



com CIENCIAS.digital

Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/15

Nº 15 MAYO 2015



Al principio,
la CIENCIA

Redacción

DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Blanca Bauluz Lázaro
- Ángel Francés Román
- Cristina García Yebra
- Luis Teodoro Oriol Langa
- María Luisa Sarsa Sarsa
- María Antonia Zapata Abad

Edita

Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza.
Plaza San Francisco, s/n
50009 Zaragoza

e-mail: web.ciencias@unizar.es

IMPRESIÓN: GAMBÓN Gráfico, Zaragoza.

DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08

ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)

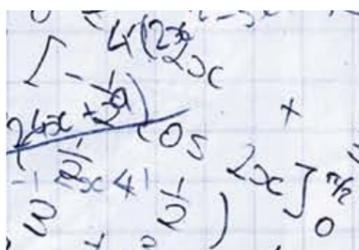
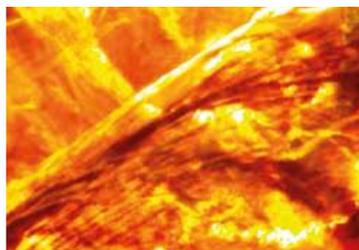
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.

Portada: Segundo Finalista del Premio San Alberto Magno, edición 2014
(Ana Serrano - Sinapsis).

La revista no comparte necesariamente las opiniones de los artículos firmados y entrevistas.

Editorial	2
Gamow, Alpher y el Big Bang Miguel Pérez Torres	4
2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo) Javier Turrión	10
Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica Juan Pablo Martínez Rica	26
Cristales en los alimentos Miguel Ángel Cuevas-Diarte, Laura Bayés-García y Teresa Calvet	44
Química Forense ¿Ciencia o Ficción? Gemma Montalvo y Carmen García-Ruiz	58
Un modelo universitario Ana Isabel Elduque	72
Hilbert y los fundamentos de la Matemática Fernando Bombal	86
Noticias y actividades	102
Artículos publicados	116
Colaboradores	122



UN MODELO UNIVERSITARIO

“¿Vamos a ser capaces de mantener alguna posición digna frente a universidades que cuentan con el apoyo financiero de países de mucho mayor potencial que el nuestro?”.

POR ANA ISABEL ELDUQUE

Durante toda la legislatura que ahora termina estamos asistiendo a la puesta en práctica de una política de financiación de las universidades públicas que deja asomar claramente la falta de sintonía entre el modelo universitario español existente y el que tienen en su cabeza muchos dirigentes políticos españoles, especialmente aquellos que ostentan cargos políticos en las últimas legislaturas. Esta discordancia de concepto se ha reflejado, como ya he dicho, en una dotación de recursos insuficiente a la universidad pública en casi todas las comunidades autónomas y en la aparición de conflictos entre los gobiernos y los equipos directivos, conflictos que parecían más de índole política que de carácter académico. Intentaré, en este artículo, desgranar algunos de estos problemas y, en la medida de lo posible, aportar alguna propuesta de carácter positivo.

¿DE DÓNDE VENIMOS?

Nuestro modelo actual tiene sus orígenes en la década de los sesenta del pasado siglo al incorporarse de forma mucho más numerosa jóvenes bachilleres a la universidad española. Durante los últimos años de la dictadura se conforma una universidad contestataria con el poder establecido que cuestiona el sistema político. De ella surgieron muchos de los que, poco tiempo después, dirigieron la llamada transición política desde la dictadura hacia la democracia. Pero lo importante, al menos para lo que tiene que ver con este artículo, es que la universidad española camina desde entonces por una senda caracterizada por dos cualidades: una amplia base social, tanto en cuanto al origen de sus alumnos como el de su profesorado; y una extensión territorial que abarca la totalidad del país. Y, como no podía ser de otra manera, esto solo se logra si la gran mayoría de las universidades españolas son de carácter generalista. El nacimiento de las universidades politécnicas públicas en España durante la dé-

cada de los setenta tiene más de excepción que confirma la regla que de intento de especialización o funcionalización de las universidades. Su funcionamiento es apenas distinguible del correspondiente al resto. Quizá de aquí se derive el poco éxito del modelo ya que no ha continuado, a excepción de Cartagena, desde hace más de treinta años.

