

# Apuntes de CIENCIA y Tecnología

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

Número 14, marzo de 2005

ISSN: 1577- 6794

## Contenido:

	Pág.
<b>CORRESPONDENCIA</b> .....	4
<b>NOTICIAS DE LA AACTE</b> .....	9
La AACTE publica una carta en el diario El Mundo; 9. Convocada la Asamblea General Ordinaria de la AACTE 2005: 10.	
<b>OPINIÓN:</b>	
<b>Las cosas tal y como son</b> , por Eugenio Degroote .....	11
<b>La política científica española vista desde Europa: Vente a Alemania, Pepe</b> por José I. Jiménez Zarco .....	12
<b>La promoción por la gestión (o la gestión para la promoción)</b> por José Luis Marco Contelles .....	13
<b>NOTICIAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b> .....	15
El Tsunami del Índico: otro ejemplo de que el conocimiento científico sólo no basta: 15. A la búsqueda de los antepasados míticos: 16. Se conceden los primeros proyectos con células madre en España: 17. El Ministerio anuncia medidas para la contratación estable de investigadores: 18. El protocolo de Kioto entra en vigor: 19. Open Access: 20. Un mapa celeste del siglo II a.C.: 20. La Evolución: nada más que una teoría: 21. Breves: 21.	
<b>ARTÍCULOS:</b>	
<b>Primos: ayer y hoy</b> , por Elena Cristóbal y Fernando Chamizo .....	23
<b>Análisis de la productividad científica de las universidades españolas</b> , por Gualberto Buena-Casal .....	36
<b>EL RINCÓN PRECARIO</b> .....	44
<b>CRÍTICA DE LIBROS:</b>	
<b>“La creación del universo”, de George Gamow</b> , por Germán Sastre Navarro .....	48

## **INSTRUCCIONES A LOS AUTORES**

Se pueden hacer tres tipos de contribuciones a la revista “Apuntes de Ciencia y Tecnología”: a) cartas; b) artículos de opinión; y c) artículos científicos. En todos los casos los textos y figuras deberán ser enviados por correo electrónico al director, a la dirección [a.gutierrez@uam.es](mailto:a.gutierrez@uam.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.es>). 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 falto 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.

**DIRECTOR**

Alejandro Gutiérrez

**SUBDIRECTORES**Miguel Ángel Cambor, Rosario Gil,  
Amelia Sánchez Capelo**REDACTORES JEFE**Miguel Ángel Cambor (Noticias de  
Ciencia y Tecnología), Rosario Gil  
(Rincón Precario), Amelia Sánchez  
Capelo (Artículos Científicos), Germán  
Sastre (Crítica de Libros)**REDACTORES**Irene Barinaga (Rincón Precario),  
Daniel Farías (Artículos Científicos),  
Ricardo González (Noticias de Ciencia  
y Tecnología), M<sup>a</sup> Francisca López  
(Correspondencia), Rosendo Vilchez  
(Noticias de la AACTE), José Luis  
Yela (Crítica de Libros)**CONSEJO EDITORIAL**Rafael Alonso, Antonio Aparicio,  
Eugenio Degroote, Antonio Delgado,  
Carmen F. Galaz, Juan F. Gallardo,  
Cristina García Viguera, Julio  
Gutiérrez, María Manzano, Pedro  
Martínez, Arcadi Navarro, José Niño  
Mora, Rafael Rodríguez Puertas, Luis  
Rull, Luis Santamaría**JUNTA DIRECTIVA DE LA AACTE**Presidente: Amelia Sánchez Capelo  
Vicepresidente: Jordi Pérez i Tur  
Tesorero: Pablo Aitor Postigo Resa  
Secretario: Rosendo Vilchez Gómez  
Vocales: Máximo Florín Beltrán,  
Rosario Gil García, Germán Sastre  
Navarro

*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.es>

*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.

© 2005 AACTE

Para cualquier asunto relacionado con  
la revista, contactar mediante correo  
electrónico con el Director, en la  
dirección [a.gutierrez@uam.es](mailto:a.gutierrez@uam.es)

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

El Comisario Europeo de Ciencia e Investigación, J. Potocnik, ya está trabajando en la elaboración del VII Programa Marco, que se revela ambicioso. Dicho Programa deberá comenzar en 2007 y pretende alcanzar el 3,7% del presupuesto total de la UE, es decir, adjudicar unos 9 Geuros anuales a gastos de I+D. Ello supone sobrepasar generosamente el 3% fijado como meta para 2010 en cumbres europeas anteriores (Lisboa y Barcelona) y superar el estancado 1,92% actual. En dicho Programa se recalca la deseable participación de las empresas e industrias privadas y se abre la puerta a la financiación de grupos más básicos y más pequeños que las macrorredes de anteriores programas, tal y como reclamaban numerosos investigadores y una vez que se supone superada la vinculación intraeuropea que dichas redes pretendían forzar.

Estas medidas, planificadas con gran antelación por la UE, contrastan con la deprimente actualidad española, después de la incumplida promesa electoral de aumento del gasto de I+D. Se dice que gastamos el 1,1% de nuestro PIB en I+D, pero ello incluye gastos militares, que no se eliminaron por cuestión de *marketing* político tras las pasadas elecciones, y que a menudo encubren gastos ajenos a la I+D. Nuevos países europeos con un nivel socioeconómico menor, como Chequia o Eslovenia, dedican a la investigación un porcentaje mayor que España, y eso sin inflarlo con gastos militares.

Pero peor que esta insuficiencia en el gasto es la improvisación con que a menudo se acometen las grandes decisiones en el panorama de la I+D nacional. En el CSIC, por ejemplo, vemos cómo se combina el anuncio de ambiciosos planes de reforma con medidas que no parecen concordar con dichos planes e incluso resultan, probablemente, contraproducentes. La reforma que se pretende acometer persigue aumentar la eficiencia de la institución mediante la modificación de su estatus jurídico, lo que debería conducir a la reducción del gasto institucional. Sin embargo, la primera de las medidas a las que aludíamos ha sido la de aumentar la recaudación aplicada a los proyectos obtenidos por sus investigadores, los llamados costes indirectos, que suben del 19 al 23% y pasan a aplicarse también a los gastos de personal. Lo peor es que dicha medida se aplica de forma retroactiva a los proyectos ya en curso y presupuestados, por tanto, en base a la norma anterior. Por otro lado, la presidencia ha encargado a su personal que dedique una parte considerable de su tiempo a elaborar un nuevo Plan Estratégico. Dicho plan pretende utilizarse como base para un contrato de gestión plurianual con la Administración cuando se negocie el nuevo estatus jurídico del CSIC. No parece tener sentido que algo tan supuestamente importante se requiera con tantísima urgencia (se ha dado un plazo de dos meses) y fuera de plazo (se trata de un plan para el periodo 2005-2009 y se encarga cuando dicho período ya ha comenzado). Pero es que, además, esta falacia administrativa choca con la tremenda realidad de que el dinero que llega al CSIC para su funcionamiento no procede de fondos propios (que permitirían establecer y, sobre todo, implementar dicho Plan Estratégico), sino de los fondos que logan sus investigadores individualmente. Con estas condiciones se hace complicada cualquier programación a medio plazo.

En definitiva, a la exigencia de que las necesarias reformas emprendidas desde el Ministerio vayan acompañadas de un adecuado apoyo presupuestario, debe unirse el que estén diseñadas y planificadas con objetivos bien definidos, desde una visión integrada del sistema científico, con un proyecto claro que incluya el papel de la universidad y las distintas OPIs, en lugar de acometer reformas fragmentarias y, más a menudo que no, decididas *entre bastidores*.

## CORRESPONDENCIA

### El que no investiga, no firma

A propósito de un debate sobre la mejor manera de valorar los CVs, se consideraba en el foro de correo electrónico de la AACTE la dificultad para conocer la participación real de un firmante en un artículo. Lamentablemente, la coautoría de una publicación científica no garantiza la contribución real a dicha publicación. Son de sobra conocidas prácticas como la de “en mi laboratorio, todos firmamos todo” o “el jefe de grupo/director de departamento firma todo lo que se produce en el grupo/ departamento”.

¿Por qué se toleran semejantes comportamientos? Hay un buen componente de servilismo, miedo, pago de favores... Esta carta pretende llamar la atención sobre un tema crucial de falta de ética científica al que deberíamos prestar mayor atención, si queremos que algo cambie en el *modus operandi* de muchos grupos científicos. Del mismo modo que ahora se considera evidente que “el que contamina, paga”, también habría que lograr que el dicho “el que no investiga, no firma” se hiciese algo natural y aceptado en la comunidad científica.

Parecen existir algunas directrices que permiten decidir quién tiene derecho a firmar una publicación científica, pero ignoro hasta qué punto son aceptadas por la comunidad científica. Por ejemplo:

- leer y comentar el manuscrito no da derecho a firma,
- sugerir la idea del trabajo no da derecho a firma,
- financiar económicamente un trabajo, proyecto, o equipo no da derecho a firma (si no, el rey o el ministro deberían firmar todas nuestras publicaciones),
- hacer el trabajo de campo, o analizar todas las muestras, no da derecho a firma.

Si un trabajo científico puede dividirse en cuatro fases (diseño, trabajo de campo, análisis de los datos y redacción), cada firmante debe haber participado sustancialmente en al menos dos de esas fases. Además, todo firmante del trabajo debería ser capaz de defender el mismo en un foro público (por ejemplo, en un congreso). Si se aplican esas directrices, muchos jefes de grupo y directores de tesis no merecerían firmar absolutamente nada. Precisamente, las razones que suelen aducir algunos investigadores para imponer su firma a doctorandos,

posdoctorales o personal bajo su mando son las basadas en un “mecenazgo difuso” y, obviamente, insatisfactorias. Y eso a pesar de que estas directrices hacen relativamente sencilla la contribución sustancial de perfiles investigadores normalmente alejados del trabajo de campo y el análisis de datos; basta con la participación en el diseño y la redacción de los manuscritos. No puede aducirse, por tanto, que se trata de directrices draconianas.

Es responsabilidad de cada investigador el atenerse a estas directrices de ética científica (u otras similares si existen) y transmitir las a los investigadores de sus grupos. Como ejemplo de ética científica (que me consta que causa estupor en el panorama actual español) puedo citar mi experiencia en Suecia. En todas las tesis que he visto dirigir (y no bajan de 20) el director promueve activamente que al menos uno de los capítulos de la tesis (que se plantea como una colección de artículos publicados) vaya firmado en solitario por el doctorando. Las razones son obvias: azuzar al doctorando a que trabaje de modo independiente. No sólo eso; se promueve que el doctorando firme capítulos de su tesis con terceras personas sin la coautoría del director. Se pretende con ello fomentar en el doctorando la colaboración con otros investigadores. Aunque es una actitud admirable y que pienso aplicar en mi actividad científica, contrasta duramente con la idea de que un director de tesis debe firmar todo lo que produce su doctorando, aduciendo una deuda intelectual o financiera que, espero haber dejado claro, es injustificada.

La estructura jerárquica de muchos grupos de investigación, y la posición de dependencia de los doctorandos, hace muy difícil ningún movimiento de ‘desobediencia’ ante estas imposiciones de firmas. No obstante, lo realmente lamentable no es que ocurran, sino que se consideren algo normal, que no se cuestione ese *status quo*. Tenemos que fomentar la difusión de otra manera de trabajar más ética e incluso luchar activamente por la adopción institucional en centros de investigación y universidades de directrices claras de ética científica. Espero que esta carta contribuya a ello.

Marcos Méndez Iglesias  
Socio de la AACTE  
Universidad Rey Juan Carlos



## Sobre la crítica del libro “El enigma de Fermat”

Apasionante la crítica de Germán Sastre del libro “El Enigma de Fermat” de Simon Singh, sobre una historia también apasionante (publicada en el n° 13 de esta revista). Muy recomendable incluso para los que, como yo, no tenemos los conocimientos matemáticos que quiéramos, y aún así *flipamos* con los primos, las ecuaciones y los números en general. Y ahora la gran pregunta: ¿tenía de verdad Fermat una demostración maravillosa pero que no le cabía en el margen? Yo me imagino que creyó tenerla, como creyó tenerla Cauchy, y como creyó tenerla Wiles antes de tenerla de verdad, y estaban los tres equivocados. También me llama la atención que una demostración maravillosa no mereciese un artículo, y que Fermat no diese a esa demostración el valor que después ha tenido. Supongo que Fermat, que si no recuerdo mal era abogado de profesión y matemático por afición, no tenía tiempo para todo.

Y una reflexión de “política científica”: hay que ver cómo un problema que parece una mera curiosidad ha hecho avanzar la teoría de números. Se me ocurre alguna analogía con el eterno problema de la investigación básica y la investigación aplicada.

¡Enhorabuena, Germán!

Miguel Ángel Cambor  
Socio de la AACTE  
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid



La verdad es que el libro vale la pena leerlo para quien tenga interés en el tema. En relación a la pregunta que plantea Miguel Ángel Cambor, Fermat es un curioso caso de persona cuyo hobby se le da muchísimo mejor que su profesión. Supongo que era difícil vivir de las matemáticas tal y como a él le gustaban, es decir, a nivel de investigación. Fermat asimiló toda la aritmética de su tiempo muy fácilmente y poseía un talento innato para los números enteros. Muchas de sus demostraciones eran de una elegancia y simplicidad pasmosa. Nunca dio una demostración errónea. Cuando resolvía un problema lo que hacía era retar a la comunidad de matemáticos a ver si resolvían el problema. En muchos casos todos se daban por vencidos y, entonces, el publicaba su solución. Esto le gana algunos enemigos, aunque en

general era muy respetado. En la crítica hablo del teorema de los números primos (los del tipo  $4n+1$  se pueden desglosar como suma de dos cuadrados, y los del tipo  $4n-1$  nunca se pueden desglosar de esa manera). Para Fermat, dice el libro, se trataba de una de sus muchas pruebas privadas (que, del contexto del libro, entiendo que no se conserva o no se ha encontrado), y casi un siglo después tuvo que ser Euler quien, tras casi siete años de trabajo, logró encontrar una demostración.

Fermat sólo publicaba -al parecer- después de conseguir *cabrear* al personal matemático del momento. La verdad es que no me atrevo a decantarme sobre si Fermat tenía o no la prueba de su famoso teorema. No lo sé. A lo mejor alguien con más datos, por estar en contacto con la comunidad matemática o por haber leído otras fuentes, puede decir algo al respecto... Respecto a la reflexión de “política científica”, es verdad que este es otro caso más de cómo la ciencia básica tira de otras ramas. Y de cómo la investigación de algo te lleva a cosas completamente nuevas e inesperadas. En ese sentido, el libro esta repleto de ejemplos.

Germán Sastre Navarro  
Vocal de la Junta Directiva de la AACTE  
Instituto de Tecnología Química, CSIC/UPV



## Fuga de cerebros

Un grupo de expertos de la Unión Europea ha estimado que solo 1 de cada 1.188 investigadores españoles en el extranjero regresa a España. Esta proporción es, además de sorprendente, cuestionable, porque no existe un censo de investigadores españoles en el extranjero. En cualquier caso, varios medios de comunicación se han hecho eco de este informe para llamar la atención sobre la “fuga de cerebros” españoles.

Dejando a un lado la fiabilidad de la estimación, creo que el debate sobre fuga de cerebros no se dirige en la dirección adecuada. No se trata de fomentar el retorno de los investigadores españoles en el extranjero, sino de fomentar la llegada de investigadores excelentes independientemente de su nacionalidad. Con frecuencia se oye el argumento de que el gobierno debe tomar medidas para que puedan volver los investigadores españoles porque su formación se pago con dinero público. Este argumento es económicamente irrelevante. Es como si

el Real Madrid propusiera contratar a los jugadores formados en su cantera en vez de tratar de contratar a los mejores del mundo, vengan o no de la cantera. Pretender que un país de tamaño medio como España sea autosuficiente en materia de investigadores es el colmo de la endogamia.

La solución al problema de la fuga de cerebros pasa por convertir el sistema de I+D español en un importador neto de investigadores. Los buenos investigadores españoles no querrán irse de un país que atrae a lo mejor del mundo (el exilio es raramente voluntario). Desde el punto de vista económico, el objetivo es maximizar la rentabilidad de la inversión española en formación de investigadores. Es decir, retener a los excelentes españoles y atraer a los excelentes de fuera (cuya formación es gratuita para España) en lugar de empeñarse en garantizar la estabilidad laboral de investigadores de una determinada nacionalidad.

Soy optimista. España disfruta de una posición envidiable para atraer a candidatos de cualquier nacionalidad: clima, cultura, gastronomía, la tercera lengua más hablada del mundo (especialmente importante para investigadores con hijos)... “Sólo” queda transformar radicalmente el sistema de I+D.

*Miguel Hernán*  
Socio de la AACTE  
Harvard University



### **Sobre el Programa Ramón y Cajal**

El Gobierno está preparando un plan de incentivación para la contratación estable de investigadores. Como contratado Ramón y Cajal estoy muy interesado en saber en qué consistirá ya que se ha dicho que esa va a ser la salida para la mayoría de los RyC, aunque es un plan abierto a todo el mundo. Hace algunos días se pudieron conocer algunos detalles gracias a una reunión mantenida entre representantes de la Asociación Nacional de Investigadores Ramón y Cajal y representantes del MEC. Los resumo a continuación:

El plan consistirá en un “premio”, equivalente al coste de tres años de salario del contratado, para aquellas universidades o centros de investigación (no incluido el CSIC) que contrate indefinidamente a un investigador que reúna unos requisitos mínimos. En la universidad el

tipo de contrato puede ser el de profesor contratado doctor o el de profesor titular. El salario no puede ser inferior al de los actuales RyC.

Los requisitos mínimos serán: a) al menos 7 años desde la lectura de la tesis, b) al menos 2 de esos años fuera de la institución contratante, c) pasar la evaluación de la ANEP (se habla de que puede bastar tener el equivalente a un sexenio para pasar esta evaluación, pero el listón no está fijado todavía)

Se pondrán toques en cuanto al número de contratos incentivados por centro y comunidad autónoma. Por un lado está el hecho, en el que no quiero entrar ahora, de que es un plan insuficiente para permitir la estabilización de todos los *cajales* y que, por lo tanto, el programa RyC (que se dijo que era un “tenure track”) acabará siendo un fracaso. En lo que quiero entrar, y en lo que creo que debería entrar la AACTE, es en lo siguiente: tal como se plantean, esas incentivaciones no van a beneficiar a los 300 mejores, ya que no se va a llevar a cabo una evaluación competitiva y con orden de prelación según méritos entre los interesados. Se va a fijar un listón mínimo que probablemente pasen muchos más de 300 con lo que, al final, serán las universidades, con sus propios criterios, las que elijan y se lleven el “premio”. Es algo similar a lo de convertir la habilitación en una acreditación. Para colmo se pretende fijar toques por centro y comunidad. Me parece que es un tema en el que la AACTE debería tratar de aportar su opinión, en el sentido de que las incentivaciones (300 o las que sean) se otorguen, no a los centros, sino a los interesados, en función de sus méritos respectivos (probablemente sin los requisitos mínimos de antigüedad, que no tienen por qué ser sinónimo de calidad), de manera que las instituciones que quieran disfrutar del premio tengan que contratar a uno de esos 300 mejores.

*Francisco Ramos Morales*  
Socio de la AACTE  
Universidad de Sevilla



Voy intentar meterme en la mente de los responsables del Ministerio de Educación y Ciencia (MEC):

¿Cuál era la idea del programa Ramón y Cajal (RyC)? Que el MEC pagara una parte del salario con una contribución decreciente a la

vez que las universidades iban, también de forma gradual, asumiendo el coste de dichos salarios para finalmente contratar a los RyC de manera definitiva.

¿Qué ha pasado? Sencillamente que las universidades (en gran parte) no han asumido su parte de la responsabilidad por razones políticas internas.

¿Qué es lo que supondría un fracaso para el MEC? Que éste tuviera que pagar el salario de los RyC de por vida mientras las universidades pudieran seguir contratando como antes, dejando a los investigadores al margen como hasta ahora. La solución: el plan de incentivación que está presentando el MEC en los últimos meses: tres años más de salario pero con la garantía de que las universidades después pagarán a los RyC de por vida. De esta manera obligan a las universidades a utilizar parte de su presupuesto en dichos salarios y a asumir una responsabilidad real en este terreno.

No son los responsables del ministerio los pueden hacer fracasar en última instancia el Programa. Son las universidades y las CCAA (salvo Castilla y León y ahora, según noticias recientes, Cataluña).

¿Significa esto que estoy totalmente de acuerdo con el MEC? No, deberían ser (haber sido) mucho más duros y:

- no admitir un nuevo investigador RyC (o Juan de la Cierva, JdIC) más en cualquier universidad en la que los RyC no tienen voto en los departamentos ni en centros en los que los RyC no vayan a ser estabilizados.

- no financiar un nuevo RyC/JdIC más en las CCAA que no actúen como Castilla y León

- sólo conceder proyectos de investigación y de infraestructura a universidades (CCAA) que se comprometan con la investigación no sólo con palabras sino con hechos, dejando al resto de las universidades como universidades sólo dedicadas a la docencia.

Mark van Raaij  
Socio de la AACTE  
Universidad de Santiago de Compostela



Hace ahora cuatro años, el antiguo Ministerio de Ciencia y Tecnología anunció el Programa "Ramón y Cajal" como una forma de reducir e invertir la llamada "fuga de cerebros" y consolidar a un número significativo de inves-

tigadores (más de 2000) en el sistema de investigación español. Consistía en un contrato de cinco años, dejando un amplio y oscuro interrogante sobre el futuro de los "Ramón y Cajal" una vez finalizado el mismo.

Este año, el nuevo Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) ha anunciado su denominado "Plan de Incentivación", que consiste en proporcionar a los Centros que establezcan a personal de alto nivel científico los tres primeros años del salario de ese personal contratado. En total, el MEC pagaría anualmente trescientos de estos contratos.

Desde la Asociación Nacional de Investigadores "Ramón y Cajal" (ANIRC) queremos manifestar nuestra opinión respecto a dicho Plan: lo consideramos insuficiente e inadecuado.

Insuficiente porque es escaso, tanto en oferta de plazas como en el periodo financiado. Inadecuado porque, al contrario que en el programa "Ramón y Cajal" (con selección *a priori* de los mejores candidatos), sólo incluye unos mínimos de investigación evaluados *a posteriori* de la contratación. Una evaluación *a posteriori* (como pretende el actual Plan de Incentivación del MEC) produce recelo en los Centros de contratación (universidades y OPIs), que deberán "arriesgarse" a contratar sin saber si el candidato elegido será incentivado. Es decir, difícilmente contratarán "a ciegas", o, con otras palabras, no se incentivará. Por el contrario, una evaluación con criterios públicos *a priori* (como proponemos desde la ANIRC) desencadenará una sana competencia entre organismos de investigación para la contratación de candidatos que hayan obtenido ya la idoneidad. De esta forma se fomentaría la contratación de investigadores evaluados positivamente. Todo el proceso debe guiarse por los criterios de calidad investigadora y publicidad de los concursos.

Por otro lado, los "Ramón y Cajal" de la primera convocatoria deberán someterse este mismo año (cuarto año de su contrato) a una evaluación científica por parte del MEC y, aunque quedan muy pocos meses para que comience esta evaluación, aún no se conocen los criterios por los que se regirá. Es urgente que el MEC haga públicos estos criterios. Asimismo, esta evaluación puede utilizarse para simplificar los aspectos administrativos del "Plan de Incentivación", de modo que aquellos "Ramón y Cajal" que sean evaluados

positivamente al cuarto año sean ya aptos para dicho plan, sin necesidad de una segunda evaluación.

El Plan, en su formato actual, no garantiza una oportunidad de futuro a todo investigador que lo merezca tras haber pasado numerosas evaluaciones. No sería aceptable que ningún "Ramón y Cajal" que haya cumplido con su contrato se quedara en la calle, bien por no cumplir unos criterios administrativos que se están barajando (ajenos a criterios de calidad), o bien por no convocarse ningún concurso en su área de investigación. Esta posibilidad no sería compatible con un gobierno que afirma tener "como estrategia de Estado el apoyo a la

investigación, y que debe acrecentar el número de sus investigadores".

El MEC todavía no ha resuelto uno de los grandes problemas de la ciencia en España: la falta de una carrera investigadora, sea en la Universidad o en otros Centros de investigación. El presente Plan de Incentivación es un parche a la estabilización de los investigadores y en ese sentido es, si se publica tal y como se conoce, una oportunidad perdida.

