la respuesta inmune contra la gripe y con la posibilidad de administración intranasal e intramuscular.

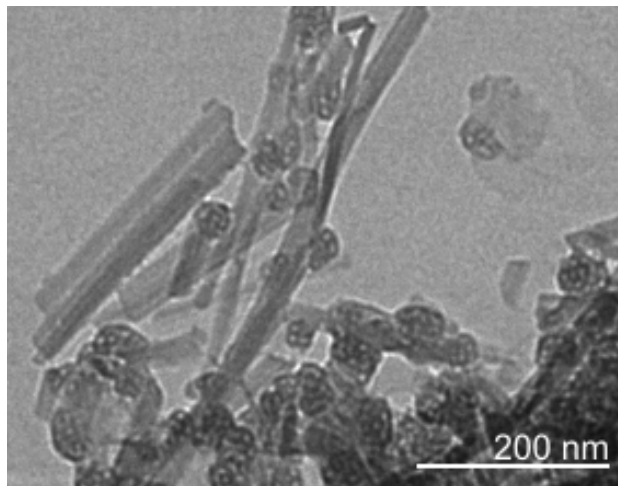


Imagen de microscopía electrónica de transmisión del conjunto bionanocomposite/virus, mostrando una distribución homogénea de viriones sobre las fibras de sepiolita modificadas. Imagen cortesía de los autores del trabajo.

La sepiolita es un silicato de magnesio microfibroso muy abundante en la región de Madrid. La interacción por enlace de hidrógeno de sus grupos silanoles

superficiales, Si-OH, con los grupos hidroxilo de la goma de xantano, un polisacárido producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*, permite el auto-ensamblado del biohíbrido. El biopolímero recubre completamente las fibras de silicato, lo que aumenta la biocompatibilidad de la sepiolita y permite la inmovilización posterior de virus sin pérdida de actividad y con una distribución homogénea de viriones sobre las fibras. Tanto la goma de xantano como la sepiolita son considerados inocuos, no representando un riesgo para la salud. El material compuesto bionanocomposite/virus forma en agua dispersiones coloidales estables durante semanas, y su separación en dos fases en períodos muy prolongados es reversible mediante una mera agitación. La estabilidad de estas dispersiones, la facilidad de administración (spray nasal), el aumento de respuesta inmune y la reducción de costes presentan un gran atractivo para situaciones en las que se requieran vacunaciones masivas. Los autores del estudio

consideran que este tipo de materiales pueden además tener utilidad para la fabricación de biosensores, bioreactores y sistemas de dosificación de fármacos.

³ E. Ruiz-Hitzky, M. Darder, P. Aranda, M.Á. Martín del Burgo, G. del Real, Adv. Mater., publicado en línea, 24 de Junio de 2009, DOI: 10.1002/adma.200900181



LA ORINA COMO FUENTE RENOVABLE DE HIDRÓGENO

[A.M.A.] Como es bien conocido, el hidrógeno (H_2) ha sido propuesto como un combustible (o vector energético) de uso generalizado en el futuro, considerando las posibles ventajas medioambientales de su uso en combinación con sistemas eficientes de transformación energética, como son las pilas de combustible. Una propuesta interesante y curiosa para la producción de hidrógeno ha sido recientemente realizada por investigadores de la Universidad de Ohio (Athens, EE. UU.) dirigidos por Gerardine G. Botte⁴: la conversión de orina o urea a hidrógeno puro empleando una tecnología de oxidación electroquímica con un catalizador relativamente barato basado en níquel. La orina es uno de los residuos más abundantes en la tierra. Uno de los principales constituyentes de la orina es la urea (a una concentración de ≈ 0.33 M), considerada una importante fuente orgánica de H, C, O y N. Sin embargo, no existen tecnologías para la conversión de urea/orina en hidrógeno. Además, la orina constituye un contaminante importante al contribuir a la nitrificación de las aguas o ser hidrolizada a amoníaco que puede dar lugar a la generación de partículas tóxicas de sulfato o nitrato amónico a nivel atmosférico. En este sentido, el dispo-

sitivo electroquímico de Botte y col. plantea una propuesta completa a nivel medioambiental pues permite no sólo la producción de hidrógeno en el cátodo sino la descomposición de urea a nitrógeno con trazas de oxígeno en el ánodo mientras que el CO_2 es atrapado en la solución alcalina electrolítica en forma de carbonato potásico. Entre los diferentes electrocatalizadores ensayados (Pt, Pt-Ir, Rh, y Ni) se ha demostrado que es el níquel el que consigue mayor eficiencia en el proceso. A efectos comparativos, el proceso de generación de hidrógeno a partir de urea/orina resulta ventajoso en comparación con la electrólisis de agua en términos energéticos: se precisa aplicar un voltaje a la celda electroquímica de 0.37 V frente a los 1.23 V necesarios para la descomposición de agua, que se traduce en un coste energético de 37.5 Kwh g^{-1} frente a 53.6 Kwh g^{-1} necesarios para la electrólisis de urea y agua, respectivamente. Aunque los ensayos realizados se han efectuado con "orina sintética" (urea diluida), se reporta que el proceso ha funcionado también empleando orina humana. Sin embargo, se apunta que la técnica podría venir limitada a efectos prácticos por la rápida descomposición de la urea a amoníaco por acción bacteriana.

RESERVAS ENERGÉTICAS EN EL ÁRTICO

[A.M.A.] Una de las principales incertidumbres en relación al futuro de las diferentes posibles fuentes de energía está relacionada con las cantidades de gas y petróleo que podrían aún quedar sin descubrir en el Ártico, de particular interés para países como EE. UU. o Rusia. Recientes estimaciones de investigadores de los servicios de vigilancia geológica de EE. UU. y Dinamarca-Groenlandia, empleando una metodología probabilística de base geológica, apuntan a que el 30 % del gas natural y el 13 % del petróleo por descubrir a nivel mundial se encontrarían en esta región⁵. El círculo polar ártico engloba aproximadamente un 6 % de la superficie

terrestre, de los que un tercio está sobre el nivel del mar y aproximadamente otro tercio estaría en la plataforma continental bajo menos de 500 m de agua; el resto está en la cuenca oceánica profunda, normalmente cubierta por hielo. En la actualidad, se explotan zonas en tierra fundamentalmente en la cuenca siberiana occidental en Rusia y en la North Slope de Alaska (EE. UU.). La zona de la cuenca oceánica profunda se considera de bajo potencial petrolífero. En cambio, la zona de plataforma continental presenta características geológicas interesantes en este sentido y se estima que la mayor parte de las nuevas reservas estarían en esa zona.

MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE ELECTRODOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE MEDIANTE OPTIMIZACIÓN MORFOLÓGICA

[A.M.A.] El platino es el componente catalítico más eficiente en los electrodos de pilas de combustible de intercambio protónico para la obtención de energía a

partir de hidrógeno mediante oxidación del hidrógeno en el ánodo y reducción del oxígeno en el cátodo. Existen, sin embargo, limitaciones en estos dispositi-

⁴ Bryan K. Boggs, Rebecca L. King, Gerardine G. Botte. Chem. Commun. (2009) 4859.

⁵ D.L. Gautier et al. Science 324 (2009) 1175.



vos que impiden aumentar su eficiencia y comercialización final como sistemas de propulsión en vehículos. Una de estas limitaciones está relacionada con los impedimentos cinéticos de la reacción catódica que hacen necesario el empleo de altas cantidades de platino para la obtención de catalizadores con la suficiente área superficial y actividad. Una de las estrategias para maximizar la actividad de las nanopartículas de platino está relacionada con la puesta en marcha de métodos de síntesis que permitan maximizar el área superficial de dichas partículas mediante la optimización de su morfología, lo que a su vez busca la presencia de caras expuestas más activas para la citada reacción. Una de las principales dificultades en este sentido radica en el hecho de que las nanopartículas por debajo de 5 nm tienden a presentar formas de octaedro truncado exponiendo caras menos activas como consecuencia de la minimización de la energía libre interfacial. Dos trabajos recientes abordan esta temática empleando métodos de síntesis similares y dando lugar a morfologías dendríticas en las nanopartículas. Por un lado, Wang y Yamauchi del Instituto Nacional de Ciencia de Materiales en Tsukuba (Japón)

han sintetizado las nanopartículas dendríticas con estructura porosa y alta superficie específica mediante mezcla de K_2PtCl_4 con polivinilpirrolidona (PVP) en presencia de ácido ascórbico (que actúa como reductor del platino)⁶. Dichas nanopartículas han mostrado excelentes características electrocatalíticas para reducción de oxígeno y oxidación de metanol (reacción considerada de interés como alternativa a la oxidación de hidrógeno). Por otro lado, un equipo de investigadores de la Washington University en San Luis y el Brookhaven National Laboratory de Nueva York (EE. UU.) ha empleado también la reducción de K_2PtCl_4 con ácido ascórbico como método para cubrir nanocubos octahédricos truncados (de aprox. 9 nm) de paladio (preparados a su vez por el mismo método) con platino⁷. En este caso se ha demostrado la presencia de caras expuestas más activas en las nanopartículas de Pt-Pd dendríticas de alta área superficial. De hecho, han mostrado una actividad para reducción de oxígeno superior en dos veces y media al estado del arte (sistema Pt/C) y cinco veces superior a la primera generación de nanopartículas de platino no soportadas.

MEJORAS EN LAS PROPIEDADES DE VIDRIOS METÁLICOS

[A.M.A.] Los vidrios metálicos presentan propiedades interesantes como una mayor resistencia que el acero, que los hacen atractivos para diferentes aplicaciones (aeronáuticas, médicas, deportivas, etc.). Sin embargo, también pueden ser frágiles, lo que limita su desarrollo comercial. Un trabajo de investigadores alemanes y coreanos, dirigido por S. Pauly muestra el desarrollo de nuevos vidrios metálicos, basados en aleaciones Cu-Zr, con deformación por

compresión mejorada al tiempo que se mantiene la alta resistencia del mismo⁸. En algunos rangos de composición, las aleaciones muestran efectos de memoria de forma. Al objeto de favorecer las propiedades mecánicas, se añadieron pequeñas cantidades de aluminio o titanio que podrían favorecer la presencia residual de fases cristalinas que mejorarían la deformabilidad por compresión de los compósitos.

ADIÓS A LISBOA Y BARCELONA Y A LA "ECONOMÍA DEL CONOCIMIENTO"

[M.A.C.] La publicación por parte de la Oficina de Estadísticas de las Comunidades Europeas, EUROSTAT, de los indicadores de ciencia, tecnología e innovación correspondientes a 2007⁹ permite constatar el previsible fracaso de la Unión Europea respecto a los objetivos definidos en las estrategias de Lisboa y Barcelona. El gasto en I+D de la UE se ha estancado en el 1,85%

del Producto Interior Bruto, muy lejos del 3% que, de acuerdo con lo establecido en la estrategia de Barcelona, debería alcanzarse en 2010, con el objetivo de convertir a Europa en una "economía basada en el conocimiento". El esfuerzo europeo sigue muy por detrás del que realizan Estados Unidos y Japón desde hace años.

⁶ Liang Wang, Yusuke Yamauchi. Chem. Mater. 21 (2009) 3562.

⁷ B. Lim et al. Science 324 (2009) 1302.

⁸ S. Pauly et al. Scripta Materialia 60 (2009) 431.