Junto a lo anterior, el sistema español de educación superior se adapta casi con perfección milimétrica al nuevo modelo administrativo del estado de las autonomías. Dicho proceso, comenzado en los pasados años ochenta, supuso la “regionalización” de las universidades ya que, junto a la desaparición de los anteriores distritos universitarios, las zonas de influencia de cada institución no exceden nunca el ámbito territorial de la comunidad autónoma donde reside el rectorado de la misma. Nuestra Universidad de Zaragoza es ejemplo claro de este proceso, ya que su antiguo distrito, que se extendía por todo Aragón, pero también por la provincia de Soria, por La Rioja y Navarra, fue reducido únicamente al correspondiente a su parte aragonesa. El hecho es que cada universidad quedó confinada a un territorio político coincidente con el autonómico. No se tuvieron, ni nadie pareció exigirlo, criterios históricos, de cercanía, de interés común, de coincidencia de objetivos. Las universidades españolas pasaban a formar parte de la estructura estatal transferida a las comunidades autónomas, aunque se diera la paradoja de que la financiación todavía estaba en manos del Estado central.

El siguiente paso fue la explosión del número de universidades y su “provincialización”. Muchas de las grandes instituciones académicas sufrieron una partición y proceso de segregación de los anteriores colegios universitarios. Dichos colegios se crearon con el ánimo de acercar titulaciones de alta demanda a las poblaciones más pequeñas, donde parecía que no tenía sentido crear una pesada y costosa estructura universitaria completa. Pero en los años noven-



ta estos centros se fueron progresivamente convirtiendo en universidades plenas e independientes, con todas sus ventajas e inconvenientes. Si hacemos un repaso al listado actual de universidades españolas podemos ver que Aragón, País Vasco, Castilla La Mancha, Cantabria, La Rioja, Extremadura, Navarra, Islas Baleares y Asturias cuentan con una única universidad pública. Aparentemente la mitad del país optó por mantener un modelo de institución única. Y he dicho aparentemente, por un doble motivo. El primero es que las nueve comunidades citadas solo representan el 22% de la población total de España. Es decir, casi el 80% optó por un sistema universitario múltiple. La segunda razón es que este hecho tiene algo de impostura, ya que dentro de nuestras aparentes universidades unitarias aparecen campus por todas las provincias. En el siguiente cuadro se muestran el número de universidades de cualquier carácter que existen actualmente en España (ver página siguiente).

Y con esta estructura ya en funcionamiento llegó el último gran cambio. Este ha tenido lugar durante los primeros años del presente siglo y consiste en la transferencia

“Las universidades españolas pasaban a formar parte de la estructura estatal transferida a las comunidades autónomas, aunque se diera la paradoja de que la financiación todavía estaba en manos del Estado central”.

Un modelo universitario

Comunidad autónoma	Universidades Públicas	Universidades Privadas	Universidades de la Iglesia	Universidades Especiales (*)	Total
España	48	18	7	2	75
Andalucía	10	0	0	0	10
Cataluña	7	5	0	0	12
C. de Madrid	6	7	1	1	15
C. Valenciana	5	1	1	0	7
Galicia	3	0	0	0	3
Castilla y León	4	2	2	0	8
País Vasco	1	1	1	0	3
Islas Canarias	2	0	0	0	2
Castilla-La Mancha	1	0	0	0	1
Región de Murcia	2	0	1	0	3
Aragón	1	1	0	0	2
Islas Baleares	1	0	0	0	1
Extremadura	1	0	0	0	1
Asturias	1	0	0	0	1
Navarra	1	0	1	0	2
Cantabria	1	0	0	1	2
La Rioja	1	1	0	0	2
Ceuta	0	0	0	0	0
Melilla	0	0	0	0	0

(*) Universidades de carácter especial: UNED en la Comunidad de Madrid y UIMP en Cantabria.

No se han considerado los Centros Universitarios de la Defensa, por estar asignados a universidades públicas (Universidad de Zaragoza, para el CUD de Zaragoza; Universidad de Vigo, para el CUD de Marín y Universidad Politécnica de Cartagena, para el CUD de San Javier).

total de la educación superior a las comunidades autónomas y, por supuesto, su financiación.

El modelo parecía completo, al menos en su parte administrativa. Las universidades públicas estaban totalmente integradas en sus correspondientes comunidades autónomas. Es más, la impresión es que eran parte misma del es-

tado autonómico. Los gobiernos autónomos crearon sus propias agencias de calidad, no sustitutivas de la agencia nacional ANECA, pero con competencias propias. El encaje, con alguna arista que pulir, estaba casi realizado.