*Asociación Nacional de Investigadores Ramón y Cajal (ANIRC)*  
*<http://hobbes.fmc.uam.es/RYC>*





## NOTICIAS DE LA AACTE

### La AACTE publica una carta en el diario El Mundo

Ante las noticias que están saliendo en la prensa sobre la reforma de la Ley Orgánica de Universidades (LOU) desde la Junta Directiva de la AACTE se creyó urgente una reacción desde nuestra asociación. El Ministerio de Educación y Ciencia no ha respondido a nuestro escrito sobre la reforma de la LOU (enviado dos veces y por dos personas distintas) y creemos que de alguna forma debemos hacernos oír. Ante esta situación, la presidenta de la AACTE decidió escribir un borrador de lo que podría ser una carta al director de un periódico. En ella, se recoge la información que ha ido apareciendo y se reivindica lo que creemos desde la AACTE. Dicha carta se consensuó entre los socios y ha aparecido publicada en el diario El Mundo el 16 de marzo de 2005. A continuación, presentamos la carta.

Sr. Director:

El Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) ha abierto un periodo de debate que conducirá a la reforma de la Ley Orgánica de Universidades (LOU). La Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España (AACTE), comprometida con la mejora de la calidad universitaria y del sistema científico español, desea participar exponiendo lo que consideramos son los problemas fundamentales de la Universidad española y del sistema científico en general: la endogamia, la escasez de recursos y la ausencia de mecanismos que incentiven la calidad docente e investigadora, basados en evaluaciones objetivas de los méritos científicos y académicos.

La selección del profesorado universitario es clave para la búsqueda de la excelencia científica y universitaria. Sin embargo, la política de selección de personal se realiza en función de criterios poco transparentes, basados en afinidades personales más que de calidad y favoreciendo prácticas endogámicas. En este sentido, la habilitación para la selección del profesorado recogida en la LOU tiene el inconveniente de no evitar totalmente la endogamia. Sin embargo, dificulta la selección de profesores con bajo nivel, como ha ocurrido en demasiadas ocasiones. El riesgo de una acreditación sin límite de plazas, como se está proponiendo, es que podría descender el nivel hasta la cota necesaria para seleccionar al candidato “protegido” de la casa. La más generalizada crítica que se ha señalado a la LOU es que la habilitación resulta económica y académicamente costosa por su larga duración y por el alto número de funcionarios implicados. Tengamos en cuenta que la selección de un mal profesor es el mayor despilfarro que se puede cometer. Por otra parte, hay que recordar que con el sistema LRU apenas se presentaba el candidato cuya promoción estaba predeterminada. El gran número de candidatos que se presentan a las pruebas de habilitación es buena prueba de las expectativas que despierta este tipo de sistema.

Se ha anunciado la posible acreditación como profesores de Universidad de algunos docentes de enseñanza media, a propuesta de los sindicatos. Sin embargo, los problemas de la Universidad no se van a solucionar con prácticas endogámicas o permitiendo la incorporación de profesores de Instituto. En su lugar, debemos resaltar que existen colectivos con gran capacidad universitaria que encuentran trabas para cooperar con esta institución. Pensemos en los contratados por el programa Ramón y Cajal, cuyo futuro es muy incierto. Pensemos en los buenos científicos, españoles o extranjeros, que se han formado en otros países y que encuentran demasiados obstáculos para poder incorporarse a nuestro sistema científico. Incluso, pensemos en los Investigadores del CSIC, OPIs y Hospitales que desearían colaborar en tareas docentes de la Universidad enriqueciéndola con su experiencia.

El MEC debe buscar los mecanismos adecuados para que el capital investigador que tenemos pueda ser potenciado en beneficio de la Universidad, del sistema de I+D y de la sociedad. Para ello, se debería hacer una sincera autocrítica que permita sanear las prácticas de selección del profesorado universitario. Deseamos que el gobierno sepa orientar acertadamente las reformas para que se mejore la calidad del profesorado universitario. De no ser así, creemos que la promesa de convertir la I+D en el motor de la economía quedará una vez más en meras palabras.

Amelia Sánchez Capelo  
Presidenta de la AACTE

## Convocada la Asamblea General Ordinaria de la AACTE 2005

Se ha convocado la Asamblea General Ordinaria de la AACTE 2005 para el miércoles 30 de marzo a las 18:30 en primera convocatoria y a las 19:00 en segunda convocatoria. La asamblea se celebrará a través de un *chat* AACTE, donde se podrá deliberar sobre los asuntos que nos atañen como Asociación. El orden del día está indicado a continuación. Desde aquí, quisiéramos animar a todos los socios a participar en ella activamente.

### Orden del día de la Asamblea General Ordinaria - AACTE 2005

#### 1- Control y aprobación de la gestión de la Junta Directiva

Los socios han estado informados de las distintas acciones que se han ido desarrollando. Se abrirá un turno de preguntas y respuestas, seguido de votación.

#### 2. Presentación del estado de cuentas

#### 3. Becario de Apuntes: Información, ruegos y preguntas

La Junta Directiva ha aprobado la contratación de una persona para que durante seis meses, con dedicación parcial, ayude en las tareas de edición de la revista "Apuntes" en los siguiente términos:

a) Se contrata una persona para que desarrolle una maquetación profesional para la revista "Apuntes de Ciencia y Tecnología".

b) La persona contratada deberá realizar una memoria en la que se incluirá un "protocolo de edición de la revista", que consistirá en unas instrucciones, plantillas y ejemplos de edición incluyendo el *software* utilizado. Todo este material se incluirá en un *cedé*. Una copia de este *cedé* se enviara a la Junta Directiva para su evaluación.

#### 4. Votación para la aprobación de la Comisión de Admisiones.

#### 5. Votación para la aprobación de las Áreas Temáticas

#### 6. Ruegos y Preguntas

## OPINIÓN

## Las cosas tal y como son

Eugenio Degroote\*  
Socio de la AACTE

La Universidad pública española suele ser presentada, en la mayoría de las ocasiones como un lugar casi idílico, un mundo de docencia e investigación en el que no hay maldades, ni intereses particulares, ni familiares, ni políticos. Un lugar donde todo es ciencia y justicia, paz y respeto mutuo, donde se valora únicamente la capacidad personal y los méritos académicos. Esta imagen se hace extensiva a aquellos que participan de la actividad universitaria. Son pocas las voces que se alzan para discutir la imagen de ensueño que transmiten los medios de comunicación. Sin embargo, si observamos la situación de forma objetiva, podemos constatar distintos hechos que apuntan en otro sentido.

**Cadáveres en el armario**

Un eminente filósofo español —Agapito Maestre— obtiene, de forma limpia e indiscutible, su plaza de Catedrático de Filosofía en la Universidad de Almería. No era el candidato de la casa pero, a pesar de todo, obtuvo la plaza. Tras una serie de incidentes y de situaciones que hicieron incómoda su estancia en esa universidad ve como, sin haber hecho absolutamente nada, es retirado de su cátedra en la Universidad de Almería, seis años después de haber tomado posesión de ella. El motivo expuesto se basó en un supuesto defecto de forma (que no resultó ser tal) en la convocatoria inicial de la cátedra, que más bien parece un mero pretexto para poner a un brillante pensador independiente de patitas en la calle. Ser pensador, brillante e independiente no parecer sentar demasiado bien.

Esta situación no es ni mucho menos la única, aunque posiblemente sea la más escandalosa. Los casos de profesores que no obtienen plaza porque no son “el candidato de la casa” son un auténtico clamor. Baremos arbitrarios y el silencio de *casi todos* permiten que

dichas situaciones se repitan, a pesar de las numerosas denuncias de los afectados. Aquellos pocos que, a pesar de todo, consiguen ser valorados de forma objetiva y sobreviven al filtro “de la casa” sufren, en numerosas ocasiones, situaciones difíciles de llevar; algunos incluso llegan a abandonar ante el acoso a todos los niveles al que diariamente se ven sometidos por ser independientes y/o brillantes, eso que ahora todos llamamos *mobbing*.

Esta anomalía en la adjudicación de plazas se acentuó cuando, en los últimos meses de vigencia de la LRU, las universidades convocaron de golpe, en un trimestre, más plazas que en cuatro años. De esta forma, en un último intento, entraron a formar parte de nuestra universidad profesores e investigadores que no hubieran tenido posibilidad alguna con la nueva ley. Entraron y, cómo no, bloquearon la entrada. Teniendo en cuenta que las estimaciones realizadas ya indicaban una plantilla de profesores e investigadores sobredimensionada, uno de los efectos de dicha convocatoria masiva ha supuesto la práctica paralización, en los próximos diez años, de nuevas contrataciones. De ese modo nos encontramos con que la generación de investigadores mejor preparada de todas va a tener enormes problemas para incorporarse.

En relación al *mobbing*, de acuerdo con las estimaciones más optimistas realizadas por Iñaki Piñuel, se calcula que se dan unos 20.000 casos de acoso en el trabajo en el ámbito universitario; de éstos, 12.000 se dan entre los profesores y 8.000 se producen entre el Personal de Administración y Servicios; el 70% se da en mujeres y el 30%, en hombres. Dichas actuaciones de acoso se dan principalmente, utilizando la terminología clásica, por *mediocres inoperantes activos* que, debido a la inevitable aparición en su entorno de investigadores brillantes, ven su situación amenazada. Nuestras

\* Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad Politécnica de Madrid.  
Corr-ele: eugenio.degroote@upm.es

estimaciones, basadas en numerosas entrevistas y estudios cualitativos, sitúan sin embargo las cifras reales muy por encima de las anteriormente señaladas. Esta es la verdadera cara, la molesta cara de la realidad universitaria, en la que priman el amiguismo, la incompetencia y la mediocridad sobre la capacidad y el mérito objetivamente cuantificables. No es de extrañar, pues, que las universidades públicas españolas aparezcan (salvo excepciones) en posiciones secundarias, a la cola del furgón europeo.

Hace bien poco, un grupo de profesores de reconocido prestigio, objetividad e independencia, se reunió en Madrid, para exponer su visión de la realidad universitaria española ([www2.uah.es/vivatacademia/corrupcion/primcongre.htm](http://www2.uah.es/vivatacademia/corrupcion/primcongre.htm)). No tuvieron el camino fácil, pero finalmente obtuvieron un enorme éxito de participación. En este caso no eran los rectores los que hablaban de la Universidad, ni tampoco los representantes de la Administración, ni siquiera los políticos, ni los medios de comunicación vinculados a algunos de esos grupos. Fue un grupo de profesores independientes el que, a título personal, pero en representación de muchos otros, expuso numerosos casos de actuaciones irregulares y realizó su análisis. Casos que abarcan un amplio espectro pero, como bien se señaló en el congreso, no constituyen más que la punta del iceberg de la corrupción en la Universidad que, precisamente, es el símbolo de este congreso. Numerosos conferenciantes hicieron un análisis en profun-

dididad de la situación. La segunda edición del congreso está previsto que se celebre en Madrid a finales de este año.

La primera conclusión del debate realizado en ese congreso se resume en tres palabras: ¡abre los ojos! La segunda conclusión que se obtuvo nos señala la necesidad ineludible de analizar el fenómeno con mayor profundidad: no se entiende que las situaciones mencionadas se produzcan si no se dispone de una masa crítica de miembros de la comunidad universitaria que permitan tal situación (mirando para otro lado cuando sea necesario) a la vez que se benefician de ella. No se entiende que dicha situación se mantenga a pesar de las repetidas promesas electorales de limpieza y transparencia. No se entiende que nadie quiera legislar de forma eficaz al respecto.

El final de esta película está todavía por escribirse, pero no tiene por qué ser desastroso. La solución pasará irremediamente por abrir los ojos, ver la realidad tal y como es, y buscarle soluciones concretas a cada problema. La erradicación de las prácticas de acoso, la adjudicación de plazas de profesor a quien más méritos tiene. En definitiva, todo pasa por cambiar las reglas del juego, ver las cosas tal y como son, y mostrarlas a todos de forma abierta y transparente. Pensar en una Universidad pública que no fuera el cortijo de nadie, no debería asustar. Y es que más que un problema es la solución, en beneficio de todos.

## La política científica española vista desde Europa: Vente a Alemania, Pepe

José I. Jiménez Zarco \*

Desde el año 1971, en el que se rodó la citada película, España ha sufrido profundos cambios sociales y económicos que nos hacen ver el fenómeno de la emigración en busca de trabajo como propio de otros tiempos. Sin embargo, la política científica no ha cambiado demasiado desde entonces. Hoy, al igual que antes, los científicos españoles, formados en su mayor parte con inversión pública, se ven abocados a la búsqueda de mejores oportunidades en otras latitudes, donde existe un mejor desarrollo de la carrera investigadora, sustentada por una inversión superior a la que se dedica

en nuestro país (donde apenas constituye un 1.04% del PIB, cifra bastante alejada del 3% que recomienda la Unión Europea para tener un sistema científico competitivo). Según el señor Caldera (La Voz de Galicia 7-2-05), ministro de trabajo, deberíamos alegrarnos porque «los jóvenes ya no van (a Europa) con maleta de cartón, si no (*sic*) como investigadores». Lo que nuestro ministro no comenta es que aunque la maleta sea un maletín, esos jóvenes siguen llevándose las ilusiones que no pueden desarrollar en su país y muchos de ellos no vuelven.

\* Miembro de la Comisión de Medios de la FJI-Precarios. Centro de Investigaciones Biológicas (CSIC).  
Corr-ele: [jjzarco@cib.csic.es](mailto:jjzarco@cib.csic.es)

En la última reunión del External Advisory Group (EAG), celebrada a mediados del pasado mes de diciembre, un comité de expertos de la Unión Europea, creado para la evaluación de políticas I+D y la planificación futura de acciones relacionadas con Recursos Humanos y la movilidad de investigadores, analizó la política científica de los países de la unión en relación con la movilidad de sus investigadores. Los investigadores españoles son los que consiguen un mayor número de contratos postdoctorales Marie Curie, con un 16% del total. Estos contratos se conceden en función de los méritos del investigador, para trabajar dos años en un laboratorio extranjero. Que un investigador realice una parte de su carrera en un país extranjero no es un problema en sí mismo sino que es muy recomendable. El problema radica en que, de esos investigadores que se marchan, muy pocos logran regresar debido a que el sistema científico español no es capaz de generar puestos para todos ellos, por lo que se origina un flujo neto de investigadores hacia fuera del país, popularmente conocido como “fuga de cerebros”.

El estudio realizado por el EAG muestra que durante los dos últimos Programas Marco de la Unión Europea el balance entre los investigadores que se fueron y los que regresaron fue negativo para nuestro capital científico, con más de un millar de científicos que han emigrado de nuestro país. Este análisis revela que España es el estado de la UE con más pérdida de investigadores. La comparativa con otros países nos da una idea de la magnitud de la fuga: el saldo para Polonia es que “se fugaron” 499, en el caso italiano esta cifra casi se

duplica hasta los 940, pero por encima de ambos está el caso español con la escalofriante cifra de 1188. En su mayor parte, estos científicos trabajan en campos relacionados con Biología e Ingeniería y se trata de personas de 25 a 35 años, que continúan su andadura profesional en Estados Unidos o el Reino Unido y, lamentablemente no disponen de muchas opciones de regresar a España.

No es la primera vez que la Unión Europea alerta sobre la pérdida de capital humano. En un informe realizado por expertos de STRATA ETAN, en el año 2001 ya se reflejaba la falta de diseño de una carrera investigadora a medio o largo plazo y se denunciaba la pérdida de investigadores en beneficio de países con mejores condiciones laborales. Por nuestra parte, la Comisión de Carrera Investigadora de la FJI-Precarios ha elaborado una propuesta de diseño de carrera investigadora ([http://www.precarios.org/docs/Informe\\_CI.pdf](http://www.precarios.org/docs/Informe_CI.pdf)) que fue entregada a los gobiernos de PP y PSOE, gobiernos autonómicos, rectores de universidades y directores de centros del CSIC entre otros.

Dado que el actual Gobierno ha afirmado públicamente en numerosas ocasiones que la Ciencia es una de sus prioridades (págs. 185 a 189 de su programa electoral en las elecciones generales de 2004) y que aumentaría la inversión destinada a I+D+i, esperamos que en este 2005 recién estrenado no nos veamos con la necesidad de hacer la maleta y seguir buscando fortuna más allá de nuestras fronteras como todos aquellos que imitaron a Alfredo Landa, para no volver jamás.

## **La promoción por la gestión (o la gestión para la promoción)**

José Luis Marco Contelles \*

Para el que suscribe, una de las más insidiosas, tóxicas y nocivas prácticas del sistema de I+D de este país es la obstinada reivindicación de la gestión científica por y para científicos.

De ser zona privilegiada de trepas y advenedizos, se ha convertido (o nos la están vendiendo) en algo digno y de mérito. Hoy asistimos, pues, a una auténtica carrera de fondo y resistencia, para “colocarse”. Y los hay que, en el

más puro estilo estajanovista, simultanean varios de ellos en las mismas corporaciones, ya sea de secretario, vocal, o lo que sea, o se eternizan en ellos, imprimiéndoles un carácter unipersonal, inconfundible.

Pero para centrarme por donde empecé, y que se resume en el título de este escrito, en el CSIC siempre ha sido moneda común y de cambio que los que ostentan puestos de gestión tengan notable preferencia sobre otros mortales

---

\* Instituto de Química Orgánica General, CSIC. Corr-ele: [iqoc21@iqog.csic.es](mailto:iqoc21@iqog.csic.es)

a la hora de la promoción, rentabilizando una ocupación que se dice incomprensible, tediosa, y que fuerza al diligente investigador, abandonando siquiera temporalmente sus más deseadas obligaciones científicas, a dedicarse a algo tan apasionante como firmar y evaluar expedientes, conceder becas y proyectos, husmear en el CV del prójimo, seleccionar miembros de tribunales, convocar concursos de oposición, sugerir quién pasa y quién no, etc., etc. Bien. Y los ejemplos son numerosos.

No sólo se ponen la tarjeta de gestor, bien remunerado, por cierto, sino que, además, les importa que se les reconozca su *notable* trayectoria científica, que les ha hecho acreedores a tal distinción (¿?), promocionándose a la primera oportunidad. Los más patéticos son los que insistiendo, no lo consiguen, que los hay: y es que hay que mantener un nivel, que todo parezca muy legal y limpio.

El problema surge cuando para esos puestos se *escogen* a jóvenes leones, que mejor estarían haciendo investigación, ya que se les supone en su mejor momento científico, y/o científicos no tan jóvenes, un tanto apolillados y casposos, que no viendo otra forma de promocionar en justa lid, se valen del puesto para progresar en el escalafón.

Para ceñirme sólo a sucesos recientes, hemos visto que, a mayor abundamiento, en la última convocatoria de Promoción Interna a Profesor de Investigación (PI) del CSIC [(BOE n° 155, 28-06-2004, pág. 23751, Anexo 1, apartado (d)] se hacen valer los méritos de la gestión - de 0 a 3 puntos - como capítulo aparte, y bien diferenciado de otros aspectos a tener en cuenta y evaluar. Ni siquiera el PP se atrevió a tanto.

Y ahí están los “highlights” (*polvo de estrellas*, que diría otro) de la convocatoria de 2004 ó de la de 2003, accesibles para cualquiera que se de una vuelta por la página web del CSIC, y que son de sobra conocidos por todos.

Evidentemente, no pretendo descalificar a esos agraciados, ni mucho menos. Habrá que felicitarlos. Es más, me gustaría suponer que son los más capaces y merecidos para esa promoción. Pero, miren Vds., lo que no se puede es estar en la procesión y repicando. Es decir, que nos debemos dotar urgentemente de un código escrito que impida a quien ostente estos puestos, presentarse a concursos de oposición de plazas “científicas” estando en el ejercicio de sus funciones, y/o que cuando lo abandonen, se les ponga un período de carencia o barbecho, un tiempo prudencial de por lo menos cinco años, para que sigan sin poder presentarse a estos concursos. Y si se persiste, que se convoquen, sin prejuicios y sin complejos, plazas de Investigador Científico y de PI para gestión. Esto ya se ha hecho, y chirría, claro, es de mal gusto y quedas marcado para siempre, pero peor es que nos tomen el pelo, o nos engañen. Nombrar para esas labores a PI con experiencia y años de servicio, a los que se les supone un grado de independencia y criterio suficientes para obrar desde la imparcialidad y el decoro, también ha resultado nefasto. Y a los ejemplos me remito...

Yo propondría como solución posible y deseable “profesionalizar” la función, desde los Directores de Instituto, Coordinadores de Área, al Presidente del CSIC, convenientemente asesorados, apartando de ella a científicos en ejercicio para no contaminar su ejecución.

## NOTICIAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### El Tsunami del Índico: otro ejemplo de que el conocimiento científico sólo no basta

[M.A.C.] En la mañana siguiente a la pasada Navidad (0:59 GMT, 26 de Diciembre de 2004), la placa tectónica India se deslizó bajo la microplaca birmana, elevándola unos 10-15 metros. Esto provocó el movimiento de un billón de toneladas de agua en la zona, en una onda que viajó a centenares de kilómetros por hora. El tsunami devastó las costas del Océano Indico, provocando más de 150.000 muertos, borrando ciudades enteras del mapa y dejando a varios millones de personas en una situación desesperada. La ola llegó incluso, unas cuantas horas después, al este de Africa, donde produjo más de 100 víctimas mortales.

Se trata del mayor terremoto de los últimos 50 años, o quizá más, dado que su magnitud, previamente estimada en 9,0 puntos en la escala de Richter, podría haber llegado en realidad a los 9,3.<sup>1</sup> El anterior terremoto de magnitud 9,0 ocurrió en 1964 en Alaska. El último suceso comparable en el Océano Indico fue la gran erupción del Krakatoa en 1883 y no se habían producido terremotos importantes en la misma falla desde 1833. La gran cantidad de energía liberada durante el terremoto movió el eje de rotación de la tierra y alteró, aunque mínimamente, su período. Algunas islas se desplazaron unos 20 m.

Los sismólogos de todo el mundo supieron enseguida que se trataba de un terremoto importante, pero infravaloraron su magnitud (en un primer momento se estimó en 8,0).<sup>2</sup> Además, la ausencia de un sistema de vigilancia del propio océano, con datos de nivel y presión recogidos directamente en la superficie y el fondo marino, no permitía asegurar que se produciría un tsunami importante, ya que la fuerza de un tsunami depende del desplazamiento del suelo oceánico, más que de la magnitud del seísmo. Peor aún, los sismólogos que sospecharon lo que podía suceder no sabían cómo hacer llegar la información a la zona.

El Océano Pacífico sí posee un sistema de alerta de tsunamis (el PTWC, con sede en Hawai), establecido en 1965 tras los terremotos de Chile de 1960 y Alaska de 1964. Los esfuerzos por establecer un sistema similar en el Índico tropezaron con el escaso interés de los gobiernos de la zona en hacer una inversión relativamente modesta pero relacionada con una amenaza que no parecía excesivamente preocupante. Aunque suena ridículo, Indonesia posee en la isla de Java un sismógrafo diseñado para detectar terremotos susceptibles de provocar tsunamis, pero sus datos no son transmitidos al gobierno de Jakarta porque la línea telefónica se desconectó en 2000.

En la India, un país tecnológica y científicamente avanzado que sufrió más de 12.000 víctimas (a pesar de que la ola tardó un par de horas en llegar a sus costas), el Departamento de Meteorología es el único autorizado para lanzar una alerta de riesgo por lo que los sismólogos no habrían podido hacer gran cosa incluso si hubiesen tenido sospechas fundadas. Para dejar aún más claras las deficiencias del sistema y la escasa percepción de peligro, el tsunami dañó las bombas de enfriamiento de la central nuclear de Kalpakkam, que hubo de ser apagada de prisa y corriendo: el riesgo de un tsunami no se había considerado al evaluar el emplazamiento y diseño de la central. El gobierno indio, fuertemente criticado por científicos y oposición, ha prometido por fin destinar 30 M\$ a establecer un sistema de vigilancia, con sensores de presión en el fondo oceánico ("tsunámetros") y boyas de nivel en la superficie vinculadas a un satélite indio geoestacionario.<sup>3</sup> Un sistema de alerta y prevención en el Indico requerirá, además, de otras medidas: actualización de sismógrafos y aumento de su número, centros para el tratamiento de datos en tiempo real y para la evaluación de posibles riesgos, sistemas de aviso internacional, sirenas de alarma y programas de educación ciudadana sobre qué hacer en caso de alarma o si se sienten temblores en la costa.<sup>4</sup> La Unesco anunció también la creación de un sistema global de alerta,<sup>5</sup> y Alemania invertirá 40 M\$ para instalar 10 "tsunámetros" de última

<sup>1</sup> Science, 2005, 307, 1040.

<sup>2</sup> Science, 2005, 307, 201.

<sup>3</sup> Nature 2005, 433, 5.

<sup>4</sup> News@Nature, 29/12/2004.