⁹ Eurostat, "Science, technology and innovation in Europe" 2009 edition, <http://ec.europa.eu/eurostat>. Una selección de datos se encuentra disponible en http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/9-08092009-AP/EN/9-08092009-AP-EN.PDF



El esfuerzo más intenso lo realizaron los países nórdicos y de Europa central (Suecia 3,60; Finlandia 3,47; Austria 2,56; Dinamarca 2,55; Alemania 2,54%). El mayor incremento del gasto en el período 2001-2007 lo realizaron Austria (de 2,07 a 2,56), Estonia (de 0,71 a 1,14) y Portugal (de 0,80 a 1,18). Suecia, en cambio, baja del 4,27 al 3,60 en el mismo período, aunque sigue en cabeza. España, con un incremento conside-

table, no cambia su posición relativa dentro del ranking (15º en 2001, 14º en 2006, 15º en 2007).

Con la información disponible, la intensidad del gasto español probablemente creció en 2008, lo que constituirá un máximo histórico, puesto que en 2009 el gasto público se estancó y en 2010 puede caer hasta un 37%,¹⁰ y no cabe esperar que la iniciativa privada vaya a compensar la falta de esfuerzo público.

Gasto en I+D en 2007

| | Gasto (Millones €) | Intensidad (% PIB) | | |
|--------|--------------------|--------------------|------|------|
| | | 2001 | 2006 | 2007 |
| EU-27 | 228682 | 1,86 | 1,85 | 1,85 |
| España | 13342 | 0,91 | 1,2 | 1,27 |
| EEUU | 269098 | 2,75 | 2,65 | 2,67 |
| Japón | 118295 | 3,12 | 3,4 | - |

Fuente: EUROSTAT⁹

LA BUROCRACIA EUROPEA, TAMBIÉN EN EL ERC

[M.A.C.] Cuando se creó el European Research Council se pretendió que fuera un organismo independiente de la Comisión Europea y libre de las restricciones y la burocracia que caracterizan a ésta. La intención era crear una agencia supranacional autónoma en su funcionamiento para financiar investigación “en la frontera del conocimiento” bajo criterios de excelencia, exclusivamente. Finalmente, el ERC funciona como una agencia ejecutiva bajo control de la CE sujeta a su misma burocracia. Aunque sus primeros dos años de funcionamiento han recibido elogios, la burocracia asociada parece incompatible con su misión.

Un reciente informe,¹¹ encargado por la Comisión a un “grupo de expertos” reconoce el éxito del ERC en atraer científicos de excelencia de todas partes de Europa y de fuera como evaluadores, y no detecta injerencias políticas en las decisiones científicas, pero concluye que existen problemas fundamentales debidos a que la gobernanza, administración y operaciones siguen reglas incompatibles con la gestión de la ciencia de frontera. Por tanto, recomienda cambiar la estructura y funcionamiento del Consejo.

Muchos posibles referees de los proyectos renunciaron debido a la cantidad de burocracia asociada, que incluye enojosos procedimientos de identificación y

excesivo papeleo y también debido al retraso en los pagos de los gastos de viajes.¹² Por su parte, los receptores de financiación se han encontrado con que deben explicar con detalle a qué dedican su tiempo (¡diariamente!) y están obligados a ejecutar determinados “hitos” preestablecidos antes de recibir la siguiente partida financiera. Es difícil entender que trabajando en la frontera se puedan prever los plazos y los hitos con los que se va a ir desarrollando la investigación.

El informe establece que, incluso antes de cambiar la estructura y organización, la Comisión ha de flexibilizar las normas, de manera que se adecuen a las características de la investigación de frontera, y no al revés, y que se basen en la confianza y no en la sospecha. La financiación no debe ser a través de contratos sino de subvenciones. A más largo plazo, la propuesta incluye una reorganización de su estructura que integre ciencia y gestión y elimine la actual división artificial entre diseño e implementación de programas. Los puestos de Secretario General y Director de la Agencia Ejecutiva deben fundirse en un único puesto, que deberá ser ocupado por un científico reconocido con experiencia en gestión. El informe propone además la incorporación de más científicos de prestigio, incluso para puestos ahora reservados a personal de carrera de la Comisión.

¹⁰ El País, 10/9/2009.

¹¹ Towards a world class Frontier Research Organisation, Review of the European Research Council's Structures and Mechanisms, 23 Julio 2009, http://erc.europa.eu/PDF/final_report_230709.pdf

¹² Nature 23/7/2009



VUELTA AL “COLE” EN LA UNIVERSIDAD FRANCESA

[R.G.V.] En el número de marzo de Apuntes¹³ dábamos cuenta de la crítica situación de la universidad francesa como consecuencia del proyecto de aplicación de la Autonomía Universitaria. Los meses de conflicto, huelgas y manifestaciones se saldaron con lo que podríamos llamar una sonada derrota del profesorado y de sus reivindicaciones.

El final de curso hizo que cundiera la “cordura” entre el profesorado (¿la parte más sensata de este conflicto?) ante la posibilidad de que miles de alumnos no obtuvieran sus diplomas, títulos y certificados académicos. De forma apresurada se improvisó la recuperación de las clases no impartidas (con la consecuencia del retraso del final del curso) y las universidades, con su autonomía recién estrenada, ahorraron un dinero nada despreciable al no pagar las horas suplementarias no recuperadas. Es cierto, no obstante, que las movilizaciones limitaron los desperfectos en cuanto al estatuto del docente-investigador, al haber frenado la discrecionalidad de ampliación del servicio por parte de los presidentes (rectores) de Universidad, frenaron el descenso de creación de empleo científico y salvaron, provisionalmente, al CNRS, con una reforma menos radical de la prevista.

Sin embargo, a finales de junio Sarkozy confirmó en su puesto a la ministra Valérie Pécresse, y las elecciones europeas del 16 de julio dieron 11 puntos de ventaja del partido de Sarkozy (UMP) sobre su inmediato seguidor el Partido Socialista.

Para la vuelta a las aulas, la web de *Sauvons l'Université*¹⁴ califica de autocomplaciente el discurso¹⁵ de la ministra del pasado 17 de septiembre, que ignora que la revalorización de las becas para los estudiantes es totalmente insuficiente frente al aumento de los gastos de inscripción, transportes y sanidad. El anunciado aumento del presupuesto oculta, en realidad, una transferencia interministerial para pagar las jubilaciones del sector universitario y científico y que la autonomía de las universidades conlleva nuevas cargas presupuestarias no tenidas en cuenta en las cuentas del gobierno.

Lo cierto es que los sindicatos anuncian movilizaciones pero es de esperar que, tras los escasos resultados obtenidos, este curso sea el de la consolidación de las reformas como aseguró en su discurso la ministra.

¹³ [R.G.V.] Aires de revuelta en la universidad francesa, Apuntes de Ciencia y Tecnología, núm. 30, 2009, 24-26.

¹⁴ <http://www.sauvonsluniversite.com/spip.php?article2948>

¹⁵ <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid48910/rentree-2009-universite-avance.html>

¿Sabes de alguna noticia importante en tu área de conocimiento?

Si quieres divulgar la noticia, esta es tu sección.

Puedes escribir personalmente la noticia o enviar una nota breve sobre ella al Redactor-Jefe de la sección, Miguel Camblor (macamblor@icmm.csic.es), indicando cual es su importancia.

Aparecerá publicada en el siguiente número de *Apuntes*

ARTÍCULOS

BIODIVERSIDAD, ASEXUALIDAD Y VIRUS: TRES ESBOZOS SOBRE LA COMPLEJIDAD DE LA EVOLUCIÓN

Susanna C. Manrubia

Centro de Astrobiología, INTA-CSIC

“Es casi como si el cerebro humano estuviese especialmente diseñado para entender mal el darwinismo, y encontrarlo difícil de creer.”

Richard Dawkins [1]

Resumen: Los ingredientes básicos que sustentan la evolución biológica - reproducción, mutación y selección- estaban ya incluidos en la teoría evolutiva de Darwin hace 150 años. Sin embargo, los mecanismos exactos responsables de la adaptación de las poblaciones o de la generación de ecosistemas altamente diversificados y aparentemente estables, todavía se nos escapan. En este artículo se discuten tres hipótesis derivadas de una supuesta comprensión de los mecanismos evolutivos: el principio de exclusión competitiva, el trinquete de Muller y la mutagénesis letal. En los tres casos se predijo teóricamente la extinción de determinadas poblaciones debido a la competencia en los ecosistemas, a la acumulación de mutaciones perjudiciales en los organismos asexuales y a un aumento en la tasa de error en la replicación de virus. Sin embargo, no se ha encontrado evidencia empírica que apoye estas expectativas en ninguno de los casos, por lo que queda claro que debemos reconsiderar qué mecanismos precisos deben estar actuando. Como Dobzhansky escribió hace casi cuarenta años [5] *“... los mecanismos que posibilitan la evolución requieren ciertamente estudio y clarificación. No hay alternativas a la evolución como historia que puedan resistir un examen crítico. Ello no obstante, estamos aprendiendo continuamente nuevos e importantes hechos sobre los mecanismos evolutivos.”*

Palabras clave: teoría de la evolución, extinción viral, competición, biodiversidad, observaciones empíricas.

Title: *Biodiversity, asexual organisms and viruses: three sketches on the complexity of evolution*

Abstract: *The basic ingredients underlying biological evolution -reproduction, mutation, and selection-, were included in Darwin's evolutionary theory 150 years ago. Still, the precise mechanisms responsible for the adaptation of populations or the generation of highly diverse and seemingly stable ecosystems elude us. In this contribution, we discuss three hypothesis stemming from a supposed understanding of evolutionary mechanisms: the principle of competitive exclusion, Muller's ratchet, and lethal mutagenesis. In all cases, the extinction of populations was predicted due to competition in ecosystems, to the accumulation of deleterious mutations in asexual organisms, and to an increase in the replication error rate in viruses. However, no empirical evidence was found to support the expectations in either case, forcing us to reconsider the precise mechanisms we thought to be acting. As Dobzhansky wrote almost forty years ago [5] *“... the mechanisms that bring evolution about certainly need study and clarification. There are no alternatives to evolution as history that can withstand critical examination. Yet we are constantly learning new and important facts about evolutionary mechanisms.”**

Keywords: *evolutionary theory, viral extinction, competition, biodiversity, empirical observations*

¹ Susanna C. Manrubia es Doctora en Ciencias Físicas por la Universitat Politècnica de Catalunya. Tras cuatro años como investigadora postdoctoral en el Instituto Max Planck (Berlín), se incorporó en 2001 al Centro de Astrobiología (INTA-CSIC) del que es actualmente Investigadora Titular cuevasms@inta.es



INTRODUCCIÓN

La teoría de la evolución por selección natural es una idea poderosa [2]. Tres ingredientes aparentemente sencillos (reproducción, mutación y selección) dan lugar a una sinergia creadora y creativa capaz de generar un ornitorrinco partiendo de un puñado de bacterias. Hemos aprendido cómo las copias ligeramente distintas que los organismos producen de sí mismos compiten en el ambiente que comparten, y cómo algunos, más favorecidos en ese ambiente, dejan más descendencia. Así sus características se imponen gradualmente en la especie. Si bien parece un proceso simple, estamos lejos de comprender su complejidad y el alcance de sus implicaciones. No tenemos una intuición natural que nos desvele cuál será el resultado del proceso evolutivo. Nuestra experiencia es local en el tiempo: no “vemos” la evolución y, por tanto, debemos aceptar nuestra dificultad para entender sus efectos. Esta limitación es semejante a la falta de comprensión innata que podemos tener de la relatividad, cuando nuestra experiencia se limita a la lentitud de los cuerpos masivos y poco densos, o de la mecánica cuántica, atrapados como estamos en nuestro mundo macroscópico. Sólo que el caso de la evolución, por alguna razón, se nos antoja que debería ser más simple de aprehender. Darwin se embarcó en el Beagle en diciembre de 1831, con veintidós años y pertrechado con una nada despreciable experiencia previa como naturalista. Hubieron de transcurrir sin embargo veintiocho años antes de que su obra *“El origen de las especies”* viera la luz. Durante todo ese tiempo, no dejó de acumular evidencia que pudiera sustentar sus afirmaciones. No lo detenía sólo el choque frontal con el pensamiento conservador de su tiempo, la dificultad en convencer a sus pares de la alternativa natural a la verdad revelada que su teoría ofrecía o la esperable oposición del la iglesia. Darwin era consciente de la profundidad de su idea, del cambio de paradigma que suponía y de las muchas implicaciones que tenía para la interpretación de la diversidad biológica y de la complejidad de los organismos. La evolución por selección natural partía de propuestas ciegas, no tenía propósito ni dirección, no culminaba con el hombre. Era una teoría que liberaba y a la vez prevenía: esto no acaba aquí. Implicaba un cambio radical de punto de vista para el que ni el mismo Darwin sentía estar preparado [3]. Necesitó un desencadenante para decidirse a su publicación: tal fue un breve artículo de Alfred R. Wallace proponiendo, al igual que él, que la acción gradual de la selección natural era el motor de la evolución [4]. Quién sabe, sin este estímulo, cuánto hubiera tardado en estar totalmente convencido de la factibilidad de su peligrosa idea...