Pero como todo en la vida, nada es para siempre. Los tiempos de la burbuja inmobiliaria y, como dijo Alan Greenspan, de la exuberancia de los mercados habían llegado. Comenzaron a proliferar solicitudes de nuevas universidades, estas de carácter privado, pero bajo la misma autoridad académica que las públicas. Y con ello no llegó solo la competencia. Mucho más

“La burbuja en la que estuvimos inmersos en este país no afectó solo al mercado inmobiliario”.

que la libre competencia empezó a extenderse por el territorio. Y, como si esto solo fuera poco, nos embarcamos en la creación del Espacio Europeo de Educación Superior, o Plan Bolonia como lo conocemos comúnmente.

Las condiciones para iniciar una carrera bastante enloquecida eran las propicias. Un elevado porcentaje de jóvenes en edad académica querían obtener sus titulaciones, lo que hacía que la demanda fuera, sin ningún género de duda, muy superior a la oferta. Dicha oferta se había ampliado con la entrada en acción de actores, las universidades privadas, que apenas habían tenido protagonismo anteriormente. La situación económica general del país parecía no suponer ningún problema porque siempre nos quedaba un recurso infinito a aumentar el endeudamiento público a costes históricamente irrisorios. El claustro universitario se lanzó de

forma desordenada y sin planificación a proponer estudios propios, másteres y todo un conjunto de estudios específicos de alta especialización y utilidad poco probada. Y la decisión final tenía que ser tomada por los responsables autonómicos que, periódicamente, se enfrentan a la decisión popular que, casi con toda seguridad, hubiera penalizado gravemente a aquellos que se hubieran atrevido a negar nuevos estudios, centros, campus, etc... La burbuja en la que estuvimos inmersos en este país no afectó solo al mercado inmobiliario.

¿QUIÉNES SOMOS?

La expansión tan rápida por todo el territorio, la adaptación de las universidades a la estructura autonómica, la falta de tradición universitaria real en muchas nuevas localizaciones, la poca colaboración con el tejido productivo, la falta



Antiguas Facultades de Medicina y Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Imagen de la Facultad de Ciencias.

Un modelo universitario

de tradición innovadora en la industria española que sirviera de elemento tractor de una investigación más aplicada, la falta de elementos de reequilibrio en las plantillas de las universidades a realidades cambiantes y otros factores han provocado que la universidad española sea fundamentalmente generalista en lo docente. Quiero decir con ello que la mayoría de las mismas imparten una enorme variedad de titulaciones, con el objeto de ser la oferta pública formativa en su territorio. A las universidades privadas de nueva creación también se les exigió la impartición de titulaciones de varias áreas de conocimiento. El modelo era único para todos.

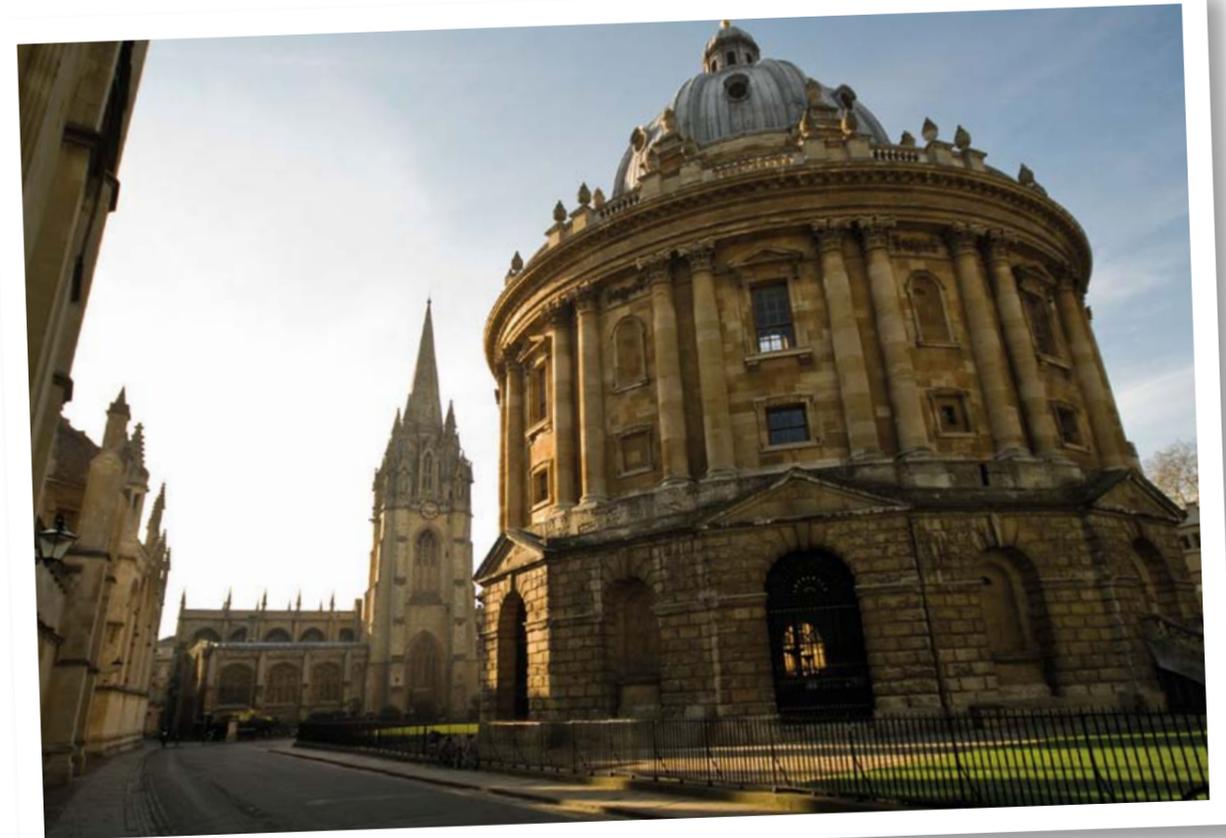
Y para una universidad generalista, aunque no el único, el número de alumnos se vuelve un tótem al que adorar casi de forma permanente. Los medios de comunicación, septiembre tras septiembre, solicitan los datos para saber si hay aumento o disminución de la matrícula y en