<sup>5</sup> Science 2005, 307, 331.

generación y 40 estaciones sísmicas en Indonesia y sus alrededores, al tiempo que EEUU planea invertir 37,5 M\$ en sus sistema de alerta en el Pacífico, Atlántico y Caribe. Falta, desde luego, que se asegure la coordinación internacional y la India ya está siendo criticada en este sentido.<sup>1</sup>

### A la búsqueda de los antepasados míticos

[R.G.V.] Las sociedades tribales son un tema recurrente de la investigación de las sociedades capitalistas occidentales. El final de la II Guerra Mundial y el proceso de descolonización despertaron en Occidente una gran curiosidad hacia las sociedades preindustriales y su organización social en tribus, clanes y linajes. En España este efecto coincidió con los trabajos del historiador francés Pierre Guichard que, con su trabajo *Estructura antropológica de una sociedad Islámica en Occidente* (1975), abrió una línea de investigación que ponía en evidencia los rasgos de una sociedad tribal oriental (*al-Andalus*) en suelo hispánico, lejos de los viejos tópicos de la historiografía tradicional. En paralelo, y un año antes, el economista egipcio Samir Amin pulicaba *Sobre el desarrollo desigual de las formaciones sociales* (1974), poniendo en evidencia los rasgos económicos de estas sociedades y el desequilibrio que se producía entre las formaciones feudales y el capitalismo en su proceso de expansión a costa de las primeras. La lectura que de ambos trabajos realizó Miquel Barceló supuso la apertura de la línea de investigación medievalista que estudia la expansión del feudalismo sobre *al-Andalus* y la ruptura que supuso del desarrollo histórico occidental "normal" en nuestro país como consecuencia de la invasión islámica en el siglo VIII.

En el caso del País Valenciano y Murcia (*Sharq-al-Andalus*, el oriente de *al-Andalus*) los trabajos de Pierre Guichard revelaron la existencia de grupos tribales árabes yemeníes como bereberes del norte de África a partir de los estudios de toponimia y de las pautas espaciales que regían los antiguos asentamientos rastreables por el registro arqueológico. La manifestación más evidente es la toponimia con el prefijo *beni-* (tan frecuente en estas tierras y compartida con la toponimia del Maghreb) que significa precisamente el reconocimiento de un ancestro común (los descendientes de), en el nombre del lugar donde se produce dicho asentamiento. Lo cierto es que estas sociedades se basan en la existencia de tribus patriarcales que reconocen un antecedente mítico (de acuerdo con la tradición oral) y los estudios conjuntos de genómica y etnología recientes aportan nuevas e interesantes revelaciones que desmienten parcialmente la tradición oral aunque confirma, precisamente, la importancia del factor político, es decir, el recurso de los seres humanos a la construcción de la sociedad, el primer "artefacto" construido por el hombre.

El modelo propuesto por la tradición oral pretende que una misma tribu comparte un único ancestro biológico de la cual es el fundador. A partir de ahí se forma un grafo arborescente que se bifurca a tres niveles sociales diferenciados en orden ascendente: linaje, clan y tribu. Los ancestros comunes del clan serían descendientes del ancestro mítico de la tribu común y, a su vez, el ancestro común de cada linaje, es descendiente común de su homólogo al nivel del clan.

Investigadores del CNRS francés han combinado los estudios de genética y etnología en poblaciones de cinco etnias de Asia central para rastrear la realidad de estas afirmaciones y lo han publicado en el *American Journal of Human Genetics* como reveló un artículo en *Le Monde* del pasado 10 de diciembre. Prestando especial atención al cromosoma Y, que se transmite de padres a hijos, con una débil tasa de mutación en cada salto generacional. Sus principales conclusiones consisten en la veracidad de la tradición oral en los casos del clan como del linaje, cuyo origen remonta en ocasiones a 5 ó 10 generaciones, pero en el caso de los antepasados originarios de la tribu (algunos miles o decenas de miles de individuos) el progenitor único no es más que una leyenda, no responde a una realidad biológica.

La importancia del estudio es precisamente la fuerte valoración que puede realizarse de la construcción social. Según sus autores "A este nivel de la organización social [la tribu], es probable que el mito de un ancestro común fuera fabricado más por razones políticas que familiares" un "pacto social" diríamos. Y, a su vez, estos estudios fundan "(...) una nueva disciplina cuyo objeto es el análisis del impacto de las fuerzas culturales sobre el grado de variabilidad genética de las poblaciones."

Curioso animal, el ser humano, que construye sus propios lazos de parentesco para construir la sociedad en la que vive.

---

<sup>1</sup> Science, 2005, 433, 343.



## Se conceden los primeros proyectos con células madre en España

[M.A.C.] La Comisión de Seguimiento y Control de la Donación y Utilización de Células y Tejidos Humanos, órgano dependiente del Centro Nacional de Trasplantes y Medicina Regenerativa, ha aprobado los primeros cuatro proyectos de investigación españoles con células madre embrionarias humanas. Tres de los proyectos son andaluces: el de Bernat Soria, que pretende convertir las células madre embrionarias en tejido pancreático productor de insulina, el de José López Barneo, que intentará convertirlas en células generadoras de dopamina y otras sustancias, y el de Angel Concha, cuyo objetivo es poner a punto técnicas para derivar y caracterizar cultivos celulares a partir de embriones humanos congelados. El cuarto proyecto es valenciano, está liderado por Carlos Simón y también pretende derivar nuevas líneas de células madre embrionarias. Un segundo proyecto presentado por Simón, para desarrollar tejidos a partir de embriones con enfermedades genéticas que sirviesen como modelo de ensayo de fármacos, ha sido rechazado por no presentar el consentimiento de los progenitores de los embriones. Se da además la circunstancia de que las dos líneas que Simón ya ha desarrollado (VAL-1 y VAL-2) continúan sin cumplir la normativa actual, por lo que no se podrá obtener la autorización oficial para investigar con ellas en España.<sup>1</sup>

La situación legal de este tipo de investigaciones varía enormemente en distintos países, lo que podría llevar a importantes movimientos de investigadores, empresas y capital desde países muy restrictivos (como Italia, Portugal, Irlanda y Austria) a países donde estas investigaciones están permitidas (Reino Unido, Bélgica, Suiza, España y próximamente Francia). En Europa, el Reino Unido tiene la legislación más permisiva en este sentido, puesto que autoriza incluso la clonación terapéutica para derivar nuevas líneas celulares.<sup>2</sup> Fuera de Europa la situación también es muy diversa, con países asiáticos (China, Corea del Sur, Taiwán y Singapur) donde estas investigaciones no sólo están permitidas sino fuertemente apoyadas desde los respectivos gobiernos.<sup>3</sup> En Corea del Sur se realizó la investigación que permitió derivar líneas celulares a partir de embriones humanos clonados en un momento en que no existía legislación al respecto, pero la nueva ley de bioética ha entrado ya en vigor y el equipo investigador ha obtenido inmediatamente la autorización para continuar con sus investigaciones.<sup>4</sup> En Estados Unidos, la financiación federal está restringida a unas pocas líneas celulares preexistentes y las iniciativas de California y Wisconsin de financiación estatal han originado intentos similares en otros estados (Nueva Jersey e Illinois).

Mientras tanto, se han publicado resultados muy interesantes de investigaciones con células madre, tanto embrionarias como adultas. En primer lugar, un equipo estadounidense ha alertado sobre la posibilidad de que la mayoría de líneas celulares humanas con las que se está investigando no puedan ser usadas terapéuticamente, debido a una respuesta del sistema inmunológico del paciente. El problema lo plantean las líneas celulares que han tenido contacto con células o suero de otros animales, normalmente ratas o ratones, que contienen ácido N-glicolilneuramínico, Neu5Gc. Según el equipo investigador, las células madre embrionarias humanas toman esta molécula, a la que los humanos estamos sensibilizados por el consumo de carne roja y lácteos, lo que provocaría la respuesta inmunológica. Esto, obviamente, no implica que se deban interrumpir las investigaciones, puesto que estas líneas celulares continúan siendo aptas para la investigación y sólo suponen una restricción respecto de la aplicación final.<sup>5</sup> Además, existen líneas celulares derivadas en soporte humano, que no presentarían éste obstáculo. Precisamente las líneas celulares derivadas por Carlos Simón, a las que nos referíamos arriba y que no pueden ser usadas legalmente en España por encontrarse en un “limbo legal”, se derivaron en soporte humano. En el mundo existen sólo otras 6 líneas de estas características.<sup>6</sup>

Por otro lado, un equipo francés ha publicado un resultado espectacular: la producción *ex vivo* de grandes cantidades de glóbulos rojos humanos completamente funcionales a partir de células madre no embrionarias, obtenidas en la médula espinal o en el cordón umbilical (células denominadas CD34<sup>+</sup>). De cada célula CD34<sup>+</sup> pueden obtenerse entre 100,000 y dos millones de glóbulos

<sup>1</sup> El País, 24/02/2005.

<sup>2</sup> Apuntes de Ciencia y Tecnología, nº 13, Diciembre 2004, p. 20.

<sup>3</sup> Science, 2005, 307, 660.

<sup>4</sup> Science, 2005, 307, 333; Nature, 2005, 433, 186.

<sup>5</sup> News@Nature 24/01/2005, citando a Martin et al., *Nat. Med.* 2005, 11, 228.

<sup>6</sup> Apuntes de Ciencia y Tecnología, nº 12, Septiembre 2004, p. 31.

rojos. Según los autores, esta investigación puede tener importantes repercusiones no sólo en el sistema actual de transfusiones sino también en investigaciones de terapia génica y medicina tropical.<sup>1</sup>

Para terminar, Brasil va a comenzar el mayor ensayo clínico del mundo con células madre. El ensayo se dirigirá al tratamiento de enfermedades cardíacas con células madre obtenidas de la médula ósea del propio paciente, con el objetivo de regenerar tejido cardíaco dañado. Durante los próximos tres años se tratará con esta técnica a 1200 pacientes, aunque éstos no sabrán si se les está aplicando esta técnica o un tratamiento tradicional, para evitar una posible influencia psicológica.<sup>2</sup> Una semana después de hacerse público este proyecto se publicaban los resultados de una investigación que demuestra que el tejido cardíaco presenta por sí mismo cierta capacidad de regeneración.<sup>3</sup> Hasta ahora se pensaba que, debido a la alta especialización de las células cardíacas y su incapacidad para dividirse, el corazón carecía de capacidad regenerativa. Por ello, después de un infarto, las células muertas se reemplazan con tejido conjuntivo (fibroblastos) dando lugar a zonas cicatrizadas que disminuyen la capacidad del corazón de latir adecuadamente. Sin embargo, se ha demostrado que en el momento del nacimiento el corazón contiene todavía unos centenares de “células cardíacas progenitoras” con capacidad para dividirse y madurar en células cardíacas. El número de estas células disminuye con la edad, pero unos centenares de células progenitoras pueden originar en el laboratorio millones de células cardíacas. A diferencia de las células madre, las células progenitoras se dividen un número finito de veces, pero al parecer su maduración a células cardíacas es más sencilla y no requeriría de estímulos químicos u hormonales.<sup>4</sup>

### **El Ministerio anuncia medidas para la contratación estable de investigadores**

[M.A.C.] A finales del año pasado Salvador Barberá, Secretario General de Política Científica, anunció un plan para incentivar la contratación estable de investigadores en universidades, organismos públicos de investigación, institutos mixtos o fundaciones privadas sin ánimo de lucro.<sup>5</sup> El plan pretende consolidar los contratos de 300 investigadores por año durante tres años, y para ello el ministerio aportará el salario integro durante tres años cuando se contrate a una persona con “claro perfil investigador”.<sup>6</sup> Barberá presentó esto como la primera respuesta a la situación de los Investigadores Ramón y Cajal, que fueron contratados con la intención de incorporar investigadores de forma estable, pero cuyo futuro sigue siendo incierto. El programa “no prejuzga” si los investigadores contratados han de ser funcionarios o contratados laborales.<sup>7</sup>

Lamentablemente, no está claro si el CSIC podrá beneficiarse de este plan, y con él los 590 “Ramones y Cajales” que trabajan en este organismo (más de cien de ellos en el penúltimo año), si bien es cierto que la oferta de empleo público de este año supone un crecimiento considerable de nuevas plazas de investigadores en el CSIC.<sup>8</sup> En concreto, se crean 150 plazas de científico titular de acceso libre, lo que supone un incremento del 50% respecto a las ofertadas el año pasado. El CSIC se encuentra en estos momentos a la espera de una profunda reforma de su estatus jurídico, dentro de la nueva “ley de agencias” cuya redacción está preparando el Ministerio de Administraciones Públicas (el CSIC participa como invitado en la comisión correspondiente). Según Carlos Martínez, Presidente del organismo, el Consejo dispondrá de una nueva estructura jurídica y administrativa el 1 de Enero de 2006, que entre otras cosas le permitirá realizar contratos indefinidos a investigadores.<sup>9</sup>

La incertidumbre respecto al futuro de los Investigadores Ramón y Cajal sigue generando críticas, pues lo que se planteó en su día, oficiosamente, como un sistema “tenure track” sigue sin tener una solución general, cuando quedan menos de dos años para el final de los primeros contratos. El programa de incentivación anunciado por Barberá, pese a que éste lo plantee como

<sup>1</sup> Giarratana et al., Nat. Biotechnol., 2005, 23, 69.

<sup>2</sup> El País, 03/02/2005.

<sup>3</sup> Laugwitz et al., Nature, 2005, 433, 647 (ver también “News and Views” en p. 585).

<sup>4</sup> News@Nature 09/03/2005

<sup>5</sup> El País 16/12/2004

<sup>6</sup> ABC, 28/12/2004

<sup>7</sup> El País, 03/01/2005

<sup>8</sup> B.O.E., 08/02/2005, p. 4193.

<sup>9</sup> ABC 10/03/2005

una respuesta al problema, no es específico de los “Ramones y Cajales” y, peor aún, depende de la voluntad de los organismos contratantes. No es éste el caso de Cataluña, que ha anunciado que todos los Investigadores Ramón y Cajal que obtengan una evaluación positiva dispondrán de un contrato indefinido, bien en los centros de I+D catalanes donde actualmente estén contratados, bien en otros dependientes de la Generalitat.<sup>1</sup> Merced a un acuerdo con el Gobierno central, éste pagará los sueldos de los tres primeros años (posiblemente dentro del programa comentado más arriba), y la Generalitat se compromete a mantener los contratos (y aquí reside la diferencia con el resto de Comunidades Autónomas).

Por otro lado, se ha abierto una nueva convocatoria de ayudas para la contratación laboral de doctores en centros de I+D mediante los programas Ramón y Cajal (250 ayudas, para doctores con menos de 10 años desde la lectura de la tesis) y Juan de la Cierva (350 ayudas, menos de 3 años desde la lectura).<sup>2</sup> Como en ocasiones anteriores, todos los institutos del CSIC, incluidos los mixtos Universidad-CSIC, se consideran un único centro de I+D, lo que parece penalizar a los doctores formados en el CSIC con respecto al cumplimiento de estancias postdoctorales y requisitos de incorporación a un centro distinto al del doctorado. La exigencia de “movilidad” no se cumple cuando uno se traslada 450 Km para trabajar en otro centro del CSIC.

El Ministerio de Educación ha anunciado también que abrirá vías para que los profesores de Instituto puedan trabajar en la Universidad “si acreditan méritos suficientes, aún por determinar”, aceptando así una pretensión de los sindicatos CCOO, UGT y CSIF. El ministerio no ha aclarado cuál pueda ser el fundamento de esta medida (aparte de satisfacer un interés gremialista de los sindicatos) ya que los méritos a evaluar (se habla de tutorías, dirección y proyectos pedagógicos) difícilmente tendrán mucho que ver con la investigación.<sup>3</sup> A pesar de ello, confiamos en que la medida sirva para que las universidades españolas mejoren su lamentable posición en los rankings al uso. El último ranking publicado, el del suplemento educativo de The Times, basado en nivel educativo, investigación y reputación internacional, coincide básicamente con otros anteriores, situando únicamente a la Universidad Autónoma de Madrid entre las 200 mejores del mundo, pero a la cola de éstas, en el número 159; peor aún, ninguna universidad española aparece entre las mejores 50 europeas.<sup>4</sup> Desde aquí animamos a la ministra San Segundo a mejorar el nivel universitario incorporando no sólo a profesores de instituto, sino también, por qué no, a maestros, educadores infantiles y sindicalistas profesionales.

### **El protocolo de Kioto entra en vigor**

[M.A.C.] El 16 de Febrero entró en vigor el Protocolo de Kioto, el acuerdo internacional establecido en 1997 por los 188 países de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) con el objetivo de reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero (medidos en su equivalente de CO<sub>2</sub>). El acuerdo ha sido ratificado por 141 países, incluidos todos los de la Unión Europea y, en el último momento, Rusia. Los países desarrollados habrán de reducir sus emisiones en el período 2008-2012 en un 5,2% como media respecto al nivel de 1990. La UE se ha comprometido a bajarlas globalmente un 8%, aunque con un reparto interno que fija mayores reducciones para algunos países y consiente que otros las aumenten (España hasta un 15%). Sin embargo, EEUU, el mayor emisor de CO<sub>2</sub>, se ha negado a cumplir el acuerdo pese a que Bill Clinton lo firmó en 1998, y ha establecido un plan alternativo basado en la reducción de la “intensidad de las emisiones” (emisiones relativas al producto interior bruto) en un 18% en 2012 respecto del nivel de 2000. Con este plan, se estima que las emisiones reales de EEUU aumentarán entre un 16 y un 30%, respecto a los niveles de 1990. Por su parte, España va a tener grandes dificultades para cumplir el acuerdo, pese a la “benevolencia” de la Unión Europea, puesto que ya ha triplicado el aumento del 15% concedido. La demanda eléctrica en España crece continuamente, y siempre a un ritmo superior al crecimiento del producto interior bruto (a diferencia de lo que ocurre en los países europeos desarrollados), al tiempo que, últimamente, han disminuido los recursos hidráulicos. Bruselas aprobó con condiciones el Plan Nacional de Asignación de

<sup>1</sup> El Mundo, 18/02/2005.

<sup>2</sup> B.O.E., 08/03/2005.

<sup>3</sup> El País, 03/02/2005

<sup>4</sup> The Times Higher, 05/11/2004.

Emisiones presentado por el gobierno español, por el que se asignan cuotas de emisión para las industrias contaminantes y se establecen multas si se superan los límites (aunque es posible también comerciar con esas cuotas). Además, el Gobierno redactará un nuevo Código Técnico de la Edificación, que obligará a aislar mejor las viviendas, revisará el Plan Energético Nacional y preparará nuevos planes de promoción de energías alternativas y de mejora de la eficiencia energética. También deberá atacar el problema del transporte. En conjunto, no parece que se hayan hecho los deberes hasta ahora, lo que no es de extrañar a juzgar por la posición de España en cuanto a “actuación medioambiental”: de acuerdo con un ranking de 146 países elaborado por la Universidad de Yale,<sup>1</sup> España se sitúa por debajo de la mitad de la tabla y, de entre los 22 países de la UE considerados, sólo la República Checa, Polonia y Bélgica están peor.

### Open Access

[M.A.C.] Los National Institute of Health (NIH) de EEUU han difundido la que, aparentemente, será su política final sobre el acceso libre a los artículos resultantes de investigaciones financiadas por esta agencia. La propuesta inicial era requerir a los investigadores que depositasen sus artículos en PubMed Central inmediatamente después de ser aceptados, y solicitar que permitiesen su acceso libre antes de transcurridos seis meses desde su publicación. Tras esta propuesta se abrió una encuesta en la que partidarios y oponentes del movimiento Open Access (acceso libre a la literatura científica) expresaron sus posiciones. La decisión final de los NIH es un tanto salomónica y ha despertado críticas de ambas partes: el momento en que la publicación será de acceso libre lo decidirán los propios autores, aunque NIH solicita que sea lo antes posible y en todo caso antes de transcurridos 12 meses desde la publicación.<sup>2</sup> Por una parte, se critica que esto pone a los investigadores en el brete de enfrentarse a las políticas editoriales de cada revista, con la posibilidad incluso de infringir copyrights. Por otro lado, las sociedades editoras temen que esto suponga en la práctica una fuerte disminución de ingresos, con el riesgo de bancarrota. Sea como sea, este tipo de iniciativas, y la fuerza con que están actuando PLoS (The Public Library of Science, que acaba de anunciar tres nuevas revistas de acceso libre, PLoS Computational Biology, PLoS Genetics y PLoS Pathogens<sup>3</sup>) y otros movimientos a favor del Open Access, está consiguiendo que algunas editoriales se replanteen sus políticas. En concreto, Nature Publishing Group (editora de Nature, Nature Materials, Nature Medicine, etc) ha anunciado que, desde enero de 2005, anima a los autores a depositar copias de sus artículos tanto en los archivos de las agencias financiadoras, como en los sitios web de los propios autores o de sus instituciones, seis meses después de la publicación en la revista.<sup>4</sup>

### Un mapa celeste del siglo II a.C.

[R.G.V.] Pocas veces la conjunción de diversas disciplinas da frutos tan interesantes como en esta ocasión. Astronomía, Historia, Historia del Arte y una disciplina tan reciente como la Arqueoastronomía confluyeron a mediados del mes de enero y dieron una buena noticia que apareció en los medios de comunicación.<sup>5</sup>

El astrónomo Bradley Schaefer de la Universidad Estatal de Luisiana presentó al congreso de la Sociedad Astronómica Americana una comunicación que proponía que el mapa celeste de Hiparco (sglo I a.C.) que se creía perdido desde finales del siglo IV d.C. como consecuencia del incendio de la Biblioteca de Alejandría, habría sobrevivido al incendio, gracias a la reproducción que se realizó del mismo en una escultura. Esta circunstancia se habría dado gracias a que el autor anónimo de la estatua denominada Atlas Farnesio, conservada en el Museo Arqueológico de Nápoles, copió en mármol el mapa celeste realizado por Hiparco en el año 125 a.C.

La estatua, copia romana de un original griego, representa a Atlas, el titán mitológico que sujeta el cielo para que no caiga sobre los hombres. El escultor habría copiado en la esfera que representa

<sup>1</sup> 2005 Environmental Sustainability Index

<sup>2</sup> Nature, 2005, 433, 561

<sup>3</sup> <http://www.plos.org>

<sup>4</sup> <http://npg.nature.com>

<sup>5</sup> El País, 15/1/2005

el cielo una disposición de las constelaciones que coincide, según Schaefer con la que debía contemplarse en los cielos en el año 125 a.C. De esta forma, la estatua del Museo Arqueológico de Nápoles exponía a la vista de todo el mundo una copia de un mapa celeste realizado hace unos dos mil cien años.

### **La Evolución: nada más que una teoría**

[M.A.C.] El distrito escolar de Cobb County (el segundo mayor de Georgia, con más de 100.000 estudiantes) colocaba, desde la primavera de 2002, un adhesivo en los libros de biología de enseñanza secundaria, advirtiendo: *“Este libro de texto contiene material sobre la evolución. La evolución es una teoría, no un hecho, con respecto al origen de las cosas vivas. Este material debe abordarse con una mente abierta, estudiado con cuidado y considerado críticamente”*. Todo lo cual, desde luego, no deja de ser cierto.... y, sin embargo, capcioso. Así parece haberlo considerado un juez de Atlanta, que finalmente prohibió, el pasado 13 de enero, la colocación de los adhesivos, por socavar la Primera Enmienda (separación entre iglesia y estado) al adoptar, aparentemente, una postura y despistar a los estudiantes con respecto al significado y valor de la evolución en la comunidad científica. La decisión del juez obedece a la denuncia interpuesta por cinco padres con el apoyo de la Unión Americana por las Libertades Civiles.<sup>1</sup> Aparentemente, los responsables de la educación en Cobb County no tienen claras las diferencias entre “hecho”, “teoría” e “hipótesis” y la parcialidad e intencionalidad de su medida resulta del hecho de que no se colocan adhesivos similares relativos a otras teorías científicas, como por ejemplo, la gravedad: *“Este libro contiene material sobre la gravedad. La gravedad es una teoría, no un hecho, con respecto a una fuerza que no se puede ver directamente. Este material ha de abordarse con una mente abierta, estudiado con cuidado y considerado críticamente”* (ver otras propuestas jocosas en <http://www.ntskeptics.org/news/news2004-11-24.htm>).