A pesar de los enormes avances en nuestro conocimiento sobre las bases moleculares de la

mutación, sigue siendo complicado explicar el porqué de las adaptaciones y comportamientos colectivos que vemos en los organismos vivos. La teoría de la evolución por selección natural está lejos de ser una teoría formal. Aún acumula observaciones empíricas que, poco a poco, van desvelando generalidades sobre su manera de actuar y sobre los principios subyacentes. Los resultados de nuevos experimentos nos siguen sorprendiendo; la observación de la naturaleza plantea cuestiones que aún no sabemos responder. En ese contexto resultan siempre vigentes las palabras de Th. Dobzhansky: *“Nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución”* [5]. La biología se ha ocupado durante siglos de describir la estructura de los seres vivos. Pero si aspiramos a comprender el funcionamiento, la organización y los mecanismos mismos de la mutación, la adaptación y la selección, debemos poner el énfasis en los procesos que las ocasionan y a ellos llevan.

En esta contribución vamos a revisar tres hipótesis que fueron inicialmente planteadas partiendo de una supuesta comprensión de los mecanismos evolutivos. En orden histórico son el principio de exclusión competitiva, el trinquete de Muller y la mutagénesis letal. En los tres casos tenemos una teoría primera que, a partir de suposiciones razonables, predice extinciones de distinta naturaleza en los sistemas correspondientes (ecosistemas, poblaciones asexuales y poblaciones virales, respectivamente). En ninguno de los tres casos se cumple la predicción, lo cual revela que las suposiciones de partida no eran tan “razonables” como la “intuición” suponía: la evolución por selección natural ha dotado a estos sistemas de mecanismos que, en los tres casos, aseguran su supervivencia en un ambiente en principio hostil. De lo contrario, no estarían aquí.

EL PRINCIPIO DE EXCLUSIÓN COMPETITIVA

La publicación de la obra de Darwin generó un enorme interés tanto en círculos científicos como populares. Sus potenciales aplicaciones a ámbitos que trascendían la biología se discutieron acaloradamente en las décadas siguientes. Se habló de selección social, tanto pasiva como activa, se desvirtuó el principio mismo de la selección natural para dar lugar a la eugenesia y más adelante se usó para justificar un clasismo militante y la limpieza racial [6]. En un ámbito más científico se redescubrieron los experimentos de Mendel, cuya unificación con la teoría de Darwin desembocó en los primeros intentos de dar forma matemática a la herencia y a algunos aspectos de la evolución. Nacía la genética de poblaciones. Sin embargo, en el tiempo que medió entre la publicación de *“El Origen”* hasta las primeras décadas del siglo XX hubo un número muy limitado de experimentos



nuevos. En el prefacio del libro de Gause *"The struggle for existence"*, publicado en 1934 [7], Raymond Pearl se lamentaba: "(...) en los años transcurridos desde 1859, cuando Darwin recopiló de forma magistral en el *Origen de las Especies* una enorme cantidad de evidencias concretas apoyando la realidad de la lucha por la existencia y el proceso de selección natural, todo lo que han hecho los biólogos es escribir y hablar sobre esa idea". Curiosamente, esta obra sentó las bases de lo que debía convertirse en el principio de exclusión competitiva, el cual ha dado que hablar y escribir, una vez más, a varias generaciones de ecólogos.

Georgyi F. Gause nació en 1910 en Moscú. Microbiólogo de formación, estaba interesado en los factores que afectaban a la dinámica de las poblaciones y determinaban su destino en situaciones de competencia. Gause pensaba que el ambiente natural era excesivamente complejo para permitirnos identificar los parámetros relevantes en esta dinámica, así que decidió llevar a cabo experimentos de laboratorio bien controlados en los que hubiera pocas variables implicadas. Así, en el libro mencionado refiere su decisión de estudiar la competencia entre grupos de individuos de varias especies distintas de protozoos (concretamente levaduras y paramecios), ofreciéndoles la posibilidad de crecer en un medio rico en nutrientes y siguiendo su desarrollo durante un número de generaciones suficientemente grande como para determinar el destino final de los grupos implicados.

Toda la competencia permitida tenía lugar en el interior de un matraz, donde las especies accedían a una cantidad constante de un único nutriente. Gause estudió cuantitativamente y con sumo cuidado las curvas de crecimiento de cada especie, primero separadamente, luego en las situaciones en que dos o más competían. Derivó ecuaciones formales para el crecimiento y la competencia, resultando las últimas idénticas a las que Volterra había presentado apenas unos años antes [8]. Sus datos se ajustaban fielmente a los modelos matemáticos propuestos, apoyando pues tanto la fiabilidad de los experimentos como las suposiciones subyacentes. Gause obtuvo de manera precisa los parámetros correspondientes a las ecuaciones que describían la dinámica, en un estudio riguroso y cuidadoso de las poblaciones implicadas. La conclusión última de su trabajo apuntaba a una eliminación sistemática de una especie por otra, a la imposibilidad de la coexistencia: *"Hemos estudiado la competición entre dos especies por una fuente de energía que mantene-mos a nivel constante. Este proceso se divide en dos partes. En la primera, las dos especies compiten por los recursos aún no utilizados. La distribución de energía entre ambas viene dada por el sistema de ecuaciones diferenciales para la competencia de Vito Volterra, pero los coeficientes de la lucha por la existencia en estas*

ecuaciones cambian a lo largo del crecimiento de la población [...]. En la segunda parte, la energía resulta consumida en su totalidad y existe una redistribución de la misma entre las dos especies, de nuevo controlada por las ecuaciones diferenciales de la competencia. Debido a la ventaja de una de las especies, reflejada principalmente en un valor mayor del coeficiente de multiplicación, ésta reemplaza completamente a la otra".

Y ahí nació la ley de Gause, o el principio de exclusión competitiva: dos especies compitiendo por los mismos recursos no pueden coexistir de forma estable si el resto de factores ecológicos son constantes. Tal y como aquí lo hemos planteado, comprendemos que este principio sólo será de aplicación en casos análogos a los experimentos de Gause, en donde la "ecología" estaba reducida a su más mínima expresión. Si cambiamos alguna de las variables, no tiene por qué darse la exclusión. Lamentablemente, esa parte quedó olvidada y muchos estudios ecológicos se centraron a partir de entonces en el "principio". De ahí se infirió que la diversidad debía de ser muy limitada en la naturaleza... La paradoja estaba servida, puesto que la coexistencia, la alta diversidad, resulta ser la regla, y no la excepción.

A partir en particular de los años 70 del siglo XX, los modelos teóricos fueron refinados a fin de identificar qué aspectos ecológicos y poblacionales permitían la tan frecuente coexistencia de especies [9]. El principio de exclusión competitiva no se da si las tasas de crecimiento dependen de forma no lineal de los recursos, si la coexistencia en un punto fijo se reemplaza por una condición de persistencia, si las poblaciones están estructuradas en edad o cuando se considera de manera explícita el espacio físico; tampoco se observa cuando consideramos ecosistemas fuera del equilibrio, donde existe un reemplazo constante de las poblaciones [10]. De hecho, el principio de exclusión competitiva ha resultado ser de escasa aplicación en situaciones naturales. Dada la gran multiplicidad de factores que afectan el desarrollo y la estabilidad de los ecosistemas es difícil tener la certeza de que todos son conocidos. Esta dificultad se ha usado como argumento para aducir que, cuando se observa coexistencia, es porque alguna variable de importancia no se está teniendo en cuenta.

El énfasis ha ido cambiando desde que Gause publicara su libro y, con él, condicionara tan fuertemente las expectativas de los ecólogos. Medio siglo más tarde se empezó a sugerir, no sin comedimiento, que quizá el principio de exclusión competitiva debía ser sustituido por el principio de coexistencia [11]. Desde los experimentos de Gause hasta este cambio de perspectiva se ha ido educando la intuición sobre cómo la selección natural se manifiesta en la complejidad ecológica. La



relación entre evolución y ambiente, sutil pero fundamental en la aparición de biodiversidad, aún no es bien comprendida. Cada vez se enfatiza más el estudio del tándem especie-ambiente y, por extensión, la relación entre la historia de una especie, las distintas presiones de selección a las que ha sido sucesivamente sometida, y la estructura que hoy en día se observa. Lo mismo se aplica a la relación entre especies, a los ecosistemas.

EL TRINQUETE DE MULLER Y LA DEGENERACIÓN ASEXUAL

Una vez se supo de la aparición de mutaciones en los organismos y de la capacidad de éstas para transmitirse a la descendencia, se generó un notable interés por conocer la probabilidad de que una mutación con efectos deletéreos apareciera y, a través de sucesivas generaciones, acabara fijándose en todos los individuos de una población. Este problema se estudió en los años 30 del siglo XX, siendo una de las primeras cuestiones tratadas dentro de la teoría de la genética de poblaciones. El proceso de aparición y fijación de mutaciones deletéreas (las que afectan negativamente la viabilidad de los organismos) resulta de especial relevancia en poblaciones asexuales, donde la acción purificadora del sexo a través de la recombinación de los genomas no puede darse. Es habitual considerar, entonces y ahora, que una población que ha evolucionado por largo tiempo en un ambiente determinado está óptimamente adaptada a éste. En estas condiciones se asume que cualquier nueva mutación tendrá efectos negativos y, en consecuencia, será seleccionada negativamente. Sin embargo, la eliminación de toda mutación nueva resulta especialmente difícil en poblaciones asexuales de tamaño reducido, en las que es posible perder la clase "óptima", definida como aquella que no tiene mutaciones, por la acción de fluctuaciones estocásticas en la composición de la población.

Uno de los primeros investigadores que estudió el problema de la desaparición estocástica de la clase menos mutada fue Hermann J. Muller, quien comparó este proceso con los avances irreversibles de un mecanismo de trinquete [12]: *"Bajo condiciones que sólo requieren la estabilidad de tipo, una población no recombinante no degenera como resultado de un exceso de mutación sobre selección, toda vez que el usual equilibrio entre ambas presiones se alcanza. Sin embargo, existe un mecanismo de trinquete irreversible (ausente en poblaciones recombinantes) que impide que la selección, incluso intensificada, reduzca la carga mutacional por debajo de la mínima existente en la población en el momento en que empezó la selección intensificada. Por otra parte, la "deriva" [genética] y un proceso al que podemos llamar "ruido selectivo" debe ocasionar*

deslizamientos ocasionales hacia cargas mutacionales mayores". Si bien Muller no relacionó ese inevitable aumento en la carga mutacional con una degeneración de la población, éste fue el mensaje extraído de su trabajo. Desde entonces y hasta muy recientemente, cada vez que uno se refiere al "trinquete de Muller" infiere que la acumulación de mutaciones en las poblaciones asexuales debería desembocar en la pérdida de viabilidad de la población. Hay una suposición tácita en el proceso: todas las mutaciones que se producen tienen efectos deletéreos o, en el mejor de los casos, neutrales en la viabilidad de las poblaciones. Quedan excluidas dos posibilidades que, tiempo después, una vez ha sido posible llevar a cabo experimentos sistemáticos de acumulación de mutaciones, se han revelado fundamentales: que nuevas mutaciones sean capaces de contrarrestar el efecto negativo de mutaciones anteriores (las llamadas mutaciones compensatorias) y que aparezcan mutaciones con efectos positivos sobre la viabilidad (mutaciones beneficiosas).