qué titulaciones. Las notas de corte de determinadas carreras se han convertido entre los bachilleres, y muchos padres, en el criterio de calidad de dicha titulación.

Este modelo es expansivo por naturaleza y, por lo tanto, exige recursos crecientes de forma constante. No se puede pedir crecer y no financiar el crecimiento. Nuestros ancestros, padres y abuelos, tenían una estatura sustancialmente menor porque su alimentación, especialmente la de época infantil, era mucho peor que la nuestra. Si hemos creado este modelo universitario en los últimos veinte o veinticinco años, no dotarlo ahora de los recursos suficientes provocará, como en los niños de la posguerra, raquitismo.

No estoy abogando por mantener la universidad de forma inalterada. Creo que es muy mejorable en muchos aspectos. Pienso, y el lector atento ya se habrá dado cuenta, que el paralelismo entre universidad y estado autonómico no me parece la mejor solución. También soy de la opinión que disponer de una universidad casi en cada capital de provincia tampoco es lo más deseable para el desarrollo, ni personal ni de la sociedad. Pensar que la universidad es un dinamizador social y un elemento vertebrador del territorio me parece que es una visión muy distorsionada de lo que es y debe ser el mundo académico. La falta de coherencia entre el número de titulados y las necesidades del entorno social creo que es un hecho que hay que corregir en breve. La unicidad del modelo español,

ddce.utexas.edu



Universidad de Oxford (Reino Unido).

www.sbs.ox.ac.uk

“La unicidad del modelo español, frente al de nuestros socios europeos, es, en mi opinión públicamente expresada, simplemente un error grave”.

frente al de nuestros socios europeos, es, en mi opinión públicamente expresada, simplemente un error grave. Pero todo esto no se arregla por medio de ahogar financieramente a la universidad. El personal que trabajamos aquí, PDI y PAS, los proveedores y subcontratas que nos suministran todos los días, las necesidades de mantenimiento de las infraestructuras y su adaptación y modernización, los programas de investigación y el resto de actividades no pueden ser los paganos de una situación financiera catastrófica de las arcas públicas. Sí a las reformas racionalizadoras de gasto, pero no al recorte puro y duro.

La universidad no es un comercio que puede y debe reducir su inventario para minorar las necesidades de financiación cuando cae la cifra de negocio. Nuestros planes de estudio son plurianuales y con financiación de estas características deben contar. No nos dedicamos a actividades y eventos discrecionales en su ejecución. Nuestros alumnos tienen derecho a



Rectorado de la Universidad Complutense de Madrid.

Imagen por Carlos Delgado via Wikimedia Commons.

“Responderles con un *lo siento*, es que no hay fondos disponibles es absolutamente inaceptable”.

recibir lo mejor y, por lo menos, aquello que se les prometió cuando iniciaron su titulación. Responderles con un “lo siento, es que no hay fondos disponibles” es absolutamente inaceptable. Y no hay ninguna titulación que dure un ejercicio, ni ningún plan de estudios cuya duración sea menor que la de una legislación.