Por otro lado, en Dover, Pensilvania, el Consejo Escolar ordenó a los profesores de biología leer una frase que ataca la teoría de la evolución y favorece el “diseño inteligente” (la idea de que la complejidad de la vida requiere la acción de un agente inteligente), situándolas al mismo nivel.<sup>2</sup> Además, el consejo prohibió que la cuestión del origen de la vida se discutiese en clase. Un grupo de padres de Dover ha solicitado a un juez del distrito que declare la medida inconstitucional. La oposición a la enseñanza de la evolución en las escuelas públicas de EEUU tiene más de un siglo y mantiene aún hoy una gran virulencia (en 2005 se han presentado ya proyectos de ley “antievolucionistas” en 7 estados americanos<sup>3</sup>). Después de una decisión de 1987 de la Corte Suprema estableciendo que el creacionismo constituía una dosis ilegal de religión en las clases, los opositores han buscado un asidero científico. Últimamente, la propuesta del “diseño inteligente” y, específicamente, intentar situar la evolución simplemente como una más de varias posibles hipótesis igualmente válidas, parece ser la estrategia. Como otras “modas” americanas, ésta amenaza también de vez en cuando con saltar el charco, como sucedió en Italia recientemente, donde el gobierno pretendió, sin éxito, eliminar la evolución como materia obligatoria en los cursos de biología por ser la “antecámara del marxismo”.<sup>4</sup>

## **BREVES**

### **Tomografía de un orbital electrónico**

Un equipo de investigadores de Canadá y Japón ha obtenido, por primera vez, una imagen en tres dimensiones de un orbital electrónico molecular.<sup>5</sup> El campo eléctrico oscilante de un pulso láser ultracorto permite ionizar brevemente la molécula, sacando un electrón de su orbital más externo. Medio período después (del orden de femtosegundos) el campo eléctrico invertido devuelve el electrón al orbital. La emisión de luz resultante interfiere con el láser de una manera que depende de la posición del electrón, del láser y de la molécula y que puede observarse en el

<sup>1</sup> Nature, 2005, 433, 182

<sup>2</sup> Science, 2005, 397, 505

<sup>3</sup> <http://www.ncseweb.org/pressroom.asp?year=2005>

<sup>4</sup> Apuntes de Ciencia y Tecnología, número 11, p. 30

<sup>5</sup> Itatani et al. Nature, 2004, 432, 867; ver también News and Views, p. 809

espectro de sobretonos extremos del láser. Se requiere además fijar previamente la orientación espacial de las moléculas, lo que se consigue mediante otro haz láser polarizado linealmente. Midiendo estas interferencias para miles de eventos similares en distintos ángulos y usando algoritmos computacionales esencialmente idénticos a los que se usan en tomografía médica, los investigadores fueron capaces de reconstruir la forma de este orbital. Este resultado, espectacular en sí mismo, puede llevar a investigaciones fundamentales para nuestro conocimiento de la química, ya que los orbitales externos son los responsables del comportamiento químico de las moléculas. La técnica podría, en principio, usarse para obtener “instantáneas” o incluso una película de una reacción química, mostrando visualmente cómo los orbitales cambian de forma y se modifican los enlaces en el transcurso de una reacción. De esta manera, esta técnica podría complementar otras que estudian, a escala atómica, la dinámica del enlace químico, sobre todo la femtoquímica (o espectroscopia de femtosegundos de los estados de transición de las reacciones químicas) por la que Ahmed Zewail, de CalTech, obtuvo el Premio Nobel de Química de 1999.

### **Muere Ernst Mayr, evolucionista**

En Febrero murió Ernst Mayr a la edad de 100 años. Ornitólogo y taxonomista, Mayr dio forma, junto con T. Dobzhansky, a la Síntesis Evolutiva Moderna, la teoría que combina el Darwinismo y la Genética. Además, formuló el concepto moderno de “especie” como grupo de individuos capaz de procrear entre ellos pero no con individuos de fuera del grupo. Este concepto le permitió formular la idea de que la especiación es consecuencia del aislamiento geográfico de dos poblaciones de una misma especie que cambian gradualmente hasta el punto de ser demasiado distintos para procrear. Con ello, resolvería el problema del origen de las especies (que no fue resuelto por Darwin, pese al título de su más famoso libro, en el que más bien explica la aparición de características nuevas dentro de una especie).

### **Consejo de Ciencia y Tecnología de la Comunidad de Madrid**

El Gobierno de la Comunidad de Madrid nombró en enero pasado a los miembros del Consejo de Ciencia y Tecnología, encargado de asesorar en estas materias al Gobierno de la región. Entre los miembros se encuentra nuestro compañero Luis Rull, Catedrático de Física Teórica de la Universidad de Sevilla y presidente de la Junta Directiva de AACTE entre Julio de 2001 y Diciembre de 2003. Luis fue propuesto por la Asamblea de Madrid. El primer cometido del Consejo será la elaboración del IV Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica.

## ARTÍCULOS

**Primos: ayer y hoy**

Elena Cristóbal y Fernando Chamizo

*Departament de Matemàtiques, Universitat Autònoma de Madrid,  
Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049 Madrid**Corr-eles: elena.cristobal@uam.es , fernando.chamizo@uam.es*Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España (AACTE)  
© 2005 AACTE

Los números primos constituyen uno de los conceptos matemáticos más antiguos y elementales. A pesar de su aparente sencillez, la riqueza de sus propiedades y la dificultad de algunas preguntas inmediatas acerca de ellos han fascinado y ocupado a matemáticos profesionales y aficionados desde tiempo inmemorial. Nuestro propósito en este artículo es despertar en el lector esta fascinación por medio de un viaje histórico de más de dos mil años a través de algunos de los resultados más destacados y de sus artífices.

**Anteayer***Una nueva forma de entender los números*

En los albores de la cultura griega, hace unos 25 siglos, vivió Pitágoras de Samos, uno de los personajes más conocidos y a la vez más misteriosos de las matemáticas. Su figura está envuelta en leyendas y apenas hay indicios de que sea autor de los resultados que se le atribuyen. Fundó una escuela conocida como Hermandad Pitagórica, los miembros de la cual, entre otras cosas, se interesaron por los números naturales, pero lo hicieron de forma distinta a como lo habían hecho anteriormente egipcios y babilonios. Fueron más allá de la utilidad de los números, no sólo los usaron para dar respuesta a ciertos problemas que se planteaban en la vida cotidiana, sino que intentaron entender su esencia. Era la primera vez que los números se utilizaban para algo más que contar y calcular, y era también la primera vez que se consideraban como objetos en sí mismos, llegándose incluso a atribuirles propiedades místicas. Debido al secretismo que practicaba la secta pitagórica y a que estamos refiriéndonos a tiempos protohistóricos, es muy difícil saber a qué nivel de conocimiento matemático llegaron. Lo cierto es que la relevancia que dieron los pitagóricos a la numerología les hizo distinguir conceptos tales como los de número primo o número perfecto. Además la

influencia de la escuela pitagórica es indudable sobre quizá la obra con mayor proyección científica de todos los tiempos: los *Elementos* de Euclides.

*Euclides y los primos. ¿Cuántos números primos hay?*

De Euclides conocemos que fue profesor de matemáticas en el Museo de Alejandría, la escuela del saber más brillante de su tiempo. Las leyendas dicen que fue un anciano amable, modesto y gentil; una de ellas cuenta que cuando uno de sus alumnos le preguntó para qué servía estudiar geometría, Euclides ordenó a su esclavo que le diera unas monedas “ya que debe ganar algo necesariamente con lo que aprende”<sup>1</sup>.

La obra maestra de Euclides, los *Elementos*, es una de las más famosas y propagadas de toda la historia: se estima que ha tenido más de un millar de ediciones; de pocos libros se puede decir lo mismo, probablemente sólo la Biblia tenga mayor número de publicaciones. Este hecho llama la atención si tenemos en cuenta que es una obra científica pura, es decir, no demandada por las grandes masas de lectores. Su rigor lógico, origen del moderno

---

<sup>1</sup> [Bo], pág 141.

pensamiento matemático, hace que sea una obra única, el libro de texto con más influencia de todos los tiempos, el más usado en las escuelas para enseñar geometría; sin embargo, mucha gente desconoce que los *Elementos* no son sólo un libro de geometría: tres de sus trece libros (o capítulos) están dedicados a la teoría de números, son el VII, VIII y IX. En ellos aparecen definiciones como las de número primo, número impar y número perfecto.

Como todos los números naturales mayores que 1 se pueden descomponer de manera única en factores primos, éstos, los números primos, son las piezas centrales de la teoría de números, tanto como las palabras para formar una frase o el arroz para hacer una paella. Euclides se planteó la pregunta de cuántos números primos hay y obtuvo la respuesta mediante la que algunos consideran una de las más bellas y elegantes demostraciones de las matemáticas. La podemos encontrar en la proposición número 20 del libro IX de los *Elementos*: “ningún conjunto de números primos los incluye a todos”, es decir, hay infinitos primos. La demostración es bien conocida: supongamos que sólo hay una cantidad finita de números primos  $p_1, p_2, \dots, p_k$ , entonces el número  $N = (p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_k) + 1$  no sería divisible por ninguno de ellos y por tanto, o  $N$  es un nuevo primo, o es divisible por algún primo que no hemos considerado. Así cualquier cantidad finita de primos puede ser incrementada y por tanto hay infinitos números primos.

#### *Los números perfectos*

Euclides definió como *número perfecto* a “aquel que es igual a sus propias partes” y considerando que para Euclides “parte” quería decir divisor distinto del propio número, la definición se transforma en: “un número natural es perfecto si es igual a la suma de todos sus divisores menos él mismo”. Por ejemplo el 28 es perfecto, porque es suma de 1, 2, 4, 7 y 14. Hay pocos números perfectos y están muy separados unos de otros. El 6, 28, 496 y 8128 son los únicos menores que 10000.

San Agustín en su obra *La ciudad de Dios*, afirma que Dios decidió crear el mundo en 6 días para poner de manifiesto la perfección del orbe y además observa: “El 6 es un número perfecto en sí mismo y no porque Dios creara todas las cosas en seis días. Lo cierto, es más



**Euclides**

bien lo contrario; Dios creó todas las cosas en seis días porque ese número es perfecto. Y continuaría siéndolo incluso si la obra de los seis días no existiera”<sup>2</sup>.

En el libro IX de los *Elementos* Euclides enunció el siguiente teorema sobre los números perfectos, “si  $2^k - 1$  es primo y  $N = 2^{k-1} \cdot (2^k - 1)$ , entonces  $N$  es perfecto”. Gracias a este resultado, obtener números perfectos lleva a buscar primos de la forma  $2^k - 1$ , más conocidos como primos de Mersenne<sup>3</sup>. La búsqueda de los primos de Mersenne continúa en la actualidad. Hoy en día, cuando los matemáticos encuentran con los ordenadores un nuevo primo grande ¡lo hallan entre los primos de Mersenne! El último obtenido hasta hoy<sup>4</sup> es  $2^{5964951} - 1$ .

#### *¿Cómo podemos encontrar números primos?*

Realmente la búsqueda de números primos es un problema que ha estado siempre presente en la historia de las matemáticas. Ya se planteó en la Antigua Grecia, donde Eratóstenes de Cirene, un astrónomo casi contemporáneo de Euclides, ideó un método para ir aislando progresivamente los números primos. Se parte de los números naturales ordenados de manera creciente, de este conjunto se van apartando los números que son múltiplos de 2, los que son

<sup>2</sup> [Si], pág 30-31.

<sup>3</sup> Marin Mersenne fue un padre franciscano que actuó de intermediario entre algunos matemáticos del siglo XVII como Fermat, Descartes o Pascal. Entre las cosas que difundió se encuentran estos números primos.

<sup>4</sup> Se descubrió en febrero de 2005.



### Criba de Eratóstenes

2	3	<del>4</del>	5	<del>6</del>	7
<del>8</del>	<del>9</del>	<del>10</del>	11	<del>12</del>	13
<del>14</del>	<del>15</del>	<del>16</del>	17	<del>18</del>	19
<del>20</del>	<del>21</del>	<del>22</del>	23	<del>24</del>	<del>25</del>

múltiplos de 3, los de 5, (el 4 lo habríamos apartado con el 2), los de 7 y así sucesivamente. Si esto se hace en una tabla en la que los números están ordenados en 6 columnas, se puede observar que los números compuestos, (los que no son primos), se encuentran en columnas y diagonales.

*La teoría de números y la “Edad de Plata” de la matemática griega: Diofanto*

El periodo de esplendor que atravesó la matemática griega en los tiempos de Euclides, (siglo III a. C.), fue seguido por una época de decadencia hasta la llamada “Edad de Plata” de la matemática griega, en torno al siglo que va del 250 d. C. al 350 d. C. Al principio de este periodo nos encontramos con Diofanto de Alejandría; de cuya vida poco se sabe. Es conocido por ser el autor de la *Aritmética*, tratado de 13 libros de los que sólo han llegado hasta nuestros días los 6 primeros. Esta obra no tiene nada en común con la matemática griega tradicional, sino que muestra una rama esencialmente nueva que se asemeja al álgebra babilónica. En la *Aritmética* encontramos la resolución exacta de ecuaciones determinadas e indeterminadas, pero no a modo de explicación sistemática. Es una colección de unos 150 problemas, todos ellos resueltos en términos de ejemplos numéricos concretos. El problema que más aparece es encontrar la solución de ecuaciones indeterminadas con coeficientes enteros, como por ejemplo  $2x + 3y = 15$ . En honor al autor de la obra este tipo de ecuaciones se denominan ecuaciones diofánticas.

Muchos siglos más tarde, un ejemplar de la *Aritmética* de Diofanto cayó en manos de Fermat. Éste quedó tan fascinado por toda la sabiduría que contenía sobre los números que lo tomó como guía en el mundo de las matemáticas y constituyó su gran fuente de inspiración.

### Ayer

#### *El gran reto de Fermat*

Pierre de Fermat nació en la Francia de comienzos del siglo XVII, estudió derecho en Toulouse y trabajó en el parlamento local, primero como abogado y después como miembro del consejo. Las matemáticas eran su gran afición, a ellas dedicaba sus ratos libres, tanto que algunos autores lo han llamado el “príncipe de los aficionados”. Los problemas de la *Aritmética* de Diofanto le maravillaron, le encantaba resolverlos. Además, en ellos encontró gran cantidad de conocimiento sobre los números (desde los tiempos de Diofanto hasta la época de Fermat la teoría de números había permanecido inmóvil).

Al estudiar matemáticas, Fermat buscaba la satisfacción propia de resolver un problema sin pretender dejar para la posteridad los descubrimientos que hacía, por ello casi todos sus resultados los dejó sin probar.

Profundizando en el libro II de la *Aritmética*, Fermat llegó a una serie de cuestiones relacionadas con el teorema de Pitágoras y las ternas pitagóricas (conjuntos de tres números que satisfacen la ecuación dada por el teorema de Pitágoras), y a partir de aquí descubrió algo que se les había pasado por alto a los griegos. Jugando con los exponentes encontró la siguiente ecuación,  $x^n + y^n = z^n$ , y afirmó que no tiene solución con enteros positivos si  $n$  es un número natural mayor que 2. Esta afirmación es mundialmente famosa, es el *último teorema de Fermat*. Nuestro “príncipe de los aficionados”, tras dar el enunciado, anotó en su edición de la *Aritmética*, “poseo una prueba en verdad maravillosa para esta afirmación a la que este margen le viene demasiado estrecho”. Es un misterio saber si Fermat tenía la solución de este problema o simplemente se equivocaba, pero lo cierto es que esta afirmación ha tardado más de tres siglos en ser demostrada. Muchos matemáticos han querido resolver el “enigma de Fermat”: Euler demostró el caso  $n=3$ , Sophie Germain, la brillante matemática francesa del siglo XVIII, capaz de luchar contra la discriminación que existía en aquella época hacia las mujeres, tomando como única arma su conocimiento y hallazgos matemáticos, intentó probar algo para muchos casos a la vez. Se centró en los números primos  $p$  (hoy llamados primos de Germain), tales que  $2p + 1$  también es primo. Probó que para todos los

casos en los que el exponente sea un primo de Germain, de existir una solución para la ecuación de Fermat, alguno de los números  $x$ ,  $y$  o  $z$  debe ser múltiplo del exponente. El caso  $n=5$  fue probado por Dirichlet y Legendre independientemente y el caso  $n=7$  por Gabriel Lamé. Los números primos desempeñan un papel importante en la demostración del teorema, ya que para probarlo es suficiente demostrar que la ecuación no tiene solución para exponente 4 y exponente primo. Por ejemplo, si el exponente fuera 6 basta probar que la ecuación no tiene solución cuando el exponente es 3, ya que si  $x^6 + y^6 = z^6$  tuviera una solución  $x_0, y_0, z_0$  entonces  $X = x_0^2, Y = y_0^2, Z = z_0^2$  sería solución de la ecuación  $X^3 + Y^3 = Z^3$ . Esto se puede generalizar ya que todo número compuesto mayor que 2 o tiene un divisor primo impar, o es múltiplo de 4, y por tanto cualquiera de sus potencias se podrá reescribir como potencia de un primo impar o como potencia de 4.

A mediados del siglo XIX Lamé y Cauchy, por separado, creyeron haber demostrado el último teorema de Fermat, pero Kummer probó que esos trabajos fallaban en la factorización única en primos y, para solucionar este problema, introdujo los números ideales. Desde este momento hasta 1955 no se produce ningún avance; sin embargo, en dicho año se obtiene lo que desempeñaría un papel crucial en la demostración y, más aún, en la teoría de números: dos jóvenes matemáticos japoneses, Yutaka Taniyama y Goro Shimura (y más tarde André Weil) conjeturaron que toda curva elíptica es modular. Sin entrar en detalles, esto significa que, a partir de curvas cúbicas, como  $y^2 = x^3 + 1$ , contando el número de soluciones módulo cada primo (véase el lenguaje de las congruencias más adelante) se pueden construir funciones complejas con una cantidad sorprendente de simetrías. En 1986 Gerhard Frey afirmó (y Kenneth Ribet probó) que, si el último teorema de Fermat no fuera cierto, entonces habría un contraejemplo a la conjetura. Así pues, quien lograra probar la conjetura conseguiría el premio de demostrar el teorema de Fermat. El hombre que llevó a cabo tal gesta fue un matemático de Princeton, Andrew Wiles, en 1995. El teorema de Fermat es importante por todas las matemáticas que ha generado su demostración, no por lo que dice en sí mismo; la prueba de la conjetura de Taniyama-Shimura-Weil trae consigo un gran triunfo para los matemáticos, ya que posibilita

el trabajo conjunto en los mundos elíptico y modular y además alienta a la demostración de otras conjeturas que unen distintas galaxias del gran cosmos matemático.

*¡Las conjeturas de Fermat y los números primos cautivan y capturan al “análisis en persona”!*

Otro importante teorema de nuestro genio francés es el conocido como *pequeño teorema de Fermat* que dice “para cualquier número entero  $a$  y cualquier primo  $p$  que no lo divida,  $a^{p-1} - 1$  es divisible por  $p$ ”. Por una carta de Fermat a Mersenne sabemos que este teorema es consecuencia de sus investigaciones sobre números perfectos pero, como era habitual en él, enunció el teorema sin demostración. El primero en publicar una fue Euler. La prueba que dio es sorprendentemente elemental: procedió por inducción<sup>5</sup>, si  $a=1$  se comprueba trivialmente que el teorema es cierto, lo siguiente es verificar que si el teorema es cierto para  $a=k$  siendo  $k$  un número natural, entonces también es cierto para  $a=k+1$ , para probar esto utilizó la siguiente versión del binomio de Newton,  $(a+1)^p = a^p + mp + 1$ , donde  $m$  es entero. Restando  $a+1$  a los dos miembros se llega a:  $(a+1)^p - (a+1) = (a^p - a) + mp$ , y, como el primer sumando del segundo miembro de la ecuación es divisible por  $p$  por la hipótesis del pequeño teorema de Fermat, entonces todo el segundo miembro es divisible por  $p$  y queda demostrado el teorema por inducción para todos los valores de  $a$ .

Euler también demostró otra famosa afirmación de Fermat sobre los primos. Sabemos que todos los primos mayores que 2 pueden clasificarse en dos categorías, los de la forma  $4k+1$  y los de la forma  $4k-1$ . Una importante distinción entre estas dos familias de primos viene dada por el siguiente enunciado probado por Euler casi un siglo después de la muerte de Fermat, “un primo de la forma  $4k+1$  se puede expresar como la suma de dos cuadrados perfectos de manera única, mientras que un número de la forma  $4k-1$  no puede descomponerse de ninguna forma como suma de dos cuadrados perfectos”.

Fermat también estudió los números de la forma  $N_n = 2^{2^n} + 1$ , hoy conocidos como primos de Fermat: 3, 5, 17, 257 y 65537. Perca-

<sup>5</sup> Ésta es una técnica de demostración muy usada en matemáticas. Véase [Si] p. 209-210, 303-304.



**Euler**

tándose de que los primeros números de esta sucesión eran todos primos, conjeturó que todos lo eran. Un siglo más tarde, nuestro próximo protagonista, Euler, demostró que el siguiente número de Fermat no era primo, y hoy en día el saber si existen o no más primos de Fermat es un problema que aún permanece sin resolver.

Se cuenta de Leonhard Euler que poseía una intuición y una memoria tan grandes que podía realizar de cabeza todo el grueso de un cálculo sin tener que utilizar lápiz y papel. En toda Europa lo conocían como “el análisis en persona”, y el académico francés François Arago dijo: “Euler calculaba en apariencia sin ningún esfuerzo igual que los hombres respiran o que las águilas se sostienen en el aire”.<sup>6</sup> La teoría de números parece haber sido para Euler una disciplina especial. En su juventud, se dedicó al cálculo diferencial e integral, que en ese momento constituía una nueva área de investigación y era el tema de moda.

Se atribuyen el entusiasmo y el interés de Euler por la teoría de números a la buena “propaganda” que sobre esta materia hacía Christian Goldbach, con quien coincidió en la Academia de San Petersburgo. De la correspondencia entre ambos surgió la *conjetura de Goldbach*: “todo número par mayor que 2 es suma de dos primos”.<sup>7</sup> La primera relación de

Euler con la teoría de números fue demostrar que el sexto primo de Fermat era un número compuesto, pero esto sólo fue el comienzo, la teoría de números se convirtió en una pasión para él y profundizó tanto en la obra de Fermat como este último lo había hecho en la de Diofanto. Cuatro volúmenes de las obras completas de Euler tratan de teoría de números.

Sobre los números perfectos, Euler regresó al teorema que Euclides había dado sobre ellos y demostró que la condición de suficiencia es también necesaria en el caso de los números perfectos pares. Con esta demostración Euler finalizó el trabajo que había empezado Euclides muchos siglos atrás. Este resultado puede verse como fruto de la genialidad de ambos matemáticos, que ha sabido combinarse a pesar del transcurso de casi dos mil años entre la existencia de uno y otro. Aún con todo lo que Euclides y Euler descubrieron sobre números perfectos, quedan sin resolver algunas cuestiones, ¿existen infinitos números perfectos?, ¿son todos pares? Esta última pregunta fue calificada por Euler como muy difícil, así que podemos estar seguros de que es complicada, aunque los matemáticos han hecho progresos dando condiciones que debería tener un número perfecto impar en el caso de existir.

*La distribución de los primos: lo continuo ayuda a lo discreto*

A continuación vamos a emprender una excursión por la teoría analítica de números, disciplina que aplica las técnicas del cálculo o análisis al estudio de los números naturales. Lo que hace a esta unión tan sorprendente es que une lo continuo, el cálculo, con lo discreto, los naturales. La teoría analítica de números es uno de los grandes tesoros que esconden las matemáticas, un tema que empezó a hablar en voz alta en el siglo XIX pero cuyas primeras palabras pueden remontarse a Euler.

Ya hemos visto anteriormente que Euclides demostró la existencia de infinitos primos, pero la cosa no se queda aquí. Conocer las características y distribución de los números primos ha sido un problema que ha cautivado profundamente a los matemáticos.

Euler cruzó el umbral de la teoría de números clásica para pasar a una línea más osada y analítica en el artículo *Variae observationes circa series infinitas*, donde sumaba series infinitas. En dicho artículo estudió la serie

<sup>6</sup> [Si], pág 87.

<sup>7</sup> Esta conjetura permanece hoy sin probar.

armónica<sup>8</sup>, de la cual sabía que diverge a infinito, y dedujo una sorprendente y portentosa relación entre los números primos y la serie armónica al demostrar que

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \dots = \frac{2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13 \dots}{1 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 12 \dots}$$

“donde -explicó- el numerador de la derecha es el producto de todos los números primos y el denominador es el producto de todos los números inferiores en una unidad a todos los primos”.<sup>9</sup>

Las carencias lógicas de este argumento las subsanó Leopold Kronecker demostrando que

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^s} = \prod_p \frac{p^s}{p^s - 1}$$

para  $s > 1$ . Haciendo tender  $s \rightarrow 1^+$  se llega a la fórmula de Euler. Este resultado, conocido como la identidad de Euler, es asombroso debido a que relaciona los números naturales, que conocemos bien, con los números primos, que forman una sucesión muy caótica. Además, al unir la serie armónica con los números primos se muestra que la conjunción entre el análisis y la teoría de números es posible.

De esta fórmula de Euler también se deduce la existencia de infinitos números primos. Esta conclusión no es nueva: como hemos visto antes, Euclides ya demostró la existencia de infinitos primos mucho tiempo atrás. Lo que hace importante esta consecuencia de la identidad de Euler es el ingenio de deducir la infinitud de los primos de la divergencia de la serie armónica.

En el mismo artículo estudió el comportamiento de la suma de los inversos de los primos, y vio que divergía. Nuestro genio lo demostró por medio de las series, haciendo manipulaciones audaces. En palabras de André Weil “se podría considerar que estas investigaciones marcan el nacimiento de la teoría analítica de números”<sup>10</sup>.