Los virus con genoma de RNA se han convertido en un excelente sistema para estudiar la evolución y adaptación de poblaciones en el laboratorio [13]. Su replicación está afectada por altas tasas de error, forman poblaciones de gran tamaño y tienen tiempos de replicación cortos. Estas propiedades permiten la observación directa de los cambios en sus genomas y en su diversidad a lo largo del proceso evolutivo mediante el uso de técnicas estándar en los laboratorios de virología y genética molecular. Uno de los protocolos habituales aplicados a estos virus son los cuellos de botella poblacionales. Mediante diluciones del producto de una infección previa es posible conseguir una progenie viral a partir de un único virión que, tras infectar una célula susceptible, se ha replicado y propagado a las células vecinas. En este caso, toda la estirpe lleva las mutaciones presentes en el genoma fundador –más, probablemente, algunas nuevas aparecidas en el proceso de replicación [14]. Estos virus, sometidos regularmente a cuellos de botella extremos donde un único individuo regenera la población, constituyen un excelente modelo para observar los efectos de la acumulación sistemática de mutaciones en una población asexual y, por tanto, comprobar las predicciones derivadas del trinquete de Muller.

La viabilidad de las poblaciones virales (medida por ejemplo como el número de viriones capaces de infectar células) decrece, como se esperaba, cuando éstas son sometidas a unos pocos cuellos de botella. El proceso fuerza por una parte la acumulación de mutaciones, pero por otra desplaza a la población del óptimo en el que se hallaba, en un ambiente distinto al actual. Es importante distinguir si la pérdida de viabilidad depende de la acumulación de mutaciones o del



cambio de ambiente, que naturalmente requiere un proceso de adaptación antes de alcanzar un nuevo óptimo. Cuando el número de cuellos de botella aplicados crece se observa que, a pesar de que las mutaciones siguen acumulándose regularmente en el genoma medio de la población (en la llamada secuencia consenso), la viabilidad detiene su descenso y se estabiliza, con grandes fluctuaciones, alrededor de un valor medio (véase la figura 1).

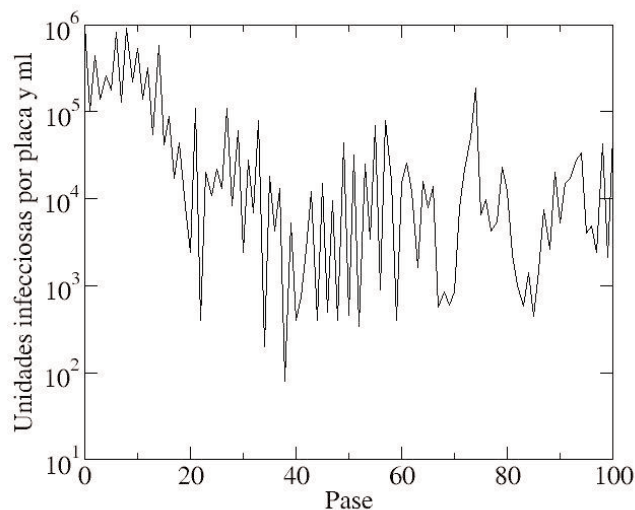


Figura 1. Evolución de la viabilidad viral, medida como el número de partículas virales infectivas, en una población de virus de la fiebre aftosa sometida a 100 cuellos de botella poblacionales. Tras cada uno de ellos, se permite que la población se desarrolle, a partir de un único individuo, durante 24 horas. En los pases iniciales se observa un descenso en la viabilidad que más tarde se detiene, estabilizándose alrededor de un valor medio. Las mutaciones se acumulan progresivamente en la secuencia consenso a razón de una cada tres pases.

Este comportamiento se ha visto repetido en experimentos similares. La supervivencia ante retos ambientales no es exclusiva de una población evolucionando bajo la acción de cuellos de botella, sino que evidencia un mecanismo ampliamente extendido: la frecuente aparición y selección de mutaciones compensatorias y beneficiosas capaces de recuperar la viabilidad de una población. La reacción rápida a ambientes nuevos y a presiones de selección incrementadas es parte del proceso adaptativo. Sin ella, muchas poblaciones no serían capaces de superar los continuos retos que su supervivencia requiere. Los virus de RNA son especialmente “habilidosos” en este sentido, ya que como parte de su ciclo necesitan infectar células de distintos tipos, regenerarse ante severas disminuciones en el tamaño de sus poblaciones (como cuando se transmite la gripe de un individuo a otro), resistir el ataque del sistema inmune de su hospedador o la acción de fármacos antivirales, o bien reaccionar ante cambios climáticos

que ponen en peligro su continuidad. Los mecanismos evolutivos que utilizan (entre ellos su alta tasa de mutación, su capacidad de recombinarse dentro de la célula, la altísima producción de viriones de los que sólo una ínfima fracción causa nuevas infecciones o su rapidez en la replicación) se han seleccionado a lo largo de su historia como parásitos celulares obligados. Lo natural es pues esperar que sean capaces de adaptarse a ambientes a los que aún no han sido expuestos y sobrevivan a la mayoría de situaciones de estrés que somos capaces de recrear en un laboratorio. El hecho de que una gran parte de los organismos mantengan el modo de reproducción asexual revela asimismo que el sexo no puede ser una solución adaptativa netamente superior. Como sucede con cualquier mecanismo evolutivo, la ventaja que confiere a los organismos que así se reproducen es relativa al ambiente en el que éstos se hallan, incluyendo tanto cambios ambientales como las relaciones con otras especies y sus mecanismos de competencia.

El trinquete de Muller y, como veremos en la próxima sección, otros modelos planteados para estudiar la evolución y adaptación de poblaciones sujetas a mutación, asumen la existencia de una relación biunívoca entre genotipo y fenotipo, de forma que el genotipo inicial de una población optimizada se supone que se corresponde con un fenotipo óptimo. Pero esta relación está muy lejos de ser cierta. Existe una enorme degeneración entre genotipo y fenotipo, de forma que muchos genotipos pueden dar lugar al mismo fenotipo. A nivel molecular puede también darse la situación complementaria: un mismo genotipo puede representar distintos fenotipos ante distintas condiciones externas. Esta correspondencia múltiple se está revelando fundamental en el proceso de adaptación, ya que permite que una población explore grandes porciones del espacio de genomas sin perder su viabilidad.

DE LA MUTAGÉNESIS INCREMENTADA A LA DEFECCIÓN LETAL

En la actualidad, la mayoría de organismos utilizan sofisticados sistemas de corrección de errores durante la replicación de sus genomas. Ello minimiza los fallos cometidos y por tanto la posibilidad de aparición de mutaciones deletéreas. En general, el coste de la reproducción es demasiado elevado como para invertir en progenie no viable, de forma que cuanto más semejantes sean los descendientes a sus progenitores tanto mejor. Esto es algo que saben muy bien todos los organismos celulares y los virus con genoma de DNA. Pero, como hemos discutido, ésta no es la estrategia que siguen los virus de RNA: su carácter de parásitos obligados disminuye el requerimiento energético que supone la replicación (a costa de la célula infectada) y, por



otra parte, su estrategia adaptativa pasa por generar un gran número de variantes. En realidad, los genomas que forman una población viral difieren entre sí tanto en su genotipo como en su fenotipo. La alta tasa de mutación hace que, de forma natural, la composición de la población en el equilibrio de mutación-selección sea altamente heterogénea. Incluso si se pudiera identificar un fenotipo óptimo, éste no podría ser aislado del resto, ya que la propia dinámica replicativa hace que inmediatamente se vea acompañado por un conjunto complejo de variantes, en donde unas son producidas constantemente a partir de otras. A estas poblaciones se las denomina cuasiespecies virales, en analogía con las cuasiespecies moleculares definidas en el contexto de la evolución prebiótica de replicadores de RNA [16]. Se supone que los mecanismos de corrección de errores en la replicación aparecieron tiempo después de las primeras moléculas autorreplicantes. Como consecuencia, las poblaciones de estos primeros replicadores debían de ser muy heterogéneas. Asimismo, la longitud de sus genomas se hallaba fuertemente limitada por la fidelidad de la replicación, lo cual constituye una de las dificultades sólo parcialmente resueltas en el camino que lleva desde la aparición de los primeros replicadores a la emergencia de sistemas evolutivos basados en una información heredable [17].

La teoría de cuasiespecies permite establecer la longitud máxima de un genoma capaz de replicarse fielmente a una tasa de mutación dada. Según esta teoría, la tasa de mutación crítica es inversamente proporcional a la longitud del genoma. En su forma más simplificada, la cuasiespecie es descrita como una secuencia maestra más una nube de mutantes que la acompaña. La secuencia maestra tiene una ventaja replicativa fijada sobre el resto de genomas, que se replican a una misma (y menor) velocidad. Bajo replicación, genera mutantes que pasan a engrosar la nube acompañante, pero los mutantes no pueden producir la secuencia maestra, ya que se asume que las reversiones de mutaciones en el genoma ocurren con probabilidad despreciable. Las medidas de la tasa de mutación a la que evolucionan los virus de RNA realizadas hacia finales del siglo pasado indicaron que ésta se hallaba muy cerca del valor crítico predicho por la teoría [18]. La interpretación de estos datos a la luz de la teoría de cuasiespecies permitía suponer entonces que ligeros incrementos en la tasa de mutación natural podían inducir la pérdida de viabilidad y en último término la extinción del virus. Lo que es más, a primera vista se podía explicar esa selección de una tasa de mutación cerca del valor crítico como una adaptación para generar máxima diversidad. Aparentemente todo encajaba. Pero varios elementos decisivos no se estaban teniendo en cuenta. Uno de ellos ya ha sido discutido de manera indirecta en el apartado anterior: la selección

actúa sobre el fenotipo, y no existe una correspondencia uno a uno entre genotipo y fenotipo. Ello significa que la "secuencia maestra" de la teoría debería ser sustituida por un "fenotipo maestro"; mejor aún, la cuasiespecie es un conjunto de fenotipos, cada uno de ellos representado por un gran número de genotipos. En esta descripción más realista, el umbral de error se aleja de las predicciones de la teoría: las cuasiespecies toleran en realidad tasas de error mucho mayores que las predichas sin perder su viabilidad [19]. La tasa de mutación natural no se halla por tanto tan cerca de la tasa crítica como se pensó en un principio. Se ha sugerido que la propiedad que esa tasa natural optimiza no es la diversidad generada, sino el tiempo de adaptación, que se hace mínimo a una tasa intermedia resultante de un compromiso entre generar diversidad y fijar las variantes beneficiosas [20].