Nuestros investigadores, a los que les exigimos formarse también fuera de la propia universidad, hacen programas de largo recorrido. Las colaboraciones con otros centros no se establecen para que duren un año, o hasta las próximas elecciones. La credibilidad no se consigue con un sistema de financiación llamémosle intermitente. Por esta línea, la insuficiente capacidad de innovación actual la convertiremos en inexistente.

¿ADÓNDE VAMOS?

En los párrafos anteriores he querido dejar claro que la universidad pública española se ha convertido en una parte más del estado, especialmente en lo que se refiere a su organización autonómica o periférica. Por ello, y como el resto de competencias y asignaciones que tienen la obligación de suministrar los gobiernos autónomos, son estos los que deben dotar de financiación suficiente y adecuada, y no caer en la tentación de considerar el sistema de educación superior algo un poco más sofisticado que las fiestas populares, cuya intensidad depende de las disponibilidades presupuestarias de cada ejercicio. Se han esgrimido muchos argumentos para intentar justificar unas reducciones presupuestarias miopes y de gravísimas consecuencias. Pero, desgraciadamente en todos los casos, esconden un concepto de universidad pública de mínimos. Si el nivel de gasto depende del número de alumnos matriculados, es que se piensa que los estudios universitarios son algo así como una academia de repaso, donde el número de profesores dependía de los alumnos inscritos en cada periodo. No, la universidad no se dedica a dar clases de refuerzo. El coste del mantenimiento de un aula, incluida la calefacción en invierno, poco depen-

de del número de alumnos sentados en las mesas. La dotación para que un becario pueda continuar su doctorado hasta llevarlo a buen fin tampoco está relacionada con dicha cifra. Si esto fuera así, lo que recomiendo a todos mis colegas es suspender absolutamente a todos los alumnos del último curso de cada ciclo. Con ello lograríamos aumentar automáticamente el número de alumnos matriculados y conmover el corazón de aquellos que nos gobiernan y nos acusan de no practicar políticas de gasto totalmente proporcionales al número de matriculados. En pocos años, nuestros alumnos habrían crecido en tal número que nuestra dotación presupuestaria para financiación básica aumentaría de forma notable. Dejando a un lado la ironía, lo que sí puedo decir es que todas las iniciativas se agotan rápidamente si no hay financiación adecuada. Cuando se propusieron los campus de excelencia se pretendió crear una estructura que impulsara la investigación y la integración interuniversitaria. Pero los recortes han llevado a que los recursos dedicados sean de un monto casi ridículo. Hoy, los campus de excelencia son espectros que nada tienen que ver con su propósito original y poco aportan allí donde están establecidos.

de del número de alumnos sentados en las mesas. La dotación para que un becario pueda continuar su doctorado hasta llevarlo a buen fin tampoco está relacionada con dicha cifra. Si esto fuera así, lo que recomiendo a todos mis colegas es suspender absolutamente a todos los alumnos del último curso de cada ciclo. Con ello lograríamos aumentar automáticamente el número de alumnos matriculados y conmover el corazón de aquellos que nos gobiernan y nos acusan de no practicar políticas de gasto totalmente proporcionales al número de matriculados. En pocos años, nuestros alumnos habrían crecido en tal número que nuestra dotación presupuestaria para financiación básica aumentaría de forma notable. Dejando a un lado la ironía, lo que sí puedo decir es que todas las iniciativas se agotan rápidamente si no hay financiación adecuada. Cuando se propusieron los campus de excelencia se pretendió crear una estructura que impulsara la investigación y la integración interuniversitaria. Pero los recortes han llevado a que los recursos dedicados sean de un monto casi ridículo. Hoy, los campus de excelencia son espectros que nada tienen que ver con su propósito original y poco aportan allí donde están establecidos.