Euler también demostró que existían infinitos primos de la forma  $4k+1$ , pero esto no es todo; llegó a conjeturar algo mucho más general, la existencia de infinitos primos en cualquier progresión aritmética  $a, a + b, a + 2b, a + 3b, \dots, a + kb$ , siendo  $a$  y  $b$  números primos entre sí.

Euler no probó su conjetura, y, de hecho, no fue demostrada hasta 1837, año en que Dirichlet lo consiguió, (por eso es hoy conocida como teorema de Dirichlet).

A medida que avanzaba el siglo XIX, había una cuestión que cada vez intrigaba más a los teóricos de números. Este problema no era otro que la demostración del teorema de los números primos o, lo que es lo mismo, entender cómo están distribuidos los primos entre todos los números. En los últimos años del siglo XVIII, a la pronta edad de 14 años, el joven Gauss conjeturó que cuando  $x$  crece ilimitadamente, el número de primos menores o iguales que  $x$ , llamado  $\pi(x)$ , es como  $x/\log x$ .

La demostración de esta conjetura, hoy conocida como teorema de los números primos, requirió casi cien años. Esta larga duración se debe a que matemáticos como Riemann y Tchebychev tuvieron que depurar las herramientas de la teoría analítica de números hasta que alcanzaron el nivel necesario para la gran misión que se pretendía realizar. Tchebychev dedujo que  $C_1 x/\log x < \pi(x) < C_2 x/\log x$  para ciertas constantes  $C_1$  y  $C_2$ .

En 1860, Riemann escribió una breve pero importantísima memoria en la que, con técnicas de variable compleja, a partir de la identidad de Euler “despejó”  $\pi(x)$  en términos de la llamada función zeta (o dseta)

$$\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} 1/n^s$$

Con ello obtuvo una fórmula para  $\pi(x)$  cuyo primer término es similar a  $x/\log x$ . No se puede decir que Riemann probase el teorema de los números primos, porque en su memoria enuncia varias propiedades que no demuestra y tampoco está claro que en su fórmula para  $\pi(x)$  el término similar a  $x/\log x$  domine sobre los demás; sin embargo, lo que sí es cierto es que dejó indicado el sendero que conducía a demostrar el teorema de los números primos. El honor de recorrer esta senda estaba reservado a Jacques Hadamard y a Charles de la Vallée Poussin, quienes, en 1896, dieron independientemente demostraciones completas y rigurosas de que  $(\pi(x)\log x)/x$  se acerca indefinidamente a 1 cuando  $x$  crece (el teorema de los números primos).

Pero este no es el final de la historia. Riemann conjeturó que, una vez extendida adecuadamente la función  $\zeta$  al plano complejo,

<sup>8</sup> La serie  $1+1/2+1/3+1/4+1/5+\dots$

<sup>9</sup> [Du] pág 133.

<sup>10</sup> [Du] pág 142.



Riemann

todos los números  $x + iy$  con  $x > 0$  y tales que  $\zeta(x + iy) = 0$ , deben cumplir  $x = 1/2$ , es decir, los ceros de  $\zeta$  en el semiplano derecho están en “fila india”. Ésta es la famosa *Hipótesis de Riemann*. Se puede demostrar que se obtiene el menor orden de error al sustituir  $\pi(x)$  por su mejor aproximación (en realidad ésta es  $\int_2^x dt / \log t$  en lugar de  $x / \log x$ ) si y sólo si la Hipótesis de Riemann es cierta. En otras palabras, que la conjetura de Riemann sea verdadera es equivalente a obtener el error óptimo en el teorema de los números primos. En definitiva, contar primos con precisión, demanda a gritos un resultado que involucra números complejos.

Lo fascinante del teorema de los números primos es, de nuevo, el tipo de relación que presenta entre lo discreto y lo continuo, la misma que Euler observó por primera vez en los resultados que hemos comentado antes. Por ello, como ha apuntado algún autor<sup>11</sup>, aunque quizá Euler no merezca completamente ser llamado padre de la teoría analítica de números concedámosle claramente el ser su abuelo.

#### *Gauss, el príncipe de los matemáticos*

Acabamos de mencionar al joven Gauss, hemos dicho que conjeturó el teorema de los números primos, pero sus aportaciones a la teoría de números no terminan ahí. A Gauss se le ha conocido siempre como “el príncipe de los matemáticos”, es uno de los grandes genios



Gauss

de toda la historia, su talento destacó ya desde la infancia. Un día en la escuela, el maestro, con el objetivo de mantener a todos los niños callados durante un rato, les mandó sumar todos los números del 1 al 100, casi inmediatamente Gauss acabó el ejercicio. El chiquillo lo había hecho haciendo el cálculo mental de sumar una progresión aritmética asociando parejas de términos que distaban lo mismo de los extremos<sup>12</sup>. Años más tarde, al entrar en la universidad, Gauss estaba indeciso sobre qué estudiar, dudaba entre filología o matemáticas. Finalmente se decidió por estas últimas debido a un brillante descubrimiento que hizo por esa época. Los griegos habían sido capaces de dibujar con regla y compás el triángulo, el pentágono y el polígono regular de 15 lados. Pues bien, Gauss consiguió construir con regla y compás un polígono regular de 17 lados y más tarde generalizó el resultado afirmando que un polígono regular de  $n$  lados se puede construir con regla y compás si y sólo si,  $n = 2^r \cdot p_1 \cdot \dots \cdot p_s$  donde  $r$  y  $s$  son enteros positivos y los primos  $p_i$  son números primos de Fermat.

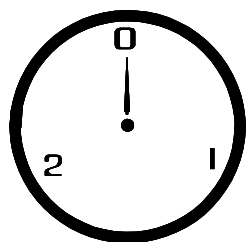
#### *El maravilloso mundo de las congruencias*

Dentro de la teoría de números el libro más importante de Gauss es *Disquisitiones arithmeticae*, que escribió cuando apenas tenía 24 años. Gauss dedicó el libro al duque de Brunswick, quien financiaba sus estudios, haciendo constar expresamente que gracias a él

<sup>11</sup> [Du], pág 148.

<sup>12</sup> [Bo], pág 627.

## La aritmética del reloj

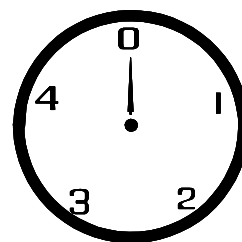


**Módulo 3**

$$8 \equiv 2 \pmod{3}$$

**Módulo 5**

$$11 \equiv 1 \pmod{5}$$



estaba realizando investigaciones en aquellas partes de la ciencia “que parecen más abstractas y con menos aplicaciones a la utilidad ordinaria, porque, en la profundidad de su sabiduría, entiende que pueden aprovecharse por todos aquellos que aspiran a la felicidad y a la prosperidad de la sociedad.”<sup>13</sup>

En este libro, Gauss introduce las congruencias, que han sido utilizadas por todos los matemáticos a partir de entonces. Veamos en qué consiste esta teoría de las congruencias o aritmética de los relojes. Los números pueden pensarse como marcas de una recta que llega hasta el infinito. Para hacer finito el espacio de números, la aritmética de los relojes corta la recta en un punto y de aquí resulta un segmento que se cierra sobre sí mismo, con lo que ahora tenemos un anillo, (reloj). Si tenemos un reloj de, por ejemplo, 7 números, será que hemos cortado la recta por el 7 y hemos cerrado el segmento resultante sobre el 0. El número 7 se hace equivalente al 0: los únicos números que están en la aritmética del reloj de 7 números son el 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6. En esta aritmética la adición no es exactamente igual a la usual, aquí  $4 + 5 = 2$ , esto ocurre porque si empezamos en el 4 y avanzamos 5 espacios en la esfera del reloj se llega al 2. Esta aritmética al principio puede parecer un poco rara, pero, como sugiere su nombre, la utilizamos a diario para hablar de la hora. Por ejemplo, las 15 son las 3; en este caso tendríamos un reloj de 12 números donde el 0 es equivalente al 12 y por tanto, las 3 equivale a sumar 3 al 12 que son 15. En esta aritmética también se puede multiplicar. Veámoslo con un ejemplo, en el reloj de 12 números,  $5 \cdot 4 = 8$ . Esta multiplicación se puede entender pensando que salimos del 0 y nos movemos 4 espacios 5 veces, al final llegamos al 8. Aunque éste es el modo de comprender la multiplicación, en la aritmética de los

relojes también existen otras formas de interpretarla que simplifican los cálculos. Para calcular  $5 \cdot 4$  podemos hallar el resultado normal que es 20 y dividirlo entre 12, y observamos que el resto coincide con la respuesta que teníamos inicialmente, 8. Todo esto es equivalente a pensar que en el reloj damos una vuelta completa y avanzamos 8 nuevos espacios.

Hablando en un lenguaje más técnico, decimos que dos números enteros  $a$  y  $b$  son congruentes módulo  $c$ , si el resto de dividir  $a$  entre  $c$  coincide con el de dividir  $b$  entre  $c$ , y se expresa así,  $a \equiv b \pmod{c}$ . Si en la aritmética del reloj de 12 números hemos dicho que las 15 eran las 3, en el idioma de las congruencias se dice que 15 es congruente con 3 módulo 12, esto lo escribimos como  $15 \equiv 3 \pmod{12}$ . Observamos que, en efecto, el resto de dividir 15 entre 12 coincide con el de dividir 3 entre 12.

Apliquemos esta teoría de congruencias al pequeño teorema de Fermat. Éste decía que para cualquier número entero  $a$  y cualquier primo  $p$  que no lo divida,  $a^{p-1} - 1$  es divisible por  $p$ . Escrito en el lenguaje de las congruencias, el teorema equivale a decir que  $a^{p-1} \equiv 1 \pmod{p}$ . Utilizando el teorema podemos comprobar si un número es compuesto; por ejemplo,  $5^{11} \equiv 5^4 \cdot 5^4 \cdot 5^3 \equiv 1 \cdot 1 \cdot 5 \equiv 5 \pmod{12}$ , si 12 fuera primo  $5^{11}$  debería haber sido congruente con 1 módulo 12, así que de aquí se deduce que el 12 no es primo.

Se nos puede ocurrir preguntarnos si el recíproco del teorema es verdadero, es decir, ¿si  $a^{n-1} \equiv 1 \pmod{n}$ , entonces  $n$  es primo? no tiene por qué serlo, por ejemplo  $2^{560} \equiv 1 \pmod{561}$ , 2 no divide a 561 y, ¡561 es compuesto! A los números compuestos,  $n$ , que satisfacen que  $a^{n-1} \equiv 1 \pmod{n}$  se les llama pseudoprimos respecto a  $a$ . Si además  $n$  es pseudoprimo para todo  $a$  que no tenga factores comunes con él se dice que  $n$  es un número de Carmichael. Recientemente, en 1994,

<sup>13</sup> [Tor], pág 30.



se ha demostrado que existen infinitos números de Carmichael, el más pequeño es el 561.

Por último, señalar que el pequeño teorema de Fermat aporta información sobre números tan grandes que posiblemente un ordenador nunca podría llegar a manejar.

Otra de las aplicaciones más sencillas de las congruencias es el cálculo de reglas de divisibilidad. Para ilustrarlo calculemos la regla de divisibilidad por 3. Primero recordamos cómo escribimos los números en el sistema decimal con un ejemplo,  $N=527$  quiere decir que  $527 = 5 \cdot 100 + 2 \cdot 10 + 7$ . A continuación observamos que  $10 \equiv 1(3)$ , podemos multiplicar esta congruencia por ella misma y tenemos  $100 \equiv 1(3)$ , si volvemos a multiplicar el resultado por  $10 \equiv 1(3)$  se obtiene  $1000 \equiv 1(3)$  y así sucesivamente. Si nuestro número es  $N = a_n \dots a_1 a_0 = a_n \cdot 10^n + \dots + a_1 \cdot 10 + a_0$  entonces  $N \equiv a_n + \dots + a_1 + a_0 (3)$ , ya que todas las potencias de 10 son congruentes con 1 módulo 3. De lo anterior se deduce que el resto de dividir un número  $N$  entre 3 coincide con el de dividir la suma de sus cifras por 3, por lo tanto si la suma de las cifras de un número es divisible por 3, el número también lo será. Por ejemplo 24 es un número divisible por 3 y la suma de sus cifras es 6.

La regla del 9 que los más veteranos habrán aprendido en el colegio para comprobar el resultado de operaciones aritméticas, también es una aplicación de la teoría de congruencias.

#### *La herencia de Gauss: nuevos primos para viejos problemas*

Gauss fue pionero introduciendo nuevos primos que viven en el reino de los números complejos. Pero, ¿qué propósito tiene ampliar nuestros queridos y ancestrales primos dos mil años después de que Euclides escribiera acerca de ellos? ¿Es sólo una muestra del vicio generalizador de los matemáticos?

La explicación más directa es que a veces conviene tener más primos para poder factorizar más cosas. Por ejemplo, supongamos que queremos estudiar el número de soluciones enteras (digamos positivas y negativas) de la ecuación  $x^2 + y^2 = 5^{101}$ . Evidentemente, si el primer miembro fuera  $xy$ , todo sería muy fácil, obteniéndose las 102 soluciones dadas por  $x = \pm 5^\alpha$ ,  $y = \pm 5^{101-\alpha}$  con  $\alpha = 0, 1, 2, \dots, 101$ .

La gran diferencia es que  $xy$  está factorizado y podemos compararlo con la factori-

zación de  $5^{101}$  sin dificultad. Si permitimos números complejos, se puede escribir  $x^2 + y^2 = (x + iy)(x - iy)$  con  $i = \sqrt{-1}$  y, además, 5 deja de ser *primo*, porque  $5 = (2 + i)(2 - i)$ . Esto nos lleva a las igualdades  $x + iy = (2 + i)^\alpha (2 - i)^\beta$ , por un lado, y  $x - iy = (2 + i)^{101-\alpha} (2 - i)^{101-\beta}$ . Y la condición de que uno sea el conjugado del otro implica  $\beta = 101 - \alpha$ . Por otra parte, en los enteros complejos hay cuatro posibles “signos”:  $\pm 1, \pm i$ ; es decir, números que podemos invertir, lo que permite ponerlos en  $x + iy$  y compensarlos en  $x - iy$ . En definitiva, hay exactamente  $4 \cdot 102 = 408$  soluciones enteras<sup>14</sup> de  $x^2 + y^2 = 5^{101}$ , dadas por las partes real e imaginaria de  $u(2 + i)^\alpha (2 - i)^{101-\alpha}$  con  $\alpha = 0, 1, 2, \dots, 101$  y  $u = 1, -1, i, -i$ .

¿Por qué no envalentonarnos y aplicar la misma idea a otras ecuaciones? Si nuestro objetivo fuera el último teorema de Fermat, antes de llamar a los periodistas comenzaríamos probando con un miniejemplo para saber cómo las gastan estos nuevos primos. Consideremos  $x^2 + 5y^2 = 36$  y el conjunto de números raros  $R = \{a + b\sqrt{-5}\}$ , con  $a$  y  $b$  enteros, los cuales sirven para factorizar el primer miembro como  $(x + y\sqrt{-5})(x - y\sqrt{-5})$ . El segundo miembro es  $2^2 \times 3^2$ , y con un poco de esfuerzo (que no haremos aquí) se puede ver que 2 y 3 son primos en el reino de los números raros. Esto es, ni 2 ni 3 se pueden escribir como  $z \cdot w$  con  $z$  y  $w$  en  $R$  distintos de 1 y  $-1$ . Un análisis como el anterior sugiere que las únicas soluciones son  $x + y\sqrt{-5} = \pm 2 \cdot 3$ , es decir,  $x = \pm 6, y = 0$ . Sin embargo, una simple inspección prueba que en realidad hay otras soluciones dadas por  $x = \pm 4, y = \pm 2$ .

¿Cómo ha podido suceder esto? ¿Por qué Gauss puede inventarse nuevos primos y nosotros no? Examinemos la situación minuciosamente: Las nuevas soluciones provienen de la factorización  $36 = (1 + \sqrt{-5})^2 (1 - \sqrt{-5})^2$ . Con algo de trabajo se puede probar que  $1 + \sqrt{-5}$  y  $1 - \sqrt{-5}$  son primos, pero entonces  $2 \cdot 3 = (1 + \sqrt{-5})(1 - \sqrt{-5})$  son dos factoriza-

<sup>14</sup> Nótese que todo el argumento radica en la existencia de una descomposición en ciertos primos complejos, llamados *primos gaussianos* en honor a su creador.

ciones distintas del número 6. Esto no ocurre con los números de nuestros padres y abuelos, con ellos la factorización es única y no hay más que decir.

Razonando a partir de un ejemplo sencillo de David Hilbert, podemos tratar de entender la situación: imaginemos que sólo existieran los números<sup>15</sup> 5, 9, 13, 17, 21, 25, ... entonces por ejemplo 9, 21 y 49 serían primos porque no tienen factores entre estos números. Pero la factorización no es única porque  $9 \cdot 49 = 21 \cdot 21$ . Evidentemente la manera de evitar esta aberración es inventar los números que faltan. Volviendo a nuestro ejemplo, puestos a inventarnos primos extraños, deberíamos añadir algunos que estuvieran dentro de  $2 \cdot 3$  y de  $(1 + \sqrt{-5})(1 - \sqrt{-5})$ . Pero, ¿qué tienen en común por ejemplo 2 y  $1 + \sqrt{-5}$ ?

Kummer nos diría que un *primo ideal*. Es un poco difícil explicar en pocas palabras este concepto tan abstracto, pero digamos que pasa por sustituir el hipotético primo común por una colección de números (un ideal) con ciertas propiedades comunes. Como hemos dicho antes, la creación de Kummer está estrechamente relacionada con el último teorema de Fermat y originada por éste. Kummer, con sus primos ideales, consiguió factorizar la ecuación de Fermat y probar que no tiene solución para muchos exponentes. Sin embargo, para otros exponentes no estaba muy clara la relación entre las soluciones ideales y las posibles soluciones enteras. Esto resultó un problema de tal magnitud que su proyecto no se ha llegado a completar todavía y la solución ha venido por bien distintos derroteros.

## Hoy

Es más difícil calibrar la altura relativa de los rascacielos cuanto más cerca se encuentra uno de ellos, por ello preferimos alejarnos un poco y que “hoy” signifique al menos hace un rato. A pesar de ello, es imposible ignorar que en la técnica de uso cotidiano los primos han invadido con pie firme las comunicaciones por la red de redes. Es cierto, no es un proyecto, ni un truco elegante, ni algo restringido a la NASA o la CIA. Resulta que cuando nos conectamos con nuestro banco o empleamos una tarjeta inteligente o cambiamos algunos ficheros de nuestra página web, la actuación de nú-

meros primos gigantescos travestidos de impulsos eléctricos, es crucial.

### *Primos en la era de los ordenadores*

La criptografía depende en gran medida de las llamadas *funciones trampa*, que se comportan como los candados: son fáciles de cerrar pero abrirlos requiere ciertos privilegios (una llave). Dos de los candados que se construyen empleando primos grandes (de cientos de cifras) son los siguientes:

**Es fácil:** Multiplicar dos primos.  
**Es difícil:** Factorizar el resultado.

**Es fácil:** Calcular  $g^x$  módulo  $p$   
**Es difícil:** Hallar  $x$  a partir de  $g^x$  y  $p$ .

El primer candado es la base del famoso criptosistema RSA, que vagamente depende de que utilizar el pequeño teorema de Fermat para simplificar potencias requiere factorizar cuando el módulo es producto de dos primos<sup>16</sup>. De modo que los espías de hoy en día tienen que estar muy al tanto de los nuevos avances en métodos de factorización<sup>17</sup>. El segundo candado da lugar a un criptosistema sencillo y espectacular que no nos resistimos a describir.

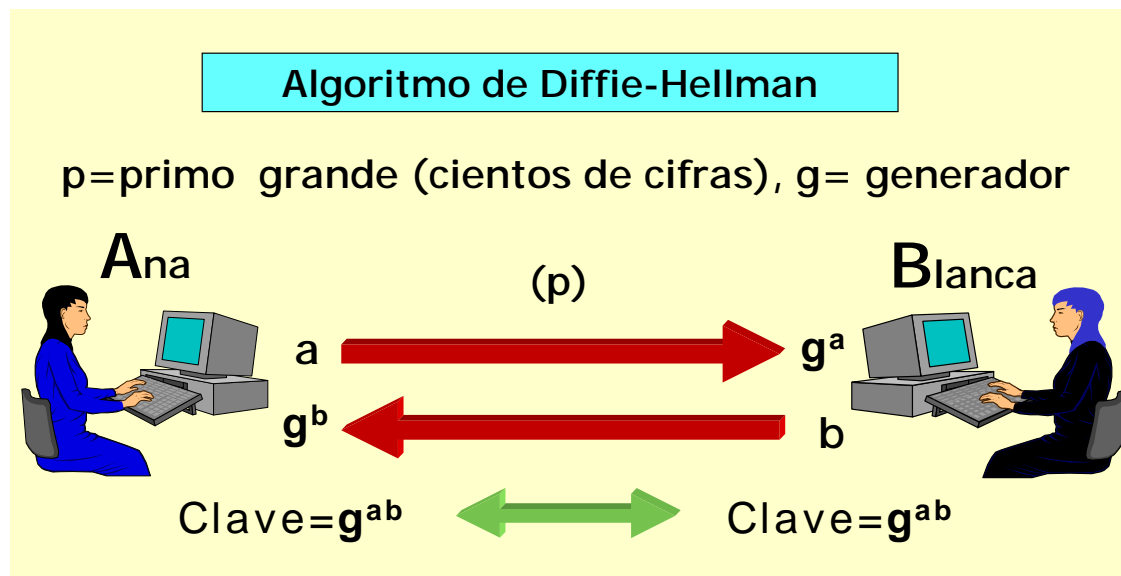
¿Cómo decir un secreto a gritos en un lugar público sin que se entere nadie más que mi interlocutor? El método más natural, empleado por los quinquis desde la antigüedad hasta nuestros días, es usar un idioma extraño. Sin embargo esto plantea el problema de que alguien conozca el lenguaje o sea capaz de descifrarlo. Lo que es peor, si no me fío de mi interlocutor prefiero no enseñarle mi idioma secreto. Por poner un ejemplo más simple y real, supongamos que deseamos conectarnos con nuestro banco y para ello queremos usar un cifrado dependiendo de una clave (número secreto) que preferimos no transmitir para que nadie con un *sniffer* (programa para husmear los datos que circulan por la red) nos la robe, ni tampoco que esté previamente en la base de datos del banco, por si acaso fuera vulnerable a un ataque. En pocas palabras, necesitamos acordar un número en tiempo real, a distancia, por un canal inseguro y sin necesidad de transmitirlo. Aparentemente es imposible satisfacer simultáneamente tantas exigencias; sin embar-

<sup>15</sup> Cada uno se obtiene sumándole cuatro al anterior.

<sup>16</sup> [Ro].

<sup>17</sup> [St1].





go, W. Diffie y M.E. Hellman<sup>18</sup> mostraron en 1976 que con nuestros amigos los primos se puede diseñar un método escandalosamente sencillo.

Para comenzar, necesitamos un primo  $p$  gigantesco, digamos de cientos de cifras, y un número  $g$  tal que  $1 < g < p$  (a ser posible tal que sus potencias den casi todas las horas en la aritmética del reloj de  $p$  horas). Estos datos podrían ser incluso públicos (aunque mejor disimularlos en las entrañas más recónditas de nuestro ordenador). Digamos que los interlocutores que quieren acordar una clave son A(na) y B(lanca). Ana se inventa en privado un número aleatorio grande,  $a$ , y envía a Blanca  $g^a$  módulo  $p$  por el canal inseguro. Como nadie sabe tomar logaritmos de congruencias eficientemente, ni siquiera Blanca puede conocer  $a$ . De la misma forma, Blanca se inventa  $b$  y envía a Ana  $g^b$  módulo  $p$ . Ana puede calcular el número  $(g^b)^a$  y Blanca puede calcular  $(g^a)^b$  (siempre módulo  $p$ ) con lo cual ambas conocen la Clave =  $g^{ab}$  que nunca ha sido transmitida.

Una vez que tienen un número secreto hay cientos de formas de codificar la información, tan elementales<sup>19</sup> que al PC de nuestra casa no le costaría ni un gruñido de disco duro y la conversación de A y B estará a salvo de cualquier C(otilla).

¡Si Eratóstenes levantara la cabeza!

Volvamos atrás, muy muy atrás y pidamos prestado a Eratóstenes su cedazo para tratar de contar primos. No seremos los primeros, Legendre ya se lo pidió una vez con el mismo propósito, pero eso fue hace doscientos años y no tendremos que esperar turno.