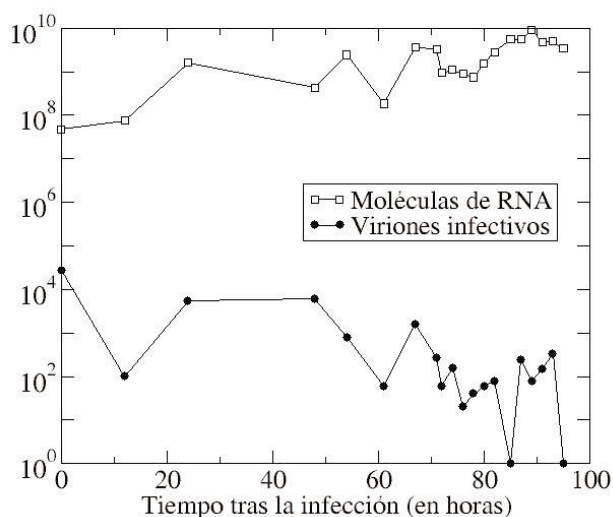


Figura 2. Cantidad de RNA genómico viral en el interior celular y número de viriones infectivos medidos en una infección persistente por el virus de la coriomeningitis linfocítica. Unas 90-100 horas post infección se pierde la capacidad infectiva, si bien los altos niveles de RNA presentes indican que el virus sigue replicándose de forma activa.

Ello no obstante, la mutagénesis incrementada se viene usando desde la década de 1990 como un mecanismo capaz de disminuir la capacidad infectiva de los virus [21,22]. En cantidades suficientemente elevadas un mutágeno apropiado provoca la extinción viral, como se esperaba: el virus comete tantos errores al copiarse que la progenie, incapaz de infectar y de replicarse, deja de existir como población viable. Sin embargo, el uso de una pequeña cantidad de mutágeno puede producir resultados inesperados. En infecciones persistentes del virus de la coriomeningitis linfocítica, la adición de una cantidad moderada de mutágeno provoca la pérdida de infectividad, si bien el virus sigue siendo capaz de replicarse en el interior de las células



infectadas (véase la figura 2). Esta forma de extinción no estaba prevista en la teoría inicial, justamente porque no se había considerado un ingrediente importante que este experimento puso en evidencia: hay dos rasgos fenotípicos sujetos a selección en este caso, la infectividad y la replicación. La pérdida de la infectividad mediante este mecanismo sólo puede ser observada en infecciones persistentes, donde la capacidad infectiva no está sujeta a fuerte selección y, por tanto, pueden acumularse mutaciones en el genoma que conduzcan a la desaparición de este rasgo. En contrapartida, la capacidad replicativa se halla en continua selección en el interior celular, de forma que se mantiene en la población. El mutágeno no hace más que desequilibrar la dinámica natural y facilitar la extinción por *defección letal* [23]. Éste no es más que un aspecto de la compleja organización interna de las cuasiespecies virales. La diversidad intrínseca de estas poblaciones se traduce en dinámicas adaptativas complicadas e inesperadas de las que aún nos queda mucho por descubrir. Desde una perspectiva más global, sabemos que los virus no son sólo los ubicuos e inevitables parásitos de todo sistema que funciona. Poca duda queda de que han desempeñado un relevante papel a nivel macroevolutivo, transportando genomas y transfiriendo información entre organismos, agilizando la adaptación y probablemente facilitando la aparición de funciones complejas [24].

CONCLUSIONES

La teoría de la evolución contiene los conceptos esenciales que deben llevarnos a una comprensión formal de los mecanismos evolutivos utilizados en la naturaleza. Este camino es complejo, puesto que el enorme poder creativo de la selección natural ha dado con soluciones que nos sorprenden y no se corresponden con el diseño que un ingeniero habría propuesto. Hemos ilustrado con tres ejemplos aún vigentes la falta de diálogo útil que en ocasiones ha habido entre formalismo y naturaleza, entre teoría y experimento. Somos cada vez más conscientes de la necesidad de llevar a cabo aproximaciones desde múltiples perspectivas para completar los detalles que, en un futuro, harán de la teoría de la evolución por selección natural un cuerpo de conocimiento con poder explicativo y capacidad predictiva. Concluimos con palabras de Th. Dobzhansky, quien ya tenía estos mismos anhelos cuatro décadas atrás [5]: “La evolución como proceso que ha sucedido de forma sostenida en la historia de la tierra sólo puede ser puesta en duda por los que ignoran la evidencia o son resistentes a ella, sea por bloqueos emocionales o simple intolerancia. En contraste, los mecanismos que posibilitan la evolución requieren ciertamente estudio y clarificación. No hay alternativas a la evolución como historia

que puedan resistir un examen crítico. Ello no obstante, estamos aprendiendo continuamente nuevos e importantes hechos sobre los mecanismos evolutivos.”

AGRADECIMIENTOS

Es un placer agradecer a mis colaboradores y amigos Carlos Briones, José Cuesta y Ester Lázaro el continuo diálogo evolutivo que mantenemos, así como sus constructivos comentarios sobre este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] R. Dawkins, *El relojero ciego*, RBA eds., 2004; *The blind watchmaker*, Longman scientific & Technical, 1986.
- [2] Ch. Darwin, *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life* (1st ed.), London: John Murray, 1859. La primera edición está disponible en inglés en varios sitios web; los enlaces pueden obtenerse en “http://en.wikipedia.org/wiki/On_the_Origin_of_Species”. Está disponible en español en “<http://www.traduccionliteraria.org/biblib/D/D101.htm>”.
- [3] J. Browne, *Charles Darwin: el poder del lugar. Una biografía*. Universitat de València, 2009.
- [4] A. R. Wallace, *On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type*, Proceedings of the Linnean Society of London 3:53-62, 1858. Disponible en “<http://www.wku.edu/~smithch/wallace/S043.htm>”.
- [5] Th. Dobzhansky, *Nothing in biology makes sense except in the light of evolution*, The American Biology Teacher 35:125-129, 1973. Disponible en “http://people.delphiforums.com/lordorman/Dobzhansky_1973.pdf”.
- [6] E. J. Larson, *Evolución. La asombrosa historia de una teoría científica*, Ed. Debate, Barcelona, 2006.
- [7] G. F. Gause, *The struggle for existence*, Baltimore, MD: Williams & Wilkins, 1934. Disponible en “<http://www.ggaugse.com/Contgau.htm>”.
- [8] V. Volterra, *Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together*, J. Cons. Cons. Int. Explor. Mer. 3:3-51, 1928.
- [9] P. Chesson, *Mechanisms of maintenance of species diversity*, Annu. Rev. Ecol. Syst. 31:343-366, 2000.
- [10] U. Bastolla, M. Lässig, S. C. Manrubia, and A. Valleriani, *Biodiversity in model ecosystems I: coexistence conditions for competing species*, J. Theor. Biol. 235:521-530, 2005; *Biodiversity in model ecosystems II: species assembly and food web structure*, J. Theor. Biol. 235:531-539, 2005.



- [11] P. J. den Boer, *The present status of the competitive exclusion principle*, Trends Ecol. Evol. **1**:25-28, 1986.
- [12] H. J. Muller, *The relation of recombination to mutational advance*, Mutat. Res. **106**:2-9, 1964.
- [13] S. C. Manrubia and E. Lázaro, *Viral evolution*, Phys. Life Revs. **3**:65-92, 2006.
- [14] C. Escarmís, E. Lázaro, and S. C. Manrubia, *Population bottlenecks in quasispecies dynamics*, Curr. Topics Microbiol. Immunol. **299**:141-170, 2006.
- [15] C. Escarmís, G. Gómez-Mariano, M. Dávila, E. Lázaro, and E. Domingo, *Resistance to extinction of low fitness virus subjected to plaque-to-plaque transfers: Diversification by mutation clustering*, J. Mol. Biol. **315**:647-661, 2002.
- [16] M. Eigen, *Self-organisation of matter and the evolution of biological macromolecules*, Naturwissenschaften **58**:465-523, 1971.
- [17] S. C. Manrubia and C. Briones, *Modular evolution and increase of functional complexity in replicating RNA molecules*, RNA **13**:97-107, 2006.
- [18] J. W. Drake and J. J. Holland, *Mutation rates among RNA viruses*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **96**:13910-13913, 1999.
- [19] A. Kun, M. Santos, and E. Szathmáry, *Real ribozymes suggest a relaxed error threshold*, Nat. Gen. **37**:1008-1011, 2005.
- [20] M. Stich, C. Briones, and S. C. Manrubia, *Collective properties of evolving molecular quasispecies*, BMC Evol. Biol. **7**:110, 2007.
- [21] J. J. Holland, E. Domingo, J. C. de la Torre, and D. A. Steinhauer, *Mutation frequencies at defined single codon sites in vesicular stomatitis virus and poliovirus can be increased only slightly by chemical mutagenesis*, J. Virol. **64**:3960-3962, 1990.
- [22] E. Domingo, C. Escarmís, E. Lázaro, and S. C. Manrubia, *Quasispecies dynamics and RNA virus extinction*, Vir. Res. **107**:129-139, 2005.
- [23] A. Grande-Pérez, E. Lázaro, P. Lowenstein, E. Domingo, and S. C. Manrubia, *Suppression of viral infectivity through lethal defection*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **102**:4448-4452, 2005; J. Iranzo and S. C. Manrubia, *Stochastic extinction of viral infectivity through the action of defectors*, Europhys. Lett. **85**:18001, 2009.
- [24] E. V. Koonin, T. G. Senkevich, and V. V. Dolja, *The ancient virus world and evolution of cells*, Biol. Direct **1**:29, 2006.



Inserta aquí tu Publicidad

Anuncia tus productos o servicios en *Apuntes* de Ciencia y Tecnología,

tu anuncio lo leerán varios miles de investigadores científicos de todas las disciplinas.

***Más de 5000 suscriptores electrónicos, que reenvían la revista a amigos y conocidos.**

***Más de 9000 descargas desde la web de la AACTE:**<http://www.aacte.eu>

Para mas información contacta con rosario.gil@uv.es



EL RINCÓN PRECARIO

Sección dedicada a los investigadores que trabajan en España en condiciones de precariedad laboral

Me temo que esta vez no me queda tiempo ni para respirar... menos aún para leerme la extensa lista de correos electrónicos que me cuentan las historias de los investigadores en precario y entretenerme en buscar frases ingeniosas con las que ligar la salsa de la precariedad. Una lástima, pensarán unos. Una suerte, aquellos a quienes no gustan mis peroratas. Pero contamos con Salomón. Gracias a su desinteresado esfuerzo, tenéis hoy frente a vosotros una nueva entrega del Rincón Precario. A pesar de estar a punto de defender su propia Tesis Doctoral, ha tenido el coraje y el tiempo necesario para redactar su propia aportación y recoger las aportaciones de otros. ¡Qué haría yo sin ti, Salomón!

CIRCO FPU: ODISEA DE UN PRECARIO

Concepción Cortés Zulueta

Investigadora en Historia del Arte – Universidad Autónoma de Madrid

¡Pasen y vean, señoras y señores, pasen y vean! ¡Asistan a las vicisitudes de la vida diaria de un investigador predoctoral en España! ¡A sus equilibrios en la cuerda floja para llegar a fin de mes! ¡A sus juegos malabares con el papeleo! ¡A su entrada en la jaula de los leones, viajando por el mundo sin seguro y sin derechos! ¡Y todo ello sin perder su vocación! ¡Pasen y vean!

El investigador predoctoral, para su desgracia, poco antes o poco después de terminar su licenciatura se levanta un día de la cama con una extraña sensación en el estómago. “Será la vocación” se dice, y de golpe y porrazo decide que en lugar de llevar una vida normal y placentera, sin sobresaltos y con derechos laborales, va a dedicarse a investigar. ¿Cuál es el siguiente paso? Conseguir financiación para afrontar un doctorado. Hay diversas opciones, entre las cuales una de las más codiciadas, por no decir la que más, es la FPU, una ayuda del ministerio de cuatro años de duración (dos años de beca, únicamente dos de contrato) cuyas siglas se corresponden con *Formación del Profesorado Universitario* aunque a estas alturas nadie se tome muy en serio su significado literal. ¿De qué ministerio? Pues... depende. Últimamente la cosa está entre el Ministerio de Ciencia e Innovación y el de Educación, todavía no le ha llegado el turno al de Sanidad o Vivienda, pero quién sabe.