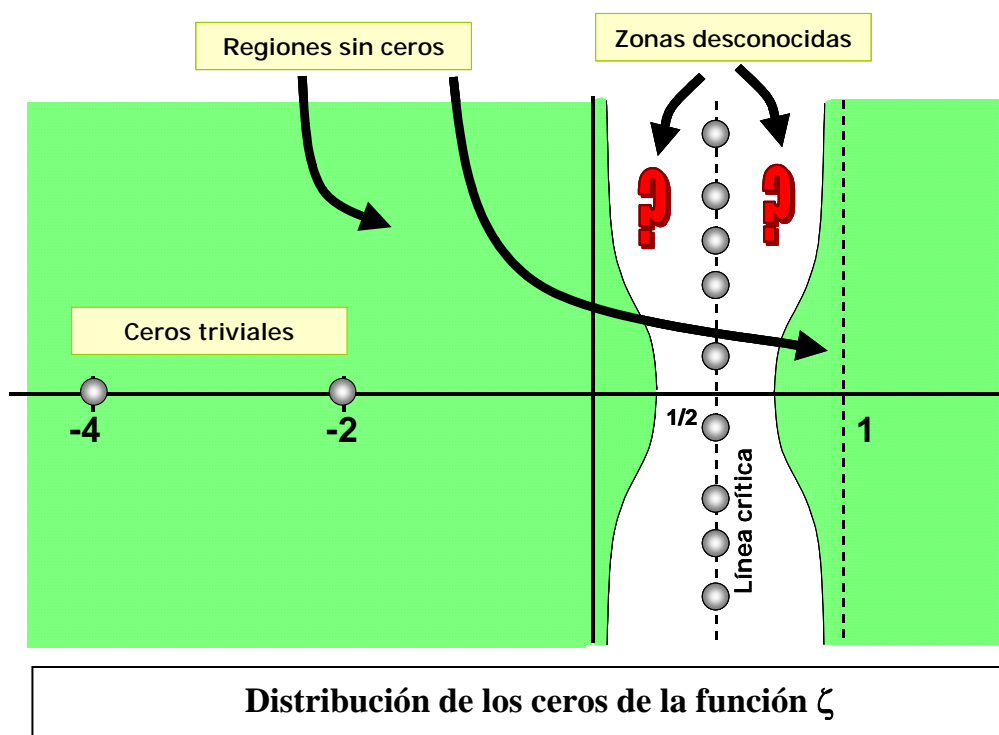
Digamos que escribimos los  $N$  primeros números en nuestra tabla; según el proceso de criba, la primera vez tachamos unos  $N/2$  números (los múltiplos de dos) y después unos  $N/3$  (los múltiplos de tres) pero en total no habremos tachado  $N/2 + N/3$  sino unos  $N/2 + N/3 - N/6$  porque los múltiplos de seis están tachados dos veces. Con ello tenemos que los números no tachados serán unos  $N/3$  (ya que  $1 - 1/2 - 1/3 + 1/6 = 1/3$ ) y por tanto hemos probado de forma sencilla que menos de la tercera parte de los números son primos. El problema con este método para acotar el número de primos es que la longitud de las cuentas aumenta exponencialmente, y con ello el error acumulado. Por ejemplo, para cuatro procesos de tachado (los correspondientes a 2, 3, 5 y 7) la proporción de números remanentes vendría dada por:

$$1 - 1/2 - 1/3 - 1/5 - 1/7 + 1/6 + 1/10 + 1/14 + 1/15 + 1/21 + 1/35 - 1/30 - 1/42 - 1/70 - 1/105 + 1/210,$$

y para diez procesos tendría más de mil términos. Sin embargo, en 1915 Viggo Brun ideó un método para conseguir cotas superiores con muchos menos términos. Evidentemente no es muy provechoso contar primos de esta forma cuando ya tenemos un resultado tan fuerte como el teorema de los números primos. Lo que hizo Brun fue aplicar su proceso de criba, en vez de a todos los números, sólo a aquellos

<sup>18</sup> [Di-He].

<sup>19</sup> [Ro], capítulo 8.



de la forma  $n(n-2)$ . Si  $3 < n \leq N$  y  $n(n-2)$  ha resistido todas las tachaduras que comienzan en un primo menor que  $\sqrt{N}$ , entonces  $n$  y  $n-2$  son primos. Así obtuvo una manera de contar primos gemelos<sup>20</sup>. La cuenta no es muy precisa debido a los errores acumulados, pero fue suficiente para que Brun pudiera probar que la suma de los inversos de los primos gemelos es constante (aproximadamente 1,9021). Esto no quiere decir que necesariamente haya un número finito de ellos (un vaso de agua es igual a medio vaso de agua, más la mitad del medio vaso restante, más la mitad de lo que sobra,...).

A pesar de la naturaleza eminentemente elemental y combinatoria de la criba, su reverdecimiento desde Brun hasta nuestros días ha dado lugar a un complejísimo edificio técnico cuyos rincones más secretos están reservados a los expertos<sup>21</sup>. Los avances en varios problemas son espectaculares. Así, en relación con la conjetura de Goldbach se conoce desde 1973 que todo número par suficientemente grande es suma de un primo y de un número que o es primo o tiene dos factores primos (teorema de Chen). Por otra parte, todavía se desconoce si existe siempre un primo entre dos cuadrados consecutivos, pero sí que se sabe de su existencia entre  $n^2$  y  $(n+1)^c$  con  $c$  ligeramente superior a 2 y  $n$  grande.

<sup>20</sup> Primos gemelos son aquellos que distan dos unidades, por ejemplo el 29 y el 31. Se desconoce si hay infinitos.

<sup>21</sup> Los rudimentos de los métodos de criba están descritos en el capítulo 10 de [Ci-Co].

### La marca del zorro

A veces los espectadores de las matemáticas juzgan que constituyen una ciencia estática en la que no es posible la creación, otras veces le conceden el papel de ciencia aburrida de crecimiento uniforme, muy lejos de las grandes revoluciones en la biología o en la física, a las que nos tienen acostumbrados los suplementos científicos de los diarios. Hay multitud de ejemplos que permiten descubrir la excesiva simplicidad de estos argumentos, pero bastan tres palabras: Hipótesis de Riemann. Este problema constituye un agujero en la teoría de los números primos, que si se resolviera tendría innumerables consecuencias. Los denodados esfuerzos de muchos matemáticos de primera línea no han sido suficientes para tapan este agujero, pero sus desvelos se han traducido en algunos profundos resultados de los que podemos disfrutar toda la comunidad.

En relación con el teorema de los números primos, se ha conseguido reducir un poco (muy poco) el orden del término de error, gracias a que el desarrollo de un poderoso método para estudiar la cancelación de sumas trigonométricas (sumas de senos y cosenos) ha permitido ampliar ligeramente la región en la que sabemos que  $\zeta$  no posee ceros. El resultado fue obtenido en 1958 independientemente por I.M. Vinogradov y N.M. Korobov<sup>22</sup>, y desde entonces no se ha mejorado. Por otra parte A. Selberg demostró en

<sup>22</sup> [Iv].

1942 que una proporción positiva de los ceros están donde deben estar según la hipótesis de Riemann, es decir, en la línea  $1/2 + it$ . En 1989, J.B. Conrey probó que de hecho más del 40%. Por otra parte varios autores han probado diversos resultados que de una forma u otra reflejan que si la hipótesis de Riemann fuera falsa, no lo sería por tanto. En este sentido se conocen resultados para las funciones  $\zeta$  correspondientes a primos en progresiones aritméticas que han permitido probar el teorema de Vinogradov: “Existe una constante  $C$  tal que todo número impar mayor que  $C$  se puede escribir como suma de tres primos”.

Por si estos incentivos fueran pocos, el Instituto Clay de Matemáticas ofrece un millón de dólares por cada uno de los *problemas del milenio*, entre los que se encuentra, cómo no, la hipótesis de Riemann. (Seguramente el estudiante al que Euclides dio una moneda cuando preguntó qué beneficio obtenía estudiando todo aquello, pensará desde el otro mundo que Euclides era un tacaño). Otro de los problemas del milenio está relacionado con otra función  $\zeta$ , la de las curvas elípticas (ecuaciones cúbicas en dos variables). El famoso trabajo de A. Wiles del que se deduce el último teorema de Fermat ha permitido dar un paso de gigante en nuestro conocimiento sobre la función  $\zeta$  asociada a curvas elípticas pero todavía algunas de sus propiedades constituyen un misterio. La teoría de números moderna está repleta de unas funciones llamadas modulares, que tienen unas simetrías muy notables y están muy relacionadas con las curvas elípticas. A cada una de ellas también se le puede asociar cierto tipo de funciones  $\zeta$  (habitualmente llamadas funciones  $L$ ).

Por mencionar otro tema candente, desde hace tiempo se conoce que los ceros de la función  $\zeta$  guardan ciertas analogías con la distribución de cantidades asociadas a matrices aleatorias. Esta relación entre la función  $\zeta$  y el caos ha atraído a físicos y matemáticos.

En resumen, el siglo XX (y las migajas transcurridas del siglo XXI) ha sido de bonanza para el universo  $\zeta$ . A pesar de que la hipótesis de Riemann está todavía sin demostrar, una colección de importantes resultados matemáticos y un millón de dólares, han hecho que profesionales, aficionados y espectadores no la pierdan de vista.

Y todo comenzó con 2, 3, 5, 7, 11, ...

## Referencias

- [Bo] Boyer, C.B. Historia de la matemática. Alianza Editorial, Madrid 1999.
- [Ci-Co] Cilleruelo, F.J., Córdoba, A. La teoría de los números. Mondadori, Madrid 1992.
- [Di] Dickson, L.E. History of the theory of numbers. Vol. I: Divisibility and primality. Chelsea Publishing Co., New York 1966.
- [Di-He] Diffie, W; and Hellman, M.E. New directions in cryptography. *IEEE Transactions on Information Theory*, IT-22: 644-654, 1976.
- [Du] Dunham, W. Euler. El maestro de todos los matemáticos. Nivola, Madrid 2000.
- [Eu] Euclid, The Thirteen books of The Elements. Dover Publications, Inc., New York, 1956.
- [Iv] Ivić, A. The Riemann zeta-function. Theory and applications. Dover Publications, Inc., Mineola, NY, 2003.
- [Po] Pomerance, C. Investigación y Ciencia 77. Febrero 1983.
- [Ra-To] Rademacher, H. Toeplitz, O. Números y Figuras. Alianza Editorial, Madrid 1970.
- [Ro] Rosen, K.H. Elementary Number Theory and its Applications. Addison-Wesley, Reading 1984
- [Si] Singh, S. El enigma de Fermat. Planeta, Barcelona 1998
- [St1] Stewart, I. Juegos Matemáticos: Cribas en la tierra de los factores. Investigación y Ciencia 251. Agosto 1997.
- [St2] Stewart, I. De aquí al infinito. Crítica, Barcelona 1998.
- [Tor] Torrecillas, B. Fermat. El Mago de los Números. Nivola, Madrid 1999.
- [Uc] U. Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Matemáticas, Seminario de Historia de la Matemática. Universidad Complutense, Madrid 1991.
- [Ve] Vera, F. Científicos griegos. Aguilar, Madrid 1970.
- [We] Weil, A. Number theory. An approach through history. From Hammurapi to Legendre. Birkhäuser Boston, Inc., Boston, 1984.

## Páginas web

- The prime pages:  
<http://www.utm.edu/research/primes/>
- La memoria de Riemann (traducción inglesa).  
<http://www.maths.tcd.ie/pub/HistMath/People/Riemann/Zeta/>

- WWW Interactive Multipurpose Server.  
<http://wims.unice.fr/wims/wims.cgi>
- A Primality Test.  
<http://primes.utm.edu/curios/includes/file.php?file=primetest.html>
- RSA Laboratories.  
<http://www.rsasecurity.com/rsalabs/node.asp?id=2152>
- Glen Pugh's Web Page.  
<http://www.math.ubc.ca/%7Epugh/>
- The Millennium Problems.  
[http://www.claymath.org/millennium/Riemann\\_Hypothesis/](http://www.claymath.org/millennium/Riemann_Hypothesis/)

## Análisis de la productividad científica de las universidades españolas<sup>†</sup>

Gualberto Buela-Casal

*Facultad de Psicología, Universidad de Granada, 18071 Granada, España*

*Corr-ele: gbuela@ugr.es*

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

© 2005 AACTE

En este trabajo se analiza la productividad científica de las universidades españolas. Los objetivos son: a) conocer la situación de las universidades españolas en el Ranking Académico de las Universidades del Mundo; b) estudiar la relación entre criterios internacionales de productividad científica utilizados en ese ranking y algunos criterios nacionales, tales como los tramos de investigación, los programas de doctorado con mención de calidad y la productividad en tesis doctorales; c) analizar la relación entre la proporción de Profesores Titulares de Universidad (PTU) y Catedráticos de Universidad (CU) y el porcentaje de tramos de investigación. Para ello se realiza un estudio descriptivo mediante análisis de documentos, y como unidades de análisis se utilizan los datos aportados por el Ranking Académico de las Universidades del Mundo, los datos de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación sobre los doctorados con mención de calidad y los ofrecidos por el Consejo de Coordinación Universitaria. Los resultados ponen de manifiesto que España es el duodécimo país con más universidades en el Ranking Mundial, que los criterios internacionales de productividad científica se relacionan con los criterios nacionales estudiados, y que hay una clara relación entre la proporción de PTU/CU y la productividad científica, en el sentido que aquellas universidades que tienen una alta proporción de CU tienen una menor productividad en tramos de investigación, y viceversa.

### Introducción

En el presente artículo se analiza la situación actual de las universidades españolas con respecto al Ranking Académico de las Universidades del Mundo, la relación entre criterios internacionales de clasificación de universidades y criterios nacionales. Las razón por la que se utiliza un ranking internacional y no uno de los realizados en España es por dos motivos. En primer lugar, porque los ranking nacionales no se centran de forma específica en la investigación, sino que tienen en cuenta aspectos tales como número de libros que hay en las bibliote-

cas, instalaciones, porcentaje de profesores con respecto al personal de administración de servicios, las calificaciones de los estudiantes, etc.; lo cual sin duda es importante, pero no se relaciona directamente con la investigación y la producción científica, que es el objeto de este artículo. En segundo lugar, en un mundo cada vez más globalizado resulta necesario tener un referente mundial para saber el lugar que ocupan las universidades españolas con respecto a los demás países en cuanto a la producción científica. Por ello, se utiliza el Ranking elaborado por el *Institute of Higher Education*, de la *Shanghai Jiao Tong University*

---

<sup>†</sup> Resumen del artículo "Situación actual de la productividad científica de las universidades españolas", publicado en *International Journal of Clinical and Health Psychology*, **5**, 175-190. Se puede descargar el artículo completo en <http://www.aepc.es/ijchp>

CRITERIO	INDICADOR	CÓDIGO	PESO
<i>Calidad de la educación</i>	Alumnos de una institución que ganaron premio Nóbel y medalla académica	Alumnos	10%
<i>Calidad de la Facultad</i>	Miembros de una institución que ganaron premio Nóbel y medalla académica	Distinciones	20%
	Investigadores más citados en 21 categorías	I + C	20%
<i>Producción de investigación</i>	Artículos publicados en <i>Nature</i> y <i>Science</i>	N y S	20%
	Artículos en <i>Science Citation Index</i>	SCI	20%
<i>Tamaño de la Institución</i>	Rendimiento académico con respecto al tamaño de la institución	Tamaño	10%

**Tabla 1:** Criterios del Ranking Académico de Universidades del Mundo (Fuente: *Institute of Higher Education, Shanghai Jiao Tong University*, 2004).

(2004), pues todos los criterios que utiliza para hacer el ranking de universidades se centran en la producción científica. Así, se analiza la situación de las universidades españolas en ese ranking y cómo los criterios internacionales utilizados se relacionan con criterios nacionales de productividad científica.

Por otra parte, se analiza la relación entre la proporción de Profesores Titulares de Universidad (PTU) y Catedráticos de Universidad (CU) y la productividad en tramos de investigación (también conocidos como *sexenios*). Por distintas razones, que no son objeto de análisis en este artículo, la promoción de Profesores Titulares de Universidad a Catedráticos de Universidad ha sido muy desigual entre las universidades españolas, y ello hasta tal punto que, en la actualidad, tenemos universidades como, por ejemplo, la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, donde hay más CU que PTU (una proporción de 0,86 PTU por CU) y, en el otro extremo, las universidades de Almería, Vigo y Zaragoza, en las que hay más de cinco PTU por cada CU.

### Diseño y procedimiento

Se trata de un estudio descriptivo de análisis de documentos, siguiendo la clasificación propuesta por Montero y León (2005), y, en la medida de lo posible, se han utilizado las normas de redacción propuestas por Ramos-Álvarez y Catena (2004). Para su elaboración se han seguido distintas fases:

- Análisis de las puntuaciones totales de las universidades españolas en el Ranking Académico de las Universidades del Mundo, partiendo de los datos aportados por el *Institute of Higher Education, Shanghai Jiao Tong University*
- Análisis de la relación entre criterios internacionales de clasificación de universidades en función de su productividad científica y criterios nacionales de productividad. Para ello se comparan las universidades españolas incluidas en el Ranking Académico de las Universidades del Mundo con la productividad de éstas en tramos de investigación, doctorados con Mención de Calidad y la productividad en tesis doctorales.
- Clasificación de las universidades públicas españolas en función de la proporción entre Profesores Titulares de Universidad y Catedráticos de Universidad, y análisis del efecto de esta proporción en la productividad de tramos de investigación de éstas. Para igualar en la medida de lo posible las distintas universidades no se incluyeron en el estudio los Catedráticos de Escuela Universitaria y los Profesores Titulares de Escuela Universitaria, dado que este tipo de profesorado es más frecuente en las universidades politécnicas y en las que imparten un mayor número de diplomaturas. Las 48 universidades públicas españolas fueron clasificadas en tres grupos, en función de la proporción de Profesores Titulares de Universidad por Catedrático de Universidad.

	Universidad	Total	Alumnos	Distinciones	I +C	N y S	SCI	RP
1	Autónoma de Madrid	16,99	19,9	0	12,4	14	37	16,3
2	Barcelona	16,17	0	0	8,7	13,7	47,4	15,5
3	Complutense	12,41	0	0	0	12,7	40,9	11,9
4	Valencia	10,86	0	0	0	9,5	37,4	10,4
5	Autónoma de Barcelona	9,61	0	0	0	5,9	35,6	9,2
6	Granada	9,29	0	0	0	6,7	33,4	8,9
7	Zaragoza	8,99	0	0	8,7	2,5	27,6	8,7
8	Santiago de Compostela	8,92	0	0	0	5,1	33,4	8,6
9	Sevilla	8,81	0	0	0	7,4	30,6	8,5

**Tabla 2:** Universidades españolas en el Ranking Académico de la Universidades del Mundo del año 2004 (Fuente *Institute of Higher Education, Shanghai Jiao Tong University*, 2004 y Buela-Casal, 2004).

## Resultados

### *Las universidades españolas en el Ranking Académico de las Universidades del Mundo*

Es importante resaltar que este ranking es el resultado de un detallado estudio de más de dos mil universidades del mundo; finalmente se presenta una clasificación con las quinientas mejores universidades, obviamente, en función de los criterios utilizados, que como ya se ha dicho anteriormente, se basan casi de forma exclusiva en la producción científica. Estos criterios se recogen en la Tabla 1 y, como se puede ver, todos son relativos a los resultados de la investigación, excepto el último que pondera el tamaño de las universidades en función de los profesores o investigadores que tienen a tiempo completo.

Si se analiza el ranking mundial por países y por continentes, Estados Unidos ocupa el primer puesto con un total de 170 universidades entre las mejores del mundo. Sin embargo, si se considera la Unión Europea en su conjunto, ésta ocupa el primer puesto con 195 universidades. No obstante, hay que tener presente que Estados Unidos tiene 17 entre las 20 primeras, es decir, que sin duda hay un predominio entre las de mayor excelencia. En total las universidades incluidas en el ranking pertenecen a 35 países, lo que es un claro indicador de la desigualdad mundial con relación a la calidad de las universidades. Un análisis más detallado por países pertenecientes a la Unión Europea pone de manifiesto que España queda situada en el puesto 7 entre los países de la Unión y en el puesto 12 con respecto al Mundo, con un total de 9 universidades incluidas en el ranking. Es importante señalar que, compa-

rativamente, los países europeos tienen un mayor peso en cuanto al número de universidades de calidad con respecto a los países americanos, pues el número total de universidades del continente europeo es de 209, frente a 200 pertenecientes a todo el continente americano (incluyendo América del Norte, Centroamérica, Caribe y América del Sur). Asia y Oceanía tienen 89, mientras que África tan sólo cuenta con 4 universidades en este ranking, las cuales pertenecen todas a Sudáfrica.

El sistema para elaborar el Ranking Académico de la Universidades del Mundo se basa en utilizar como nivel de referencia a la universidad que mayor puntuación global obtiene, y ésta es la Universidad de Harvard, a quién se le asigna el valor 100. Así, esta universidad sirve de criterio para medir a las demás. La Universidad de Harvard no sólo obtiene la mayor puntuación global, sino que además queda situada en primer lugar en cuatro de los seis criterios. Cabe resaltar que en el criterio que menos puntúan once de las universidades es en el rendimiento de los profesores, pues, con la excepción del Instituto Tecnológico de California, que obtiene la máxima puntuación (100), las restantes están muy por debajo.

En cuanto a las universidades españolas incluidas en el Ranking Académico de las Universidades del Mundo, en la Tabla 2 se puede observar que las puntuaciones totales oscilan entre 8,81 (Universidad de Sevilla) y 17 (Universidad Autónoma de Madrid), las cuales están muy distantes de los 100 puntos que representa la Universidad de Harvard. Sin embargo, el criterio en el que menos diferencias se en-

Universidad	Promedio	Nóbel	HICI	N y S	SCI	RP	% Tramos investigac.	% Doct. calidad/ profesor	Tesis (93-02)/ profesor
Barcelona	19,3	0	10,3	13,3	48,7	18,1	59,45	1,16	1,42
Autón. Madrid	16,3	0	10,3	12,9	37,7	15,2	71,41	1,43	2,75
Complutense	14,5	0	0	13,0	41,2	13,5	58,77	0,99	2,04
Valencia	12,4	0	0	9,3	37,0	11,6	59,14	0,67	1,36
Granada	9,7	0	0	5,5	31,0	9,1	60,17	0,98	1,55
Autón. Barcelona	9,4	0	0	0	35,3	8,8	65,12	1,90	1,75
Sevilla	9,3	0	0	5,0	29,9	8,7	48,48	0,59	0,79
Málaga	9,1	0	0	11,3	21,0	8,1	45,12	0,40	1,04
Politécn. Valencia	8,8	0	0	10,1	22,8	8,2	26,27	0,59	0,70
Zaragoza	8,6	0	0	3,2	28,9	8,0	53,73	0,76	0,90
Oviedo	8,5	0	0	4,5	27,4	8,0	53,38	0,50	1,15
Valladolid	8,5	0	10,3	0	21,6	8,0	41,63	0,64	0,76
Salamanca	8,4	0	0	8,3	23,3	7,9	52,87	0,60	1,15

**Tabla 3:** Relación entre criterios internacionales y nacionales de productividad científica en universidades españolas (Fuente: *Institute of Higher Education, Shanghai Jiao Tong University*, 2004 y Buela-Casal, 2004).

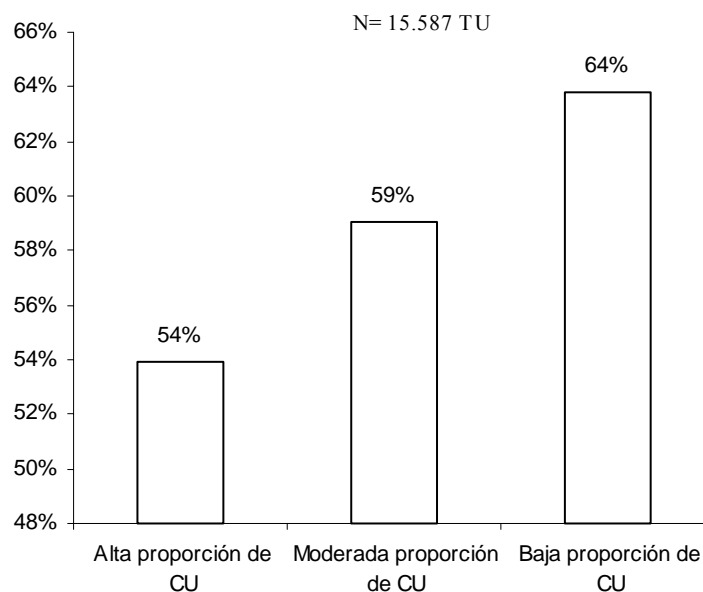
cuentran entre las universidades españolas y las doce mejores del mundo es en la publicación de artículos en revistas incluidas en las bases de datos del *Institute for Scientific Information (ISI)*; tanto es así, que incluso la puntuación en el criterio “artículos ISI” la Universidad de Barcelona tiene una puntuación mayor que la Universidad de Princeton. Pero, en cualquier caso, lo más llamativo de las universidades españolas es la baja puntuación que obtienen en el criterio de rendimiento del profesorado.

*Relación entre criterios internacionales y criterios nacionales en la productividad científica de las universidades españolas*

Tal como ya se ha descrito en el procedimiento, para ver si hay una relación entre los criterios internacionales utilizados en el Ranking Académico de las Universidades del Mundo (que se resumen en la Tabla 1) y los criterios nacionales, se realizaron tres comparaciones con las universidades españolas incluidas en el ranking del año 2003. En la Tabla 3 se recogen todos los criterios, y como se puede comprobar en la columna en la que se incluye el porcentaje de tramos de investigación que tienen los profesores de cada universidad, las seis primeras universidades tienen un porcentaje de sexenios superior al 55% (rango entre 71,41% y 58,77%), mientras que las siete universidades que ocupan la parte inferior del ranking tienen porcentajes inferiores al 54% (rango entre 53,73 y 26,27%).

En la misma Tabla se puede observar que hay una clara relación entre el porcentaje de doctorados con Mención de Calidad por cada profesor funcionario y los criterios internacionales del ranking de las mejores universidades del mundo. Las seis universidades que aparecen en primer lugar tienen un porcentaje entre 0,98 y 1,4%, con la excepción de la Universidad de Valencia que tiene un porcentaje de 0,67%; mientras que en las restantes universidades el porcentaje oscila entre 0,40 y 0,76%. La relación entre los criterios internacionales y los nacionales es clara en este criterio, de hecho, sólo una universidad de la segunda mitad de la tabla tiene un porcentaje superior (Universidad de Zaragoza con un 0,76%) a una de la mitad superior (Universidad de Valencia con un 0,67%).

En relación a la productividad de las tesis doctorales, también se observa una clara relación con los criterios internacionales, pues, una vez más, si comparamos las universidades que ocupan la mitad superior en la Tabla 3, con las que están en la mitad inferior, se puede comprobar que las primeras oscilan entre un rango de 2,75 a 1,36, lo cual supone una media de casi dos tesis por profesor en una década, mientras que las que están en la parte inferior de la Tabla oscilan en un rango entre 1,15 y 0,70, que se corresponde con una media de una tesis por profesor. Por tanto, hay una diferencia en productividad en tesis doctorales, lo cual se

**FIGURA 1.** Porcentaje de Profesores Titulares de Universidad con un tramo de investigación

relaciona de manera muy clara con la clasificación de las universidades españolas en el ranking de las universidades del mundo.

*Resultados de la productividad en tramos de investigación de las universidades españolas en función de la proporción entre profesores titulares de universidad y catedráticos de universidad*

Si se clasifican las universidades españolas en función de la proporción de CU y PTU se puede observar que hay tres grupos de universidades claramente distintos: universidades con alta proporción de CU por PTU (menos de 2,5 PTU por CU), universidades con una proporción intermedia (entre 2,5 y 4 PTU por CU) y universidades con baja proporción (más de 4 PTU por CU). En total se analiza la productividad en tramos de investigación de 8.234 Catedráticos de Universidad y de 26.115 Profesores Titulares de Universidad y, tal como se puede observar en las Figuras 1 y 2, en las universidades en las que hay una alta proporción de Catedráticos de Universidad, tanto éstos como los titulares de universidad tienen una menor productividad en tramos de investigación.

## Discusión

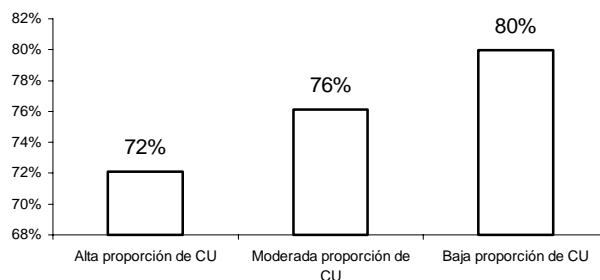
El análisis de la productividad científica de las universidades españolas pone de manifiesto que la situación no es homogénea entre las distintas universidades; de hecho tan sólo un gru-

po reducido de éstas (en concreto trece en el 2003 y diez en el 2004) aparecen incluidas en el Ranking Académico de Universidades del Mundo. Una primera reflexión sobre esta clasificación puede hacer pensar en los criterios utilizados para evaluar la productividad en investigación de las universidades españolas, pues el número de premios Nóbel, artículos publicados en *Science* y *Nature* tener investigadores entre los más citados en el ISI, etc., no parecen criterios creados desde la perspectiva de la cultura universitaria en España. Sin embargo, tal como se ha comprobado, existe una clara relación entre esos criterios y los criterios nacionales, tal es el caso del porcentaje de tramos de investigación, del porcentaje de doctorados de calidad por profesor y la productividad en tesis doctorales. Por tanto, sería deseable que se generalizaran a las distintas disciplinas los estudios realizados sobre la productividad por universidad de las tesis doctorales en Psicología (Agudelo *et al.*, 2003a Agudelo, Bretón-López, Poveda-Vera, Teva, Valor-Segura y Vico, 2003b) sobre el análisis de revistas científicas españolas siguiendo los criterios del ISI (Buela-Casal, Medina, Viedma, Godoy, Lozano y Torres, 2004) o sobre la evaluación de los proyectos de investigación (Gordillo, González-Marqués y Muñiz, 2004).

Por otra parte, la relación entre los criterios internacionales y la productividad en tramos de investigación podría entenderse como espera-



**FIGURA 2.** Porcentaje de Catedráticos de Universidad con dos tramos de investigación.  
N= 6.254 CU



ble hasta cierto punto, pues, en menor o mayor medida, los distintos criterios internacionales utilizados en el Ranking Académico de Universidades del Mundo se relacionan con el factor de impacto de las revistas científicas. Sin embargo, a priori era menos previsible la relación entre los criterios internacionales y otros criterios nacionales como es el porcentaje de doctorados con mención de calidad por profesor o la productividad en tesis doctorales por profesor, pues no hay una relación clara con el factor de impacto. Sin duda, esto es una muestra más de lo complejo que resulta interpretar las repercusiones del uso del factor de impacto (Buela-Casal, 2001, 2002, 2003; Garfield, 2001, 2003; Gil Roales-Nieto y Luciano, 2002; Pelechano, 2002) y su relación con los tramos de investigación (Echeburúa, 2002). En cualquier caso, es importante resaltar que, aunque el factor de impacto se calcule a partir de una base de datos de revistas editadas fundamentalmente en inglés, resulta sorprendente que en una clasificación de universidades que utiliza criterios muy relacionados con el factor de impacto, hay más universidades de la Unión Europea que de Estados Unidos. Más llamativo es aún el caso de España, que ocupa el puesto duodécimo del ranking de países con mayor número de universidades incluidas en el Ranking Académico de Universidades del Mundo, dado que es un país relativamente pequeño en comparación con los que le preceden y que no es un país anglófono. Este resultado es aun más sorprendente si se considera que en España la inversión en I + D con respecto al PIB es la mitad de la media de la Unión Europea y aproximadamente un tercio de lo que se invierte en Estados Unidos.

Para una correcta interpretación de los resultados de este estudio hay que tener presente un sesgo importante que tiene el Ranking

Académico de las Universidades del Mundo, y es el hecho de que, en función de los criterios utilizados, están en clara desventaja aquellas universidades que tienen una importante carga docente e investigadora en el ámbito de las ciencias sociales y las humanidades. Otro sesgo, y no menos importante que el anterior, es que se perjudican las universidades de países no anglófonos, pues el criterio de productividad global está muy determinado por producción científica en lengua inglesa.

Un resultado que puede resultar polémico es el que se obtiene cuando se clasifican las universidades en función de la proporción entre PTU y CU. Tal como se ha puesto de manifiesto, se pueden hacer tres grupos claramente diferenciados: alta proporción, media proporción y baja proporción de PTU por CU; y cuando estos tres grupos de universidades se comparan con relación a los tramos de investigación (ponderados por el número de profesores funcionarios), los resultados son reveladores de que existe una relación entre la proporción de PTU por CU y la productividad en tramos de investigación. Esta relación se produce tanto en los PTU como en los CU. En principio se podría pensar que aquellas universidades que tienen una mayor proporción de CU con respecto a PTU deberían tener una mayor productividad en tramos de investigación, sin embargo, ocurre lo contrario.

En resumen, se puede concluir que aquellas universidades que facilitan el acceso a cátedra de universidad de sus titulares se caracterizan por una menor productividad en tramos de investigación, tanto en el nivel de titulares como de catedráticos de universidad, lo cual puede parecer sorprendente, pero es una cuestión de sentido común, cuanto más fácil es la carrera académica menos esfuerzo supone y por tanto menos productividad. En cualquier caso, llama

la atención el hecho de que hay cerca de dos mil CU que no tienen al menos dos tramos de investigación y más de diez mil PTU que no han conseguido ni un sólo tramo de investigación, según lo cual habría que preguntarse sobre la calidad del sistema de selección del profesorado que se ha utilizado en las últimas décadas. En cierto modo podría interpretarse como un problema en la selección de los profesores, dado que hay un número importante que no rinden a un nivel medio en la investigación.

Es importante señalar que, aunque se trata de un estudio retrospectivo en el que no se manipula experimentalmente la supuesta variable causal (proporción de CU por PTU), hay que tener presente que se trata de una investigación en la que se analiza la totalidad de CU y PTU (34.349) de las universidades públicas españolas y que se utiliza un criterio mínimo de productividad (un sexenio para los PTU y dos para los CU). Sin duda habrá diferencias en función de las áreas de conocimiento, dado que la distribución de éstas no es homogénea en las distintas universidades, pero los resultados globales de este estudio son muy reveladores de la relación entre nivel de exigencia y nivel de productividad en la investigación. Los resultados deberían ser objeto de reflexión de los rectores y de los gestores de política científica a la hora de diseñar sistemas de selección y promoción de profesores universitarios, pues en cierto modo, los resultados de este estudio permiten hipotetizar las consecuencias que tendría una habilitación de CU y PTU sin límites de plazas y de un menor nivel de exigencia en su selección. Y esto es de crucial importancia en el momento actual en España, dado que se está debatiendo sobre la reforma del Sistema de Habilitación Nacional para el Acceso a Cuerpos de Funcionarios Docentes Universitarios.

## Referencias

- Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (2004). *Programas de doctorado con Mención de Calidad del año 2004*. Recuperado el 30 de junio de 2004 de <http://www.aneca.es>.
- Agudelo, D., Bretón-López, J., Ortiz-Recio, G., Poveda-Vera, J., Teva, I., Valor-Segura, I. y Vico, C. (2003a). Análisis de la productividad científica de la Psicología española a través de las tesis doctorales. *Psicothema*, 15, 595-609.
- Agudelo, D., Bretón-López, J., Poveda-Vera, J., Teva, I., Valor-Segura, I. y Vico, C. (2003b). ¿Cómo tener éxito en un doctorado en Psicología? Opinión de los directores de tesis doctorales más productivos de España. *Revista Internacional de Psicología Clínica y de la Salud/International Journal of Clinical and Health Psychology*, 3, 565-593.
- Buela-Casal, G. (2001). La psicología española y su proyección internacional. El problema del criterio: internacional, calidad y castellano y/o inglés. *Papeles del Psicólogo*, 79, 53-57.
- Buela-Casal, G. (2002). La evaluación de la investigación científica: el criterio de la opinión de la mayoría, el factor de impacto, el factor de prestigio y "Los Diez Mandamientos" para incrementar las citas. *Análisis y Modificación de Conducta*, 28, 455-475.
- Buela-Casal, G. (2003). Evaluación de la calidad de los artículos y de las revistas científicas: propuesta del factor de impacto ponderado y de un índice de calidad. *Psicothema*, 15, 23-35.
- Buela-Casal, G. (2004, septiembre). *El Sistema de Habilitación Nacional: procesos y criterios de evaluación*. Conferencia presentada en el Curso sobre Evaluación y Acreditación de la Calidad de la Educación Superior. ANECA-UGR. Almuñécar.
- Buela-Casal, G., Medina, A., Viedma, M.I., Godoy, V., Lozano, S. y Torres, G. (2004). Factor de impacto de tres revistas españolas de Psicología. *Psicothema*, 16, 681-689.
- Consejo de Coordinación Universitaria (2004). *Informe del profesorado funcionario de las Universidades públicas españolas y la actividad investigadora evaluada*. Recuperado el 30 de junio de 2004 de <http://www.mec.es/consejou>.
- Echeburúa, E. (2002). El sistema de sexenios en la evaluación de la actividad investigadora en el ámbito de la psicología clínica: una primera reflexión. *Análisis y Modificación de Conducta*, 28, 391-404.
- Garfield, E. (2001). Impact factors, and why they won't go away. *Nature*, 411.
- Garfield, E. (2003). The meaning of the impact factor. *Revista Internacional de Psicología Clínica y de la Salud/International Journal of Clinical and Health Psychology*, 3, 363-369.
- Gil Roales-Nieto, J. y Luciano, M. C. (2002). A la calidad por *the quantity* (porque la cantidad no vale). Algunas reflexiones sobre los criterios de evaluación de la evaluación de la calidad de la investigación psicológica. *Análisis y Modificación de Conducta*, 28, 431-454.
- Gordillo, V., Gonzáles-Marqués, J. y Muñiz, J. (2004). La evaluación de proyectos de investigación por la ANEP. *Psicothema*, 16, 343-349.

- 
- Institute of Higher Education, Shanghai Jiao Tong University (2004). *Academic Ranking of World Universities*. Recuperado el 30 de junio de 2004 de <http://ed.sjtu.edu.cn>.
  - Ministerio de Educación y Cultura (2004). *Tesis Españolas Ordenadas (TESEO)*. Recuperado el 30 de junio de 2004 de <http://www.mcu.es/TESEO/teseo.html>.
  - Montero, I. y León, O.G. (2005). Sistema de clasificación del método en los informes de investigación en Psicología. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 5, 115-127.
  - Pelechano, V. (2002). Valoración de la actividad científica en psicología ¿Pseudoproblema, sociologismo o idealismo? *Análisis y Modificación de Conducta*, 28, 323-362.
  - Ramos-Álvarez, M.M. y Catena, A. (2004). Normas para la elaboración y revisión de artículos originales experimentales en ciencias del comportamiento. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 4, 173-189.
-

## EL RINCÓN PRECARIO

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

### **Programa Ramón y Cajal: el inicio de la cuenta atrás.**

[R.G.] Andan revueltas las aguas en el seno del colectivo de Investigadores contratados en el Programa Ramón y Cajal. El final se avecina para los contratados de la primera hornada, y eso enciende pasiones y desata los nervios de los afectados que, próximos o superada la cuarentena, tras una dilatada experiencia investigadora, ven como, tras la llegada a la cumbre, tal vez sólo les espera el precipicio. De los aproximadamente 2300 Investigadores RyC, alrededor de 130 son socios de la ANIRC, fundada en mayo de 2003 como punto de encuentro e intercambio de información al colectivo de contratados al amparo de dicho Programa. Pero en la lista de debate RAMONYCAJAL de REDIRIS, donde se discuten los temas que afectan al colectivo, hay unos 600 inscritos. Siguen siendo una minoría y, en general, una minoría cabreada, sobre todo con el Ministerio de Educación y Ciencia.

La última propuesta ministerial (que falta ver por escrito de forma oficial. Yo, como Santo Tomás, con los años me he convertido en una incrédula) es un “Plan de Incentivación para la Contratación Indefinida”, con unas 300 plazas anuales, con las que se pretende motivar a las correspondientes Administraciones Autonómicas y OPIs a la contratación indefinida de investigadores de reconocido prestigio, poniendo ellos (el MEC) el “dinerito” para los primeros años. Pero, claro, eso deja al libre albedrío de la parte contratante la voluntariedad para la contratación. ¿Y si una Comunidad Autónoma decide que no tiene dinero ni voluntad para hacerlo, a pesar de contar con cientos de investigadores acogidos al Programa RyC? Por otra parte, puede haber otros investigadores prestigiosos rondando por los Centros de Investigación que, sin lugar a dudas, deben tener el derecho a optar a estos puestos indefinidos, o Investigadores RyC recientes con currículos abultados que decidan optar a estos contratos indefinidos sin esperar las sucesivas evaluaciones... Ello podría conllevar que un número no despreciable de Investigadores RyC lleguen a su cuarto año de contrato, superen con creces la evaluación correspondiente y se vean en el quinto año con una palmadita en la espalda (“Nena, tu vales mucho”) y “adiós, muy buenas”. No era eso lo que se había prometido, y tienen derecho a sentirse estafados. Aunque el Plan de Incentivación contemplara la posibilidad de penalizar a aquellas CCAA y Centros de Investigación que decidan finalmente no invertir de forma indefinida en sus investigadores RyC, impidiendo que puedan obtener nuevos contratados dentro del Programa, eso tampoco resolvería el problema de los que puedan acabar en la calle a pesar de haber cumplido los objetivos. Otro problema adicional lo supone el hecho de que en la actualidad no existen modalidades de contratos indefinidos que puedan ajustarse al perfil de un Investigador RyC.

En las Universidades (donde la LOU, a pesar de poner en primer lugar la Investigación entre las tareas de la Universidad, no incluye la figura del Investigador), se puede optar por la figura de Profesor Contratado Doctor, con una merma considerable de poder adquisitivo para un contratado RyC (como has sido bueno los últimos 5 años, te rebajo en un 20% tu salario) y una elevada carga docente (para la que, en principio, un investigador RyC no tiene porqué estar preparado). El problema salarial debería resolverse mediante conversaciones entre las Comunidades Autónomas y las Universidades, según el Secretario de Estado de Universidades e Investigación, Salvador Ordoñez. Pero además, para optar a dichas plazas hay que presentar un currículo docente e investigador y, en muchas universidades, un Programa Docente. Los contratados como asociados o ayudantes antes de la entrada en vigor de la LOU tienen ventaja en estos apartados. La segunda opción (que el Sr Ordoñez, “recomienda encarecidamente” que persigamos) es la habilitación nacional para optar a plazas de Profesor Titular de Universidad. Acabo de volver de una de esas habilitaciones y, aunque no conozco la situación en otras áreas diferentes de la mía, os puedo asegurar que la experiencia ha sido demoledora: entre 16 candidatos, la mayoría de los aspirantes éramos contratados RyC, algunos con currículos apabullantes tanto investigadores como docentes, más de los que el sistema va a admitir, puesto que sólo había tres habilitaciones en juego. ¿Y qué hace toda esta gente todavía rodando por el sistema, sin un puesto estable? Ya que muchos hacemos el esfuerzo de seguir las indicaciones de nuestro Secretario de Estado, dicho esfuerzo debería ir acompañado de un aumento en el número de habilitaciones ofertadas. La oferta actual no es realista, probablemente por el “miedo” de las Universidades a que se les “cuelen” candidatos externos... pero con 40 años y carreras docentes e investigadoras más que consolida-

das, más bien parecía que cada candidato estaba esperando a habilitarse para que “su” Universidad saque una plaza en cuanto el/ella obtenga la habilitación. Ello conllevará la aparición de otro número reducido de habilitaciones, a las que aspirarán los que no la hayan conseguido en la “primera ronda”, pero con unos objetivos similares: traer una plaza a “su” Universidad. El sistema es lento y perverso hasta el extremo. Una forma más de rizar el rizo.

El problema de la falta de figura de Investigador ataca también a los Investigadores en el Sistema Nacional de Salud. A pesar de vender como un gran éxito el avance de la Biomedicina en los últimos años, el problema sigue sin resolverse. El Sr. Ordóñez dice ser especialmente sensible a este problema, que estudiarán todos los casos particulares de forma individual para encontrar soluciones... Pero nadie sabe qué significa eso realmente. Y qué decir del CSIC, donde obviamente si hay Investigadores, pero los tipos de contratos siguen siendo un caballo de batalla, por el agravio comparativo que suponen con respecto de los Investigadores funcionarios. Andamos envueltos en un cambio a gran escala en la situación jurídica de este organismo. Esperemos que ello redunde en beneficio del CSIC y facilite la incorporación de forma adecuada de los contratados RyC acogidos en su seno.

En las últimas semanas y, sobre todo, tras la conversación mantenida el 2 de marzo en la Universidad Complutense de Madrid entre el Sr. Ordóñez y más de 100 investigadores RyC, los ánimos están más tranquilos. Pero nadie respirará suficientemente aliviado hasta que podamos ver las promesas por escrito y conocer el nivel de compromiso de los diferentes contratadores. Tensa espera antes de creer que realmente la Investigación es prioritaria en este país desde el cambio de gobierno, y no se trataba sólo de un camelo.

En estos momentos la ANIRC está inmersa en la preparación del II Encuentro Nacional de Investigadores Ramón y Cajal, que tendrá lugar en la Universidad Autónoma de Madrid durante los días 14 y 15 de abril. Podéis consultar el Programa de dicho encuentro al final de esta sección. Esperemos que al igual que el anterior Encuentro en Zaragoza, sea un éxito que os podré contar con pelos y señales en el próximo número de la revista.

### **Las nuevas convocatorias Juan de la Cierva y Ramón y Cajal, con sorpresas.**

Mientras tanto, los programas estrella para atraer científicos jóvenes siguen adelante. La nueva convocatoria ha aparecido publicada en el BOE del 8 de marzo. Primera sorpresa desagradable, aparece un nuevo requisito para solicitar un contrato RyC (además de que el título de doctor tenga menos de 10 años de antigüedad, a pesar de que el prometido programa para investigadores *senior* sigue sin aparecer): no tener un contrato en el Programa Juan de la Cierva. Y lo curioso es que sí se pueden pedir simultáneamente en esta convocatoria ambas modalidades de contrato, y si eres elegible en las dos, se concederá la ayuda a cargo del Programa Ramón y Cajal. Sinceramente, se me escapa el razonamiento por el cual alguien no puede aspirar a un contrato más suculento si cumple las condiciones exigidas. Es como si dijeran que quien tenga una beca no puede optar a una plaza de ayudante o quien tenga un trabajo no puede buscar otro. Aparte de que con un contrato JdC dependes del proyecto de un investigador principal, mientras que con un RyC el proyecto es tuyo... Conclusión: si has tenido la “suerte” de conseguir un contrato JdC, tu carrera científica debe frenarse aunque estés capacitado para “volar” de forma independiente (científicamente hablando). “Dicen” (conversación telefónica) en el Ministerio que es que quieren que los Investigadores JdC cubran al menos un año del contrato, y que ese será el requisito en próximas convocatorias. No sé, debo ser muy tonta, pero no entiendo la necesidad. Además, para pedir un JdC al Proyecto en el que pretendas adscribirte deben quedarle al menos 18 meses de vida. Esta limitación no estaba ni en los dolorosos Contratos de Reincorporación.

Andan las cosas como para poner más trabas burocráticas... Y eso que, según reza el BOE correspondiente, las modificaciones introducidas son *fruto de la experiencia adquirida en la convocatoria del 2004*. Pero siguen sin darse cuenta del agravio comparativo que supone que todos los centros del CSIC sean considerados como un mismo centro de I+D. Un investigador que haya realizado su tesis en un Centro del CSIC en las Islas Canarias no puede pedir un contrato JdC o RyC en otro Centro del CSIC en Barcelona, pero se puede pasar de la Universidad de Valencia a la Universidad Politécnica de Valencia sin problemas, sólo cruzando la calle. Debo ser muy obtusa, pero de nuevo se me escapa el razonamiento que justifica esta decisión, que se ha perpetuado en las diferentes convocatorias sin que la experiencia adquirida haya permitido evitar la situación.

## Noticias del mundo Precario.

En otro orden de cosas, la FJI-Precarios ha organizado los días 3 y 4 de marzo sus terceras Jornadas de Jóvenes Investigadores en Valencia, con la participación de numerosos investigadores, gestores de universidad, responsables de I+D de la administración y la empresa privada, representantes europeos de investigación y divulgadores. Se trataron temas como la Carrera Investigadora, la importancia de la Divulgación de la Investigación, la Investigación en Ciencias Sociales y Humanidades, la relación Investigación-Empresa y el Espacio Europeo de Investigación. No me extendo más sobre las Jornadas, porque podéis encontrar muchos más detalles en la web de precarios (<http://www.precarios.org/>). Sólo quería resaltar el éxito de las mismas: las mesas fueron muy constructivas y participativas (que era de lo que se trataba) y han tenido una gran repercusión mediática. Para los interesados, he incluido al final de este texto las páginas que contienen los comunicados de prensa sobre el inicio y la clausura de las jornadas.

Y mientras todo esto ocurría, una vez más, la lista de becas de investigación que esconden relaciones laborales encubiertas sigue aumentando. Veamos algunos ejemplos sangrantes:

La Junta de Andalucía oferta en el BOJA del 10 de enero becas para la formación de personal y la realización de estudios y trabajos de investigación en materias de competencia de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Dicha beca no está orientada a la obtención de ninguna titulación (lo que justificaría su carácter formativo), y se indica explícitamente que los trabajos e informes que se realicen serán propiedad de la citada Consejería. Las áreas receptoras son Informática, Contabilidad, Servicios Jurídicos y Biblioteca. ¿A que huele a trabajo encubierto y precario?