Digamos que nuestro joven, y precario, investigador predoctoral se decide a solicitar una de estas ayudas. Tiene un buen expediente y currículum, un proyecto de tesis interesante en mente, y su tutor tiene prestigio y ha publicado mucho. Quizás se convierta en uno de los 950 agraciados. Empieza el Circo FPU.

Va preparando el papeleo mientras aguarda a que se publique la convocatoria, lo que en principio debería coincidir con el inicio del curso universitario pero en realidad no sucede hasta mediados o finales de octubre, para cerrar el periodo de solicitud un mes más tarde. A partir de ese momento se sucederán una serie de largos meses en espera de la resolución definitiva de las ayudas, como poco seis si la Dirección General de Universidades cumple sus propios plazos, por lo general unos ocho después de sumarle al plazo oficial el retraso correspondiente. Lo que implica que durante todos esos meses, el investigador predoctoral, ya iniciado su doctorado, tiene por delante todo un curso en el que o bien tendrá que compatibilizar su investigación con actividades de subsistencia (hay que comer) o permanecer incorporado a su grupo sin tener su situación regularizada. Un periodo en blanco que apenas constituye la primera de las discontinuidades, de las etapas sin financiación que impepinablemente amargan la existencia de todos aquellos valientes que perseveran en la carrera investigadora.

Cuando ya se va acercando la fecha límite para resolver la convocatoria, la inquietud y el nerviosismo empiezan a hacer mella en nuestro joven precario. Por lo que llama por teléfono al ministerio que se ocupa del asunto en ese momento con la intención de informarse. Apenas un par de llamadas más tarde llega a una doble conclusión: que al otro lado del hilo pueden decirle casi cualquier cosa, y que obviamente la adecuada información al solicitante no está entre las prioridades de los responsables de la gestión de las ayudas FPU. Una gestión deficiente que



se caracteriza bien por su falta de medios, bien por una organización algo más que inadecuada.

Superada la fecha límite para la resolución sin resolución a la vista la incertidumbre del investigador predoctoral no deja de crecer. Así que busca consejo y apoyo en compañeros que pasaron por lo mismo en años anteriores. Y se entera, no sin sorpresa, de algo que en los últimos años se ha ido estableciendo cada vez más como una costumbre, una tradición. A saber, que no habrá resolución sin previa manifestación de los afectados.

Al mismo tiempo nuestro joven investigador cae en la cuenta de que la concesión de una ayuda FPU no implica el fin de los sobresaltos y las esperas. Muy al contrario, gracias a los foros y a las listas de correo de la Federación de Jóvenes Investigadores FJI-Precarios entra en contacto con decenas de beneficiarios de otras convocatorias que tras un pocos meses de disfrute de la ayuda recibieron una carta que les amenazaba con la devolución del dinero percibido si no justificaban en qué habían estado perdiendo el tiempo durante los largos meses en los que esperaban la resolución, cuando todavía no tenían concedida la FPU. Por no mencionar a todos aquellos que se ven obligados a iniciar una estancia de investigación en el extranjero sin seguro ni garantías, y poniendo dinero de su bolsillo durante meses porque la resolución de dichas estancias ha vuelto a retrasarse una vez más. O el hecho de que es posible que por segundo año consecutivo y sin previo aviso, se congele la asignación mensual de los beneficiarios.

Así que gracias al apoyo y la colaboración de la FJI nuestro joven investigador predoctoral y otros afectados por los retrasos en la resolución de la convocatoria y las estancias, por la falta de información y la amenaza de los

expedientes de incumplimiento escriben una carta y un comunicado de protesta que envían al ministro Gabilondo y a los medios, se arman con una enorme pancarta naranja, se disfrazan de payasos, y un lunes 13 de julio cualquiera se concentran en Granada y en Madrid y escenifican delante de la Dirección General de Universidades el CIRCO en el que se ha convertido la gestión de las FPU. Porque a los problemas y a las opiniones de los predoctorales, los pobres monos de esta historia, no merece la pena prestarles atención hasta que se consigue una cierta repercusión en los medios. Después sí, nuestro joven precario comprueba que su nombre aparece en el listado de la resolución definitiva, un tiempo después se aprueban las estancias, y nos vemos en la convocatoria que viene, cuando si nadie lo remedia el carrusel de este circo comience a girar otra vez.

A pesar de todo, hay mucha gente que considera que nuestro investigador predoctoral, por no tener derechos, no tiene derecho ni a quejarse. Después de todo, es uno de los pocos afortunados a los que les han concedido una FPU. Y en general, y aunque parezca increíble, la situación de un gran número de predoctorales es mucho peor que la suya. Después de todo en un futuro ellos son quienes, si sobreviven a tanto disgusto, habrán de impulsar el avance de la investigación y del conocimiento en este país. Pasen y vean.

A la memoria de Juan Antonio Ramírez, alguien que defendió sus ideas con pasión a lo largo de toda su vida, y una gran persona, profesor y tutor, a quien todos perdimos demasiado pronto.



LA INVESTIGACIÓN VALENCIANA, MÁS CERCA DE LA CARRERA INVESTIGADORA EUROPEA QUE LA INVESTIGACIÓN ESPAÑOLA

Vicente Claramonte Sanz¹

*Presidente de Joves Investigadors
Universitat de València*

Este pasado 15 de julio, la Conselleria d'Educació de la Generalitat Valenciana aprobó una Orden convocando becas y ayudas para fomentar la investigación científica y el desarrollo tecnológico en la Comunidad Valenciana, a través del llamado Programa VALi+d para 2009. Este programa de ayudas, por fin incorpora a la legislación autonómica valenciana vigente una de las principales y

más añejas reivindicaciones planteadas por las asociaciones del personal investigador, como la *Federación de Jóvenes Investigadores-Precarios* en el ámbito estatal y *Joves Investigadors* en el autonómico. Dicha reivindicación consiste en sustituir un sistema mixto de dos años de becas y dos años de contratos (2+2), por otro exclusivamente contractual (0+4). Así, a partir del

¹ presidencia-joves@jovesinvestigadors.org



Programa VALi+d, se suscribirá un contrato laboral de obra y servicios durante 4 años para las ayudas predoctorales al personal investigador concedidas por la Generalitat Valenciana.

Rectificar es de sabios. Con esta Orden, el gobierno valenciano entona el *mea culpa* y rectifica sucesivas campañas de políticas insuficientes, erráticas y fracasadas, incluyendo suprimir la convocatoria de ayudas postdoctorales desde 2005 y obviar la práctica totalidad de peticiones expresadas hace una década por los representantes del personal investigador en la Comunidad Valenciana. Mediante este giro en su anterior política, la Generalitat por fin se aviene a las demandas de la *Federación de Jóvenes Investigadores-Precarios* y de *Joves Investigadors*, en pro de una carrera investigadora digna, profesional y ajustada a los estándares de calidad habituales en los países que lideran la investigación en el ámbito mundial.

Sin embargo, dicha medida aún queda lejos de ajustar plenamente la normativa autonómica valenciana al verdadero horizonte que debería orientar toda política sobre investigación en una sociedad avanzada, es decir, la *Carta Europea del Investigador*. Ésta debería ser la fórmula uno a respaldar con decisión e implementar por el presidente de la Generalitat Valenciana, Sr. D. Francisco Enrique Camps Ortiz, si realmente deseara vestir con traje de etiqueta el desarrollo científico, tecnológico, económico y social de nuestra comunidad. Y no así otras fórmulas nefastas, como ciertas políticas impulsadas junto al Ayuntamiento de Valencia, con las cuales se prodiga un dinero público y se dispensan unas facilidades políticas, jurídicas y administrativas que son regateadas para financiar una investigación puntera desempeñada por investigadores profesionales.

Además, la citada Orden constituye un toque de atención definitivo para todas las universidades y centros de investigación de la comunidad valenciana. Tras su promulgación, las entidades académicas, instituciones y empresas de ámbito autonómico que gestionan recursos concernientes a prestaciones realizadas por personal investiga-

dor, carecen ya de toda excusa demagógica para no aprobar planes de ayuda predoctoral conforme a un modelo exclusivamente contractual (0+4), y para no ajustarlos definitivamente a la *Carta Europea del Investigador*.

Sólo podemos desear que dicha Orden no sea la flor efímera de un feliz día y signifique, más bien, un hito de progreso sin retorno. A tal efecto, para recorrer el largo camino aún pendiente hasta lograr una investigación digna y basada en una carrera investigadora profesional y competitiva en la Comunidad Autónoma de Valencia, la Conselleria d'Educació debería estabilizar la rectificación de su errónea política anterior, profundizando en la armonización europea de su programa para investigación y en el diálogo iniciado desde mayo pasado con *Joves Investigadors* y la *Asociación de Investigadores No Docentes de la Universidad Politécnica de Valencia*.

Consolidar esta rectificación de los anteriores errores del pasado inmediato, permitiría afianzar la ventaja en progreso social obtenida ahora sobre el gobierno estatal. El cual dialoga con la *Federación de Jóvenes Investigadores-Precarios* sobre Ley de Ciencia, Estatuto del Personal Docente Investigador y seguridad social de investigadores, cierto, pero sólo con ademán político-mediático maniobrero y sin una auténtica voluntad de alcanzar acuerdos resolutivos. Así, mientras en el Ministerio de Ciencia e Innovación marean la perdiz con reuniones vanas, gracias a este Programa VALi+d 2009 el gobierno del Sr. D. José Luís Rodríguez Zapatero, paradójica y vergonzantemente, desde la derecha ha sido adelantado con holgura por su izquierda en materia de política investigadora. Quizás su presidente debería plantearse de una vez tomar ejemplo de esta medida y aplicar de verdad su presunta política de apoyo a la investigación, muy alardeada en los media como insignia para superar la crisis hodierna, pero sin correlato real perceptible en la sociedad española actual.



¿JÓVENES TITULADOS? ¡BECARIOS POR DECRETO!

Salomón Aguado Manzanares

Actuario y Doctor en Gestión de Riesgos – Universidad Carlos III de Madrid

Se suele decir, con bastante acierto, que “*toda situación mala es susceptible de empeorar*”. Parece ser que la Comunidad Valenciana está dispuesta a confirmar este axioma. Para ello se dispone a dar una nueva vuelta de tuerca a la maltrecha situación laboral de los jóvenes de este país. Eso es lo que deben estar pensando los miles de jóvenes valencianos, recién titulados, que a la

catastrófica situación económica general en la que nos encontramos, se les une una nueva circunstancia. Más de 4,5 millones de trabajadores en paro, que ponen a España como líder en las terroríficas estadísticas de tasas de desempleo, duplicando la media de la UE, tienen ahora un nuevo motivo para celebrar la precariedad laboral.



Amparándose en las supuestas “competencias exclusivas” que los artículos 48.1 y 53.1 del Estatuto de Autonomía de la Comunidad Valenciana, se acaba de aprobar un decreto por el que se regula la concesión de becas. Se trata del DECRETO 132/2009, de 4 de septiembre, publicado en el DOCV número 6097 del pasado 8 de septiembre. Dicho así “regular la concesión de becas” no suena nada mal y, pudiera ser que, estas líneas resultaran excesivamente alarmantes.

Sin embargo, de este título no parece desprender la escandalosa situación que el articulado presenta. En realidad el DECRETO 132/2009 plantea la más absoluta vulneración de los derechos laborales de los jóvenes trabajadores. Esto infringiría el Estatuto de los Trabajadores y supondría una extralimitación de las competencias autonómicas. Habría que recordar que el artículo 149.1.7º, reserva en exclusiva para el Estado las competencias en materia de legislación laboral.