El Hospital Universitario La Paz convocaba una beca anual prorrogable, con una cuantía de 1.000 € al mes. Requisito: ser licenciado con experiencia en manejo de secuenciador automático para **trabajar** en la Unidad de Secuenciación. Aquí, ni se molestan en encubrir la situación de trabajo precario.

El Ministerio de Trabajo convoca 46 becas sobre prevención de riesgos laborales, algunas de las cuales tienen perfiles como “Investigación sobre la accesibilidad de la página web del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo y discapacidad”, “Diseño y elaboración de una guía para la identificación y prevención de riesgos músculo-esqueléticos en la agricultura”, “Elaboración y programación de un portal de acceso a datos para el personal del Centro Nacional de Condiciones de Trabajo”... Y no les da vergüenza. ¡En qué país vivimos!

También cuecen habas en la Comunidad Valenciana: el sindicato USO ha denunciado ante la Inspección de Trabajo la convocatoria de becas realizada por diversas entidades, como la Acadèmia Valenciana de la Llengua y las Consellerías de Agricultura, Pesca y Alimentación y de Sanidad, por entender que encubren realmente relaciones laborales. Algunas de estas becas están dedicadas a la realización de prácticas profesionales de técnicos en Lexicografía, Informática, Bibliotecas, preparación de documentación del sector agrario...

Tengo anotada una aberración más: el Instituto de Estudios Turolenses oferta becas de investigación predoctorales de un año de duración prorrogable a otro, con una dotación anual de 6.000 € en 12 mensualidades. Y tienen el valor además de decir que los solicitantes no podrán recibir ningún otro tipo de retribución y deben tener un expediente académico mínimo de 2. ¡Hala! ¡Y se quedan tan anchos! Pero ¿quién puede vivir con 500 € al mes? Podrían dejarles mendigar en la Beneficencia al menos, para pagar los gastos de luz y agua, digo yo.

Creía que este mes os tendríais que conformar con una breve nota en esta sección, porque la habilitación me ha tenido muy ocupada todo el trimestre. Pero en este país, buscas noticias sobre precariedad laboral en el trabajo investigador y aparecen hasta debajo de las piedras. En fin, espero no haberos cansado con tanto llorar. Yo, no desespero: llegará el día en que esta sección deje de tener sentido... aunque puede que yo ya me haya jubilado. Al menos espero que antes de que llegue ese momento conseguiré un contrato fijo.

\* Más información sobre las III Jornadas de Jóvenes Investigadores:

[http://www.precarios.org/comunicados/comunicado\\_FJI\\_04032005.htm](http://www.precarios.org/comunicados/comunicado_FJI_04032005.htm)

[http://www.precarios.org/comunicados/comunicado\\_FJI\\_05032005.htm](http://www.precarios.org/comunicados/comunicado_FJI_05032005.htm)

## Programa del 2º Encuentro Nacional de Investigadores Ramón y Cajal 14-15 de abril, Universidad Autónoma de Madrid

(Más información en <http://hobbes.fmc.uam.es/RYC/Encuentro/index.htm>)

### 14 Abril

- 09:00 - 09:30: Inscripción
- 09:30 - 10:00: Inauguración
  - D. Ángel Gabilondo, Rector de la UAM
  - D. Juan de la Figuera, Presidente de la ANIRC
- 10:00 - 13:00: Charlas Invitadas
  - Moderador: Dña. María Jesús Matilla Quiza, Vicerrector de Investigación de la UAM.
  - José Ignacio Pascual:  
*Física y química a escala nanométrica: experimentos con unos pocos átomos y moléculas.*
  - Gonzalo García Polavieja:  
*El mundo según las neuronas: principios fundamentales del procesamiento sensorial*
  - José Miguel Cosgaya:  
*TITULO POR CONFIRMAR*
  - Inés Sastre, Pedro Díaz del Río y José Antonio López:  
*La investigación arqueológica hoy: creación de conocimiento y proyección social*
- 13:00 - 14:00: Pósteres
- 14:00 - 16:00: Pausa Para la Comida
- 16:00 - 17:30: Ponencia y Mesa Redonda: "La investigación en España: Contratación y Financiación"
  - Moderador: José María Sanz, Vicerrector de Infraestructura y Promoción Tecnológica.
  - D. Salvador Ordoñez, Secretario de Estado de Universidades e Investigación,
  - Dña. Sieglinde Gruber, Policy Officer, European Commission DG Research
  - Dña. Amelia Sanchez Capelo, Presidenta de la Asociación para el Avance de la Ciencia y Tecnología en España
  - Dña. D<sup>a</sup> Flora de Pablo, Presidenta de la Asociación de Mujeres Investigadoras y Tecnólogas
  - Dña. Cristine Heller de Riego, Euroscience
  - D. Federico Mayor Menéndez, catedrático del departamento de Biología la Universidad Autónoma de Madrid
  - D. Juan M. Rojo, Catedrático Departamento de Física de Materiales de la Universidad Complutense de Madrid
- 17:30 - 18:00: Café
- 18:00 - 19:30: Ponencia y Mesa Redonda: "La investigación en España: Contratación y Financiación" (continuación)
- 21:00 - : Cena del Congreso

### 15 Abril

- 10:00 - 13:00: Ponencia y Mesa Redonda: "Papel de las comunidades autónomas en la financiación y contratación de investigadores"
  - Moderador: José Manuel López Poyato, Vicerrector de profesorado de la UAM
  - D. Salvador Barberá, Secretario General de Política Científica y Tecnológica
  - Dr. José Juan Sánchez Serrano, Subdirector General de Programación, Seguimiento y Documentación Científica del CSIC
  - Enrique Díez Barra, Viceconsejero de Universidades, Investigación e Innovación de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha
  - D. Luis Peral, Consejero de Educación de la Comunidad Autónoma de Madrid
  - Representantes de otras comunidades Autónomas por confirmar.
- 13:00 : Cierre del Encuentro
- 15:30 : Asamblea general de la ANIRC
- 18:00 : Fin de la asamblea

## CRÍTICA DE LIBROS

### La creación del Universo

Germán Sastre Navarro<sup>\*</sup>  
Socio de la AACTE

**Título:** La creación del Universo

**Autor:** George Gamow

**Versión original:** The creation of the Universe. Viking Press, 1952, 1961

¿Tuvo el Universo un principio en el tiempo?, ¿fue su origen una gran explosión?, ¿tiene límite en el espacio? "¡Nunca lo sabremos!": esta es la respuesta más simple, conformista y acientífica que pueda darse a estas y otras preguntas de la Cosmología. George Gamow es todo lo contrario a un conformista y, en su libro, va arrancando de la mente del lector las respuestas más asombrosas a base de coleccionar información y combinarla de modo inteligente en un libro extraordinario del que extracto doce preguntas. La palabra "creación" se utiliza no en el sentido de crear algo a partir de nada, sino de desarrollo y adquisición de forma a partir de algo informe o primigenio.

¿Qué edad tienen los átomos? Es la primera pregunta que aborda el libro y su respuesta no se conoció hasta principios del siglo pasado con el descubrimiento de la radiactividad, por la cual determinados átomos se rompen de manera espontánea y dan lugar a otros átomos siguiendo una ley de decaimiento exponencial con el tiempo. Así, por ejemplo, las concentraciones relativas de los dos isótopos radiactivos del Uranio se pueden expresar de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} [^{235}\text{U}] &= [^{235}\text{U}]_0 \cdot \exp(-k_1 \cdot t) \\ [^{238}\text{U}] &= [^{238}\text{U}]_0 \cdot \exp(-k_2 \cdot t) \end{aligned}$$

Dividiendo las dos ecuaciones y suponiendo que las concentraciones iniciales son iguales, y que la abundancia relativa actual es 0,007, se tiene:

$$0.007 = \exp[(k_2 - k_1) t]$$

Y de aquí se puede calcular el tiempo transcurrido desde que los átomos se formaron, conociendo las constantes de decaimiento, que se miden experimentalmente, todo lo cual nos da que los átomos se formaron hace unos cuantos miles de millones de años.

¿Qué edad tienen las rocas? Un conocido método está basado en la determinación del plomo contenido en varios minerales radiactivos. Cuando la roca se forma pasando del estado de magma al estado sólido, sustancias radiactivas y sus productos (Pb) permanecen en el mismo lugar. Utilizando las cantidades relativas  $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , se puede calcular el tiempo que ha transcurrido desde que ese material solidificó. Así, se encuentran rocas con edades comprendidas entre 50 y 2800 millones de años según su lugar de procedencia.

¿Cuál es la edad de la Luna? Es conocido que la Luna se aleja de la Tierra aproximadamente 12 cm/año. Esto se debe a la fricción causada por las mareas, que hace desplazar la masa de la Tierra hacia su periferia, frenando su rotación y la de la Luna y, por la conservación del momento angular del sistema Tierra-Luna, dando lugar al incremento de la distancia Tierra-Luna. Extrapolando, hace unos 4000 millones de años, la Tierra y la Luna habrían estado prácticamente en contacto. Los cálculos también llegan a la conclusión de que en ese momento se igualan el periodo de rotación de la Luna y de la Tierra a siete horas, y la Luna es arrancada de la Tierra por la fuerza de las mareas del Sol. El análisis cartográfico de la corteza de la Tierra muestra que la cuenca del Pacífico no es

<sup>\*</sup> Instituto de Tecnología Química UPV-CSIC, Universidad Politécnica de Valencia.  
Corr-ele: gsastre@itq.upv.es



sino una gigantesca cicatriz en la piel granítica de la madre Tierra que recuerda constantemente el nacimiento de su primera y única hija, la Luna.

¿Cuánto hace que se formó el Sol? Sabiendo que la transformación nuclear de hidrógeno en helio genera  $2 \cdot 10^{13}$  calorías por gramo de hidrógeno, que el Sol libera  $10^{26}$  calorías por segundo y que el hidrógeno constituye al menos el 50 % de la masa del Sol (que es  $2 \cdot 10^{27}$  toneladas), eso significa que faltan  $5 \cdot 10^{10}$  años para consumir todo el hidrógeno. No obstante, considerando que el Sol sólo podría usar el 20 % del hidrógeno, el que está localizado en su núcleo central convectivo, entonces su periodo útil sería de diez mil millones de años. Las estrellas, por otro lado, siguen diferentes ciclos vitales según su tamaño y su brillo crece proporcionalmente al cubo de su masa. De modo que una estrella de masa doble que nuestro Sol consume su combustible ocho veces más rápido y, como su combustible es sólo el doble, eso quiere decir que su ciclo vital será cuatro veces más corto que el del Sol. Así se pueden calcular las edades de la población estelar de nuestra galaxia y se observa que las que ahora se aproximan a su muerte tienen unos cinco mil millones de años, lo cual indica que esa sería la edad de la mayor parte de las estrellas de la Vía Láctea.

¿Qué edad tiene la Vía Láctea? Uno de los movimientos de las estrellas, unas respecto de otras en la galaxia, se parece al de las moléculas de un gas, y se rige, al igual que éste, por la ley de equipartición de la energía cinética, siendo la velocidad de cada estrella inversamente proporcional al cuadrado de su masa. Pero, si bien en un gas basta una fracción de segundo para alcanzar el equilibrio, no ocurre lo mismo en la galaxia y varios trabajos han permitido averiguar, midiendo la distribución de velocidades, que el punto actual está al 2% del tiempo necesario para alcanzar el equilibrio, el cual también puede calcularse. De aquí, pues, también se puede obtener una estimación aproximada de la edad de la Vía Láctea en varios miles de millones de años.

¿Cuál es la edad del Universo? Observando estrellas de la Vía Láctea con su telescopio del Monte Wilson, Edwin P. Hubble vio en 1925 la existencia de las llamadas cefeidas variables, con unos cambios de luminosidad que varían de acuerdo a una sencilla ley sinusoidal. Existe una relación entre el periodo de esas pulsaciones y la luminosidad absoluta de la estrella, por lo que la medida de la luminosidad aparente (observacional) y la luminosidad absoluta (calculada a través del periodo de pulsación) nos permite saber la distancia a la que se encuentra la estrella. Hubble obtuvo una distancia de casi un millón de años luz para las cefeidas de la nebulosa de Andrómeda. Por otro lado, Hubble midió el espectro de la radiación electromagnética que nos llega de las galaxias lejanas y por efecto Doppler encontró la velocidad a la que se alejan de nosotros, que resultó ser proporcional a la distancia. ¡El Universo se expande! y ésta fue la primera prueba de ello. La ley de Hubble,  $v=k \cdot d$  arroja una constante de proporcionalidad de  $1.8 \cdot 10^{-4}$  (si las distancias se expresan en años luz y las velocidades en km/s) y de aquí se obtiene que el tiempo transcurrido desde que el Universo se encontraba reducido a un punto puede aproximarse al inverso de la constante de Hubble. Otra pregunta habitual, una vez establecida la edad del Universo, es si se detendrá alguna vez la expansión y, además de midiendo la variación de la constante de Hubble con el tiempo, esto puede saberse si somos capaces de conocer la masa del Universo. Análogamente a como una piedra lanzada hacia arriba cae, a menos que sea lanzada a más de 11.2 km/s (en cuyo caso escapa a la gravitación terrestre), el campo gravitatorio del Universo podría terminar por frenar su expansión, aunque parece que las medidas de la masa indican lo contrario.

¿Cuál es la forma del Universo? La teoría general de la relatividad de Einstein sólo permite dos formas para el Universo: con curvatura hacia dentro al estilo de una superficie hemisférica, o con curvatura hacia fuera al estilo de una silla de montar a caballo. Si en ambas superficies dibujamos un círculo, se puede demostrar que su área crece, en el hemisferio, más lentamente que el cuadrado del radio, mientras que en la silla crece más rápidamente que el cuadrado del radio. Si extendemos el razonamiento al caso tridimensional, se trata de medir el número de galaxias en función del radio de la esfera envolvente. Si el espacio es limitado y curvo hacia dentro, el número de galaxias debería crecer más lentamente que el cubo de las distancias, mientras que, si el espacio es infinito y curvo hacia fuera, el número de galaxias crecerá más rápidamente que el cubo de esta distancia. Las mediciones dan la razón a esta segunda posibilidad. No obstante las dificultades para medir con exactitud las distancias son importantes y estos resultados no están confirmados.

¿Cuál es la densidad del Universo? Los estudios sobre la expansión del Universo dan como resultado que, para etapas relativamente primitivas de la expansión, el valor de la constante de

Hubble está relacionada con la densidad media del Universo,  $\rho$ , según la siguiente expresión:  $k^2 = 5.8 \cdot 10^{-7} \rho$ . Esta densidad media incluye no sólo la materia sino también la energía, que, como es sabido por la ecuación de Einstein ( $E=mc^2$ , siendo 'c' la velocidad de la luz) representa una cierta masa. Si la cantidad de energía radiante de un cuerpo a una determinada temperatura es  $E=7.6 \cdot 10^{-15} T^4$  (ley de Stefan-Boltzmann) y dividimos por  $c^2$  tenemos que la densidad de energía radiante es  $8.5 \cdot 10^{-36} T^4$  gramos por centímetro cúbico. A la temperatura ambiente el peso (densidad) de la radiación es  $10^{-25}$  gramos por centímetro cúbico y en el espacio interestelar (a una temperatura de 100 Kelvin) es  $10^{-27}$  g/cm<sup>3</sup>. Sabiendo que la densidad del gas interestelar es  $10^{-24}$  g/cm<sup>3</sup>, vemos que la radiación supone el 0.1 % de la densidad. Por otro lado, las leyes de la física clásica (válidas aquí) nos dicen que la densidad de radiación de un volumen en expansión disminuye más rápidamente que la densidad de materia en el mismo volumen, lo cual significa que en las etapas más primitivas, el peso de la radiación era superior al de la materia y entonces la materia apenas contaba, siendo la radiación quien desempeñaba un papel preponderante. Los átomos estaban en minoría. Cálculos elaborados permiten incluso saber la temperatura del Universo en función del tiempo (en segundos) transcurrido desde el momento inicial de acuerdo con la expresión  $T=1.5 \cdot 10^{10}/t^{1/2}$ . La edad del Universo  $10^{17}$  segundos nos da una temperatura de 50 Kelvin, lo cual está más o menos de acuerdo con la temperatura observada.

¿Cómo se formaron los átomos? Las condiciones de extrema presión y temperatura de los momentos iniciales son las que determinan, primero la expansión del Universo y luego la formación de los átomos cuando las condiciones son menos drásticas y la fuerza eléctrica domina sobre la temperatura permitiendo la asociación de protones y electrones. Las condiciones imperantes en estos momentos, junto con las reacciones nucleares posteriores son las que determinan las actuales abundancias relativas atómicas en el Universo, que resultan ser a grandes rasgos, 55 % hidrógeno, 45 % helio y 1 % del resto de los elementos, estos últimos en proporciones relativas similares a las que se observan en nuestro planeta. Ocurre que la composición química del Universo es (¿sorprendentemente?) bastante uniforme y, de hecho, Júpiter (y los otros planetas gaseosos de nuestro sistema solar) tienen una composición parecida a la composición global del Universo. En la Tierra y los otros planetas menores del sistema solar ocurriría lo mismo si no fuera porque la (relativamente) débil gravedad ha dejado escapar el hidrógeno y helio (elementos más ligeros) que se encontrarían en el disco inicial del que surgieron estos planetas. Sabiendo la temperatura necesaria para que las fuerzas eléctricas dominen sobre la temperatura, se ha calculado que el "tiempo de cocción" de los átomos en el Universo primitivo fue de una hora más o menos. Conociendo las condiciones y la termodinámica de las reacciones nucleares, el libro enumera y describe con detalle algunos modelos que explican de modo más o menos satisfactorio las abundancias relativas de los átomos.

¿Cómo se formaron las galaxias? Tras la formación de los átomos, la expansión siguió su curso sin nada de particular interés durante algunos millones de años. El gas y polvo interestelar se condensó en la forma que hoy lo conocemos (un miligramo de gas y varios microgramos de polvo por cada millón de kilómetros cúbicos de espacio). Si todo ese material se encontraba más o menos uniformemente disperso, vemos en cambio cómo las galaxias se han debido formar a partir de ese material y la pregunta que surge es: ¿cómo y cuándo se produjo esa diferenciación? Llega un momento en el que la densidad de la radiación se hace lo suficientemente baja como para que sea la materia quien tome el protagonismo y a partir de ahí la gravedad comienza a hacerse notar. No es que no existiera antes, sino que a partir de un cierto momento su magnitud se torna principal con respecto a otras fuerzas de interacción. James Jeans, astrónomo británico, demostró que un gas sometido a las fuerzas de gravitación es inestable y tiende a romperse en gigantescas nubes separadas. Las condensaciones locales aleatorias se favorecen por la fuerza de la gravedad siendo difícil su ulterior disolución una vez formadas. Esto necesita dos factores: mucho espacio y mucha masa. El tamaño de estas condensaciones viene determinado por la condición de que la gravedad en superficie debe ser mayor que la energía térmica. Los cálculos arrojan los siguientes resultados para el radio y la masa críticos necesarios: radio (cm)  $\geq 4.4 \cdot 10^7 \sqrt{T/\rho}$ ; masa (g)  $\geq 1.9 \cdot 10^{11} \sqrt{T^3/\rho}$ . Si, por ejemplo, aplicamos estas fórmulas al aire atmosférico a 300 K y con una densidad de  $10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>, obtenemos para el radio de las condensaciones el valor de  $2 \cdot 10^5$  km, mucho mayor que el diámetro de la Tierra, y por eso nuestro aire atmosférico no se fracciona en bolas de aire. Por

otro lado, la masa crítica es de  $10^{40}$  g, varios millones de veces la masa del Sol, y de hecho en un valor aproximado al valor de las masas galácticas, lo cual explica precisamente su formación, una vez hechos a este razonamiento algunas correcciones para masas en expansión. El razonamiento indica, además, que el tamaño de las galaxias formadas debería ser mayor (y menor su densidad) cuanto más tarde se formaron. Puesto que las mediciones de los tamaños de las galaxias no muestran enormes diferencias, esto nos mueve a pensar que la mayoría de ellas se formaron alrededor de la misma etapa del Universo, cuando éste contaba con unos 30 millones de años.

¿Cómo se formaron las estrellas? Para responder esta pregunta es imprescindible partir de la base de que cuando un volumen de material continuo se rompe violentamente en varios fragmentos, éstos se separan girando rápidamente como los restos de un coche tras un accidente. La rotación y la turbulencia generada en las protogalaxias, tratada con detalle en el libro, explica tanto sus formas como la presencia de una gran turbulencia en su seno, que origina espacios de fuertes condensaciones, que muchas veces en lugar de expandirse de nuevo, se continúan contrayendo bajo su propio peso en esferas individuales de gas denso. Como resultado de la contracción, la temperatura de estas esferas gaseosas se eleva rápidamente y sus superficies calentadas empiezan a emitir primero rayos caloríficos y poco después otros de más corta longitud de onda que corresponden a la luz visible. En cierta etapa de su contracción, la temperatura central alcanzó el punto de ignición de las reacciones termonucleares y así se puso en acción la maquinaria nuclear, quedándose las estrellas en el estado en que las conocemos actualmente. Este proceso se estima que puede haber durado unos centenares de millones de años, tras los cuales las frías y oscuras galaxias se convirtieron en los conocidos discos repletos de puntos luminosos. Las teorías van más allá, y el libro también habla de la cantidad relativa de estrellas y polvo interestelar que debe quedar después del proceso, así como la probabilidad de formación de ulteriores estrellas, y la aparición de estrellas de diversos tamaños y su población relativa. En algunos cúmulos galácticos, como el cúmulo de Virgo, por efecto de la rotación, algunas galaxias pueden moverse hacia nosotros, de tal manera que el alejamiento de las galaxias en el Universo en expansión puede ser contrarrestado individualmente por algunas galaxias que se mueven hacia nosotros más rápido de lo que el cúmulo de galaxias se aleja de nosotros. En esos casos las líneas espectrales, en lugar del habitual corrimiento hacia el rojo, presentan un corrimiento hacia el azul. En el cúmulo de Virgo, situado a sólo 8 millones de años luz, y que se separa de nosotros a 1120 km/s, algunas galaxias se mueven hacia nosotros a 2400 km/s. Otros aspectos mencionados en el libro son los cúmulos abiertos o globulares, que son estrellas no perturbadas por el tráfico central de la galaxia y que, en ausencia de interacciones adquieren forma esférica. Sobre todo esto existen los correspondientes desarrollos matemáticos que tratan de descubrir su origen y evolución.

¿Cómo se formaron los planetas? A partir de las envolturas gaseosas, en principio esféricas, que rodean a las estrellas y protoestrellas, existiría una gran cantidad de partículas cuyas colisiones sucesivas favorecieron la acumulación de todo el material en un disco situado en un plano, donde las colisiones ya no tienen lugar. Esta es la razón por la que los planetas, que han evolucionado por condensación gravitatoria en ese disco inicialmente difuso, se encuentran todos en un mismo plano. Los cálculos indican que el proceso fue muy lento y que grandes planetas como Júpiter pudieron tardar  $10^8$  años en formarse.

También se esboza en el libro un intento de explicación del número de planetas del sistema solar, sus distancias relativas y sus masas relativas. Se hace un análisis de las estrellas binarias, una explicación sobre su origen y el mecanismo de transferencia de materia entre ellas. Las etapas en la vida de una estrella, su tamaño en función del tiempo, su espectro, las condiciones para su agotamiento, su densidad y temperatura en el interior y en la superficie y los ciclos de reacciones nucleares que gobiernan el consumo de combustible y la producción de energía, son otros de los temas tratados.

George Gamow es un perfecto ejemplo de excelente científico y excelente divulgador. A la edad de 24 años elaboró la teoría cuántica de la radioactividad y un año después —con Niels Bohr— postula un modelo de núcleo atómico que sirve de base a las modernas teorías de fusión y fisión. Posteriormente desarrolló, junto con Edward Teller, una teoría sobre las emisiones beta del núcleo atómico, desarrolla la teoría del Universo en expansión, investiga la producción de energía en las estrellas gigantes rojas, explica la emisión de neutrinos en las supernovas, y toda una serie de

contribuciones de primer orden. Destaca por predecir la radiación de fondo del Universo en 1948 junto con Alpher y Herman, que fue detectada por Penzias y Wilson en 1965. Ciertamente el libro constituye una de las mejores introducciones a la Cosmología narrada por uno de sus padres. Es un buen libro de comienzo para entender con más facilidad cualquier desarrollo posterior. Por más que algunos datos puedan sonar antiguos o haberse quedado obsoletos (vg. el valor de la constante de Hubble, o algunos datos sobre las abundancias atómicas relativas), su estilo cualitativo-deductivo es realmente bueno. Pese a su antigüedad vale la pena. Las editoriales son varias y por eso no he puesto ninguna en el encabezamiento. En todo caso si a alguien le interesa, mi consejo es comprarlo en alguna librería de lance o en ferias del libro de ocasión. Mi ejemplar costó 2,40 € en la librería París-Valencia hace pocos años. Nunca tanta ciencia costó tan poco.

---