Todas las administraciones públicas: estatal, autonómicas y locales; gustan de apelar a la Ley General de Subvenciones (Ley 38/2003, de 17 de noviembre) para presumir de las actividades sociales que promueven. De hecho, como el preámbulo del propio DECRETO 132/2009 indica, “*subvención es toda disposición dineraria que se realiza sin contraprestación directa [¡ojo! Prestemos mucha atención a sin contraprestación directa] de los beneficiarios [es decir, de los receptores de la subvención] y que esté sujeta a la realización de una actividad [¡vaya! ¿Pero no era sin contraprestación directa?], que tenga por objeto el fomento del interés social”.* Y claro está, todo lo que sea INTERÉS SOCIAL es intrínsecamente bueno. Todo esto, enmarcado dentro de una política dirigida a la integración y formación de jóvenes cuyo objetivo es “*favorecer el ejercicio del derecho a la educación y el desarrollo socio-profesional*”

¿Cómo podemos poner un pero a estas magnánimas palabras? Pues, el pero se pone él solito cuando se afirma, sin rubor alguno, que para completar la formación de los jóvenes se facilitarán las prácticas profesionales o el desarrollo de proyectos de investigación científica y tecnológica. Pero... la práctica profesional se adquiere trabajando, y para ello se requiere un contrato de trabajo, NO UNA BECA, ¿no? En cuanto a la investigación, es evidente que son los investigadores y tecnólogos quienes se encarga de desarrollar este trabajo, y como tal ha de estar cubierto por uno contrato de trabajo, NO UNA BECA, ¿no? Si nos encontramos ante trabajo, no es aplicable la Ley General de Subvenciones, como pretende el DECRETO 132/2009, sin el Estatuto de los Trabajadores.

Analizando el comienzo del DECRETO 132/2009 nos encontramos los aspectos más esclarecedores:

- Artículo 1. Determina que su objeto es establecer el régimen jurídico de las **becas de prácticas profesionales**

- Artículo 2. Dispone que este derecho es de aplicación para aquellas becas que convoque la Generalitat Valenciana y sus órganos.
- Artículo 3. Aquí tenemos la cuadratura del círculo, cuando dice una cosa y lo contrario. Primero, expresa que las becas son ayuda económicas sin contraprestación, y a renglón seguido indica que para acercar al conocimiento práctico de la administración pública, las **becas de prácticas profesionales** implican la realización de tareas en dependencias de la generalitat.

Los requisitos de los solicitantes de estas becas de prácticas profesionales ponen de manifiesto las leoninas condiciones impuestas:

No ser mayor de 35 años. Debe darles vergüenza tener becarios que rondan la cuarentena.

Disponer de cobertura sanitaria. Qué más dará que la sanidad sea una prestación universal garantizada constitucionalmente. Ellos no quieren preocuparse de esas minucias.

Ser titulados universitarios y que no haya transcurrido más de 5 años desde su finalización. ¡Claro! Quieren tener “carne fresca” recién salida de la universidad a la que explotar convenientemente bajo el amparo de estas becas.

Es escandaloso que, aprovechando la nefasta coyuntura económica en la que nos encontramos, la administración pública instituya los instrumentos para explotar a los jóvenes titulados que se encuentra en disposición de trabajar pero que no logran un contrato de trabajo.

Es intolerable que la Administración Pública, abusando de su posición de superioridad y de la presunción de legalidad que revisten sus actos, destruya los más esenciales principios del Estado de Derecho. Está pisoteando los derechos sociales que los trabajadores han ido conquistando a lo largo de la historia.

Este INFAME DECRETO 132/2009 supera de forma exorable todas las calamidades sociales en que se encuentran los jóvenes trabajadores. No se puede revestir de INTERÉS SOCIAL la realización de tareas en dependencias públicas, pues contradice la propia definición de subvención que establece la ausencia de contraprestación directa. Es, simple y llanamente una falacia. En esta situación nos encontramos, nítidamente, ante un fraudulento encubrimiento de un puesto de trabajo, donde se observan todas las características básicas que establece el Estatuto de los Trabajadores: voluntariedad, remuneración, ajenidad, dependencia y jerarquía.

Mientras los gobiernos, de uno y otro lado, se empeñen en machacar a los jóvenes trabajadores, a los jóvenes investigadores, a quienes empezamos nuestra andadura por la vida laboral, ¿qué podremos esperar de los empresarios privados. Ya lo dice el sabio refranero español “qué harán los frailes cuando el prior retoza”



CRÍTICA DE LIBROS

JAMES CLERCK MAXWELL. ESCRITOS CIENTÍFICOS

José Manuel Sánchez Ron

Germán Sastre

Instituto de Tecnología Química UPV-CSIC.
gsastre@itq.upv.es

Año: 1998

Título: James Clerk Maxwell. Escritos científicos

Autor: José Manuel Sánchez Ron

Editorial: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Colección: "Clásicos del pensamiento"

ISBN: 84-00-07710-5

Páginas: 161

El libro del Profesor Ron disecciona y analiza la vida y obra de Maxwell. La primera parte del libro contiene una biografía de su quehacer científico encuadrado en la sociedad científica británica de la segunda mitad de siglo XIX, cincuenta años de excepcional progreso científico en un país, Reino Unido, donde las condiciones para hacer ciencia eran óptimas. La ciencia era entonces una actividad ya muy respetada por la sociedad, y todavía en estado puro, practicada sólo por una élite cuajada de grandes cerebros. En su campo destacan Faraday, Clausius, Joule, y J. J. Thomson, entre otros muchos.

La segunda parte del libro recoge Conferencias: Conferencia Inaugural en el King's College de Londres (1860), Discurso ante la sección de matemáticas y física de la Asociación Británica para el Progreso de la Ciencia (1870), Conferencia introductoria sobre física experimental (1871); Escritos Científicos: sobre Faraday, y Helmholtz; y Artículos Científicos: "Sobre la acción a distancia" (1873), "Sobre los anillos de Saturno" (1862), "Moléculas" (1873), "Átomo" (1875), "Limitación de la segunda ley de la termodinámica" (1871), "Una teoría dinámica del campo electromagnético" (1865).

Hay que felicitar el trabajo realizado por la esposa de José Manuel Sánchez Ron en la gran calidad de la traducción del inglés de los trabajos originales de Maxwell hasta el punto, perdonadme el atrevimiento, de que debería haber sido reconocida coautora del libro. Como punto negativo del libro destaco el considerable número

de incorrecciones ortográficas, algo especialmente grave en un miembro de la Real Academia, cuyo sillón G ocupa desde 2003 el autor.

BIOGRAFÍA Y OBRA CIENTÍFICA

James Clerk Maxwell nació (Glenair, Edimburgo, 13-jun-1831) en el seno de una familia escocesa de clase media, hijo único de un abogado de Edimburgo. Tras la temprana muerte de su madre a causa de un cáncer abdominal —la misma dolencia que pondría fin a su vida—, recibió la educación básica en la Academia de Edimburgo, bajo la tutela de su tía Jane Cay.

Su apodo en la escuela era "Daftie", un apodo despectivo por su diferencia de carácter con los demás niños y por haber llevado zapatos caseros y pobres en el primer día de clase. Con tan sólo dieciséis años ingresó en la universidad de Edimburgo, y en 1850 pasó a la Universidad de Cambridge, donde deslumbró a todos con su extraordinaria capacidad para resolver problemas de física y matemáticas. Cuatro años más tarde se graduó en esta universidad, pero el deterioro de la salud de su padre le obligó a regresar a Escocia y renunciar a una plaza en el prestigioso Trinity College de Cambridge. En 1856, poco después de la muerte de su padre, fue nombrado profesor de Filosofía Natural en el Marischal College de Aberdeen.

Dos años más tarde se casó con Katherine Mary Dewar, hija del director del Marischal College. En 1860 obtuvo el puesto de profesor de filosofía natural en el King's College de Londres, y en esta época inició la



etapa más fructífera de su carrera e ingresó en la Royal Society (1861). En 1871 fue nombrado director del Laboratorio Cavendish. Murió en Cambridge, el 5 de noviembre de 1879, a la edad de 48 años. Durante toda su vida fue un cristiano religioso. Poco antes de morir escribía así a su amigo el profesor y reverendo F. J. Hort: "He estado pensando qué amablemente he sido tratado siempre. Nunca en mi vida me han dado un empujón violento. El único deseo que puedo tener es, como David, servir a mi propia generación por el deseo de Dios, y después caer dormido".

Su producción científica fue extraordinaria y uno de sus grandes méritos consistió en evadirse, en parte, de considerar todos los fenómenos físicos como fenómenos mecánicos, como era típico en su época, introduciendo y enseñando nuevas formas de pensar. Sus dos mayores aportaciones fueron el desarrollo conceptual de un conjunto de ecuaciones que expresan las leyes básicas de la electricidad y magnetismo, y la fundación de la mecánica estadística a través de su teoría cinética de gases. Maxwell fue la mente físico-matemática más preclara de su tiempo. En 1931 con motivo de la celebración del centenario de su nacimiento, Albert Einstein describió el trabajo de Maxwell como "el más profundo que la física ha experimentado desde los tiempos de Newton".

A los 14 años presentó en la Real Sociedad de Edimburgo un método sencillo de trazado de óvalos perfectos, y a los 18 años escribió dos trabajos; el primero sobre la teoría de las ruletas, y el segundo sobre equilibrio de sólidos elásticos. En 1855 a los 24 años, publicó su primer trabajo sobre electricidad, titulado: "On Faraday's lines of force". No presenta en él una teoría mecánica coherente, sino una serie de imágenes hidrodinámicas que le permiten llegar a las leyes que rigen el electromagnetismo utilizando un lenguaje matemático nuevo en gran parte.

En sus primeros escritos científicos Maxwell desarrolló una teoría del color y de la visión; y estudió la naturaleza de los anillos de Saturno, demostrando que estos no podían estar formados por un único cuerpo sino que debían estar formados por una miríada de cuerpos mucho más pequeños. También fue capaz de probar que la teoría nebular de la formación del sistema solar vigente en su época era errónea, ganando por estos trabajos el Premio Adams de Cambridge en 1859. En 1860, Maxwell demostró que era posible realizar fotografías en color utilizando una combinación de filtros rojo verde y azul obteniendo por este descubrimiento la Medalla Rumford ese mismo año.

Algo más tarde Maxwell publicó dos artículos, clásicos dentro del estudio del electromagnetismo, y desarrolló una destacable labor tanto teórica como experimental en termodinámica; las relaciones de igualdad entre las

distintas derivadas parciales de las funciones termodinámicas, denominadas ecuaciones de Maxwell, están presentes de ordinario en cualquier libro de texto de la especialidad.

Sin embargo, son sus aportaciones al campo del electromagnetismo las que lo sitúan entre los grandes científicos de la historia. En el prefacio de su obra "Treatise on Electricity and Magnetism" (1873) declaró que su principal tarea consistía en justificar matemáticamente conceptos físicos descritos hasta ese momento de forma únicamente cualitativa, como las leyes de la inducción electromagnética y de los campos de fuerza, enunciadas por Michael Faraday. Colaboró con los matemáticos de su tiempo (en particular Peter Tait) en el análisis vectorial, ayudando a introducir los conceptos de flujo, divergencia y rotacional. Más adelante y, por su cuenta, definió el potencial vector, independientemente de toda analogía mecánica, que considera al campo magnético como el rotacional de un potencial vector, ligado simplemente a la intensidad y a la geometría de los circuitos que crean el campo

Su tratado más importante, "Treatise on Electricity and Magnetism", estaba basado, en parte, en otra obra suya anterior, publicada en 1864 ("A dynamical theory of the electromagnetic field"), y contiene los resultados más importantes de sus trabajos que le condujeron a formular la teoría electromagnética de la luz, así como sus célebres ecuaciones del campo electromagnético. Los trabajos iniciados por Young, y continuados por Fresnel, habían llevado a la conclusión de que la luz era un movimiento ondulatorio transversal. La imposibilidad, por una parte, de que este tipo de movimiento pudiera tener lugar en los medios fluidos y el hecho, por otra, de que la luz se propaga en el vacío, obligó a admitir la existencia de un «éter elástico que lo llenaba todo y que servía de asiento a las vibraciones luminosas». Esta hipótesis, no obstante, no resultaba satisfactoria y Maxwell la rechazó en 1864, estableciendo una nueva hipótesis sobre la naturaleza electromagnética de la luz, afirmando que lo que avanza con ella es una variación de los estados eléctrico y magnético del medio; es decir, un campo eléctrico \mathbf{E} y un campo magnético \mathbf{H} , perpendiculares entre sí y perpendiculares, a su vez, a la dirección de propagación. Maxwell introduce en su teoría la noción de corriente de desplazamiento, que aparece cada vez que tiene lugar una variación con el tiempo de la inducción eléctrica (desplazamiento eléctrico), \mathbf{D} . Formula entonces la forma completa de una de sus ecuaciones fundamentales: $\text{rot } \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{J} + \partial\mathbf{D}/\partial t$; siendo \mathbf{H} el campo magnético y \mathbf{J} la densidad de la corriente de conducción. Esta es una generalización de la ley de Ampère. Otra de sus ecuaciones, similar (simétrica) a la anterior es: $\text{rot } \mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t$ (\mathbf{B} es la inducción magnética); y es una generalización de la ley de Faraday.



Así, con sus famosas cuatro ecuaciones, Maxwell introdujo el concepto de onda electromagnética, que permite una descripción matemática adecuada de la interacción entre electricidad y magnetismo a través de los campos de fuerzas. Su teoría sugirió la posibilidad de generar ondas electromagnéticas en el laboratorio, hecho que corroboró Heinrich Hertz en 1887, ocho años después de la muerte de Maxwell, y que posteriormente supuso el inicio de la era de la comunicación rápida a distancia. Muchos historiadores de la Ciencia señalan este momento como el inicio de la era tecnológica. La transformación de la energía en sus diversas fuentes pasa a ser el hecho característico de la civilización actual, como antaño lo fueron las Edades de los metales (hierro, bronce, etc). El salto posterior, en el que actualmente nos encontramos inmersos, consistirá en dominar nuevas fuentes de energía y en su transformación (y empaquetamiento) para el consumo masivo y el respeto al medio ambiente.

Maxwell aplicó el análisis estadístico a la interpretación de la teoría cinética de los gases, con la denominada función de distribución de Maxwell-Boltzmann, que establece la probabilidad de hallar una partícula con una determinada velocidad en un gas ideal diluido y no sometido a campos de fuerza externos. Justificó las hipótesis de Avogadro y de Ampère; demostró la relación directa entre la viscosidad de un gas y su temperatura absoluta, y enunció la ley de equipartición de la energía.

Maxwell trabajó en muchas otras áreas de la física descubriendo por ejemplo la birrefringencia temporal de los cuerpos elásticos translúcidos sometidos a tensiones mecánicas. La influencia de las ideas de Maxwell va más allá, si cabe, de lo especificado, ya que en ellas se basan muchas de las argumentaciones tanto de la teoría de la relatividad einsteiniana como de la moderna mecánica cuántica del siglo XX.

EXTRACTOS DE ALGUNOS DE SUS ESCRITOS

Carta de Maxwell a Michael Faraday, 9-nov-1857.

"A mi entender usted es la primera persona en quien la idea de cuerpos que actúan a distancia, poniendo en estado de constricción el medio circundante, ha surgido como un principio en el que se puede creer realmente. Se nos han propuesto flujos de ganchos y anillos volando alrededor de los imanes, e incluso dibujos que los representan acosados de este modo; pero nada resulta más claro que sus descripciones de todas las fuentes de fuerza manteniendo un estado de energía en todo su alrededor, estado que con su aumento o disminución mide el trabajo realizado en un cambio cualquiera del sistema. Parece que usted está viendo las líneas de fuerza curvándose alrededor de los obstáculos, dirigiéndose rectas hacia los conductores o retorciéndose

según ciertas direcciones en los cristales, y transportando consigo hacia todas partes la misma cantidad de poder atractivo, difundiéndose con mayor holgura o concentración, según las líneas se ensanchen o compriman".

Carta de Maxwell a Lewis Campbell, 7-jun-1850.

"La verdadera Lógica es el Cálculo de Probabilidades... Esta rama de la Matemática, de la que se piensa generalmente que favorece las apuestas, los dados y la vacilación, y que por consiguiente es altamente inmoral, es la única "Matemática para el hombre práctico", algo que todos deberíamos ser."

"Illustrations of the dynamical theory of gases", Philosophical Magazine, parte 1 (On the motions and collisions of perfectly elastic spheres) 1860, 19, 19-32.

Aunque Clausius basó su trabajo en la suposición de que todas las moléculas del gas tenían la misma velocidad, sabía que esto no era cierto. Una de las aportaciones más importantes -seguramente la más importante- de Maxwell en su artículo de 1860 fue la obtención de una fórmula estadística para la distribución de las velocidades en un gas a presión uniforme. En concreto, en la "Proposición IV" obtenía la expresión que da el número medio de partículas cuyas velocidades se encuentran entre límites dados (v y $v+dv$), después de un gran número de colisiones entre un número igualmente elevado de partículas idénticas:

$$dN_v = \frac{4 \cdot N}{\alpha^3 \cdot \pi^{1/2}} \cdot v^2 \cdot e^{-\frac{v^2}{\alpha^2}} \cdot dv$$

donde 'alfa' es una magnitud con dimensiones de velocidad. Esta es una de las expresiones de su famosa "función de distribución", con la que de hecho comenzó una nueva era de la física; una expresión que tenía, además, una forma familiar: "Parece de esta proposición que las velocidades están distribuidas entre las partículas de acuerdo con la misma ley que los errores se distribuyen entre las observaciones en la teoría del método de los mínimos cuadrados".

Conferencia inaugural en el King's College de Londres, 1860.

"Conozco la tendencia de la mente humana para hacer cualquier cosa en lugar de pensar. Ninguno de nosotros espera tener éxito sin esfuerzo, y todos sabemos que aprender cualquier ciencia requiere trabajo mental, y estoy seguro que todos dedicaremos una gran cantidad de trabajo mental para aprender nuestras materias. Pero el trabajo mental no es pensamiento, y aquellos que han adquirido con gran esfuerzo el hábito de la dedicación, con frecuencia encuentran mucho más fácil aprender



una fórmula que dominar un principio. Me esforzaré para mostrarles aquí -comprobarán después que efectivamente así es- que los principios son fértiles en resultados, mientras que los meros resultados son estériles, y que el hombre que ha aprendido una fórmula está a merced de su memoria, mientras que el que ha reflexionado sobre un principio puede mantener su mente libre de fórmulas, sabiendo que puede hacer con ellas el cálculo que quiera cuando lo necesite. Apenas es necesario añadir que aunque el pensar es un proceso del que la mente naturalmente huye, sin embargo, una vez que se ha completado el proceso, la mente siente un poder y un placer que hace que en el futuro piense poco en los sufrimientos y agonías que acompañan la travesía de la mente en un estado de desarrollo a otro. Es únicamente gracias a la formación matemática, que nos permite ver las consecuencias de la introducción de cada nuevo principio en la ciencia, que podemos apreciar completamente el valor de estos principios, y únicamente mediante el cálculo matemático es posible comparar los resultados finales con los hechos”.

Discurso “Molecules” 1873. Publicado en varias revistas, entre otras Nature 1873, 8, 437-441.

“El proceso reciente de la ciencia molecular comenzó con el estudio del efecto mecánico del impacto de estas moléculas móviles cuando chocan contra cualquier cuerpo sólido. Naturalmente, estas moléculas voladoras tienen que golpear cualquier cosa que se coloque entre ellas, y la sucesión constante de estos golpes es, según nuestra teoría, la única causa de lo que denominaremos presión del aire y otros gases.

Parece que fue Daniel Bernouilli el primero que sospechó esto, pero no tenía los medios que poseemos nosotros ahora para verificar la teoría. La misma teoría fue posteriormente presentada de forma independiente por Lesage, de Ginebra, quien, sin embargo, dedicó la mayor parte de su trabajo a explicar la gravitación por el impacto de átomos. Luego, Herapath, en su *Mathematical Physics*, publicado en 1847, hizo una aplicación mucho más extensa de la teoría de los gases, y el Dr. Joule, cuya ausencia de nuestra reunión todos lamentamos, calculó la propia velocidad de las moléculas de hidrógeno.

Se supone generalmente que el desarrollo posterior de la teoría comenzó con un artículo de Krönig, que, sin embargo, por lo que puedo observar, no contiene ningún avance con relación a lo que se sabía con anterioridad. No obstante, parece haber llamado la atención del profesor Clausius sobre el tema, y a él debemos una parte muy grande de lo que se ha conseguido desde entonces.

Todos sabemos que el aire o cualquier otro gas colocado en un recipiente ejerce una presión contra las pare-

des del recipiente, y contra la superficie de todo cuerpo colocado dentro de él. En la teoría cinética esta presión se debe enteramente a las moléculas que golpean contra esas superficies, comunicándoles, por consiguiente, una serie de impulsos que se suceden de manera tan rápida que producen un efecto que no es posible distinguir del producido por una presión continua.

Si la velocidad de las moléculas viene dada, pero se varía su número, entonces, como cada molécula, en promedio, golpea los lados del recipiente el mismo número de veces, y con un impulso de la misma magnitud, cada una contribuirá en la misma medida a la presión total. La presión en un recipiente de tamaño dado es, por consiguiente, proporcional al número de moléculas que contiene, es decir, a la cantidad de gas que hay en él.

Esta es la explicación dinámica completa del hecho descubierto por Robert Boyle, de que la presión del aire es proporcional a su densidad. Muestra también de que cada una de las diferentes partes de un gas introducidas en un recipiente, produce su propia contribución a la presión, independientemente de las demás, y esto con independencia de que tales partes sean o no del mismo gas.

Supongamos a continuación que aumenta la velocidad de las moléculas. Ahora cada molécula golpeará los lados del recipiente un número mayor de veces por segundo, pero, además, el impulso de cada golpe aumentará en la misma proporción, de forma que la parte de presión debida a cada molécula variará con el cuadrado de la velocidad. Pero en nuestra teoría el aumento de la velocidad corresponde a una elevación de la temperatura, y de esta manera podemos explicar lo que sucede al calentar el gas, y también la ley descubierta por Charles, de que la expansión proporcional de todos los gases entre temperaturas dadas es la misma.

La teoría dinámica también nos dice qué ocurrirá si permitimos que moléculas de masas diferentes choquen juntas. Las masas más grandes se moverán más lentas que las más pequeñas, de manera que, en promedio, cada molécula, grande o pequeña, tendrá la misma energía de movimiento.

La prueba de este teorema dinámico, del que reclamo la prioridad, ha sido enormemente desarrollada y mejorada recientemente por el Dr. Ludwig Boltzmann. La consecuencia más importante que se desprende de él es que un centímetro cúbico de cada gas, a temperatura y presión estándar, contiene el mismo número de moléculas. Esta es la explicación dinámica de la ley de Gay Lussac de los volúmenes equivalentes de gases.”