Pero en este apartado de la financiación también hay que actuar en una segunda línea. Muchas comunidades autónomas han sufrido una situación financiera de bancarrota. El recurso a la financiación exterior, deuda, a tipos de interés aceptables casi desapareció. Ello les obligó a practicar recortes indiscriminados. El resto, aunque en una situación no tan grave, también llevó a cabo las reducciones correspondientes que nos fueron asignadas desde el gobierno central para cumplir con el discutido principio de equilibrio presupuestario. De la misma forma que se establecieron normas de obligado cumplimiento a nivel del estado central, también debemos exigir que se creen fondos de ayuda extraordinaria para aquellas comunidades que no puedan atender sus compromisos con la universidad en un momento dado. Esto sí es solidario y crea país. Evidentemente estos fondos no pueden ser una financiación ilimitada y que no exija responsabilidades, pero son absolutamente necesarios para que las instituciones que no pueden acceder a los mercados financieros obtengan los fondos que precisan a un coste razonable. El permiso que se exige de las autoridades para aumentar el endeudamiento no se ve menoscabado, pero



Imagen de la Facultad de Ciencias.

sí se ahorra tiempo y, seguramente, coste. En analogía al Fondo de Liquidez Autonómico, es posible pensar en un Fondo de Liquidez Universitario acordado entre Ministerio, Consejerías y Conferencia de Rectores.

Y, por supuesto, la parte que corresponde a la propia universidad no debe olvidarse. Sí que hay que hacer un planteamiento en profundidad de qué gastos son imprescindibles y cuáles tienen una mayor discrecionalidad. Cómo y de dónde podemos obtener recursos para la financiación básica, es decir, minorar gastos. ¿Tenemos la relación de personal, docente y de servicios, adecuada? ¿Nuestra oferta docente, en todos los ciclos, es necesaria? ¿Y sostenible económicamente? ¿Hay posibilidades de colaborar con otras instituciones para compartir gastos y multiplicar beneficios? ¿Sabe la facultad X las necesidades de la facultad Y? ¿Somos capaces de dar prioridad a unas necesidades frente a otras? Conseguir respuestas adecuadas para este conjunto de preguntas es un reto muy grande que entra de lleno en la necesidad de comenzar a construir un nuevo modelo universitario español.

EL FUTURO

Y este nuevo modelo es algo ineludible. Nuestra universidad actual pasó de ser la universidad de la dictadura a la de un estado altamente descentralizado. Pero lo que tenemos ahora enfrente es otra cosa.

En nuestro entorno inmediato, la Unión Europea, todos debemos ofrecer un sistema homologable por los demás. Ya no podemos vivir solos y aislados. Los estudiantes de todos los países de la UE y de algún otro país asociado deben poder moverse libremente, y los conocimientos adquiridos y los títulos recibidos deben ser equivalentes. Si los países más influyentes en la UE adoptan políticas de aumento de gasto educativo, ¿vamos a poder quedarnos nosotros

“En nuestro entorno inmediato, la Unión Europea, todos debemos ofrecer un sistema homologable por los demás. Ya no podemos vivir solos y aislados”.



al margen? Hoy aumentar el gasto en Europa suena extraño, pero la vida es mucho más larga que el mandato de cualquier gobernante, y los tiempos del “austericidio” también pasarán. Imagínese el lector que Alemania, Reino Unido, Francia e Italia quieren llegar a un acuerdo de homologación de títulos con Estados Unidos. La consecuencia es clara, o todos seguimos lo que acuerden o se rompe Bolonia y volveremos a nadie sabe dónde.

Pero en el aspecto global la situación tampoco es la misma. En todos los ránkines que surgen, y casi cada curso nos aparece uno nuevo, las universidades de los países emergentes alcanzan posiciones más elevadas. Todavía no se las encuentra entre las élites de las primeras decenas, pero a nosotros tampoco. Es decir, entramos de lleno en colisión con universidades de China, Brasil, Rusia, India, Corea, Taiwan y, en algunas áreas específicas, con Arabia Saudí, Indonesia, etc... ¿Vamos a ser capaces de mantener alguna posición digna frente a universidades que cuentan con el apoyo financiero de países de mucho mayor potencial que el nuestro? La investigación no se hace solo con ta-

lento. Para detectar el bosón de Higgs, primero ha sido necesario construir el LHC, y la inversión no ha sido precisamente pequeña (superior a 3.900 millones de €).

No sé si en la próxima legislatura que vamos a comenzar ahora habrá más sensibilidad hacia algo que es primordial en un país que quiere seguir por la línea de la modernización. Pero sí sé que es imprescindible. La política de bandazos no es buena para casi nada. Pretender financiar actividades plurianuales, sujetas a acuerdos entre casi treinta países y que tenga en cuenta lo que hacen 6.000 millones de habitantes de este planeta en función de lo que cada año asigna el Ministerio de Hacienda es, sencillamente, ridículo.

Ana Isabel Elduque
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

Publicaciones de la Facultad de Ciencias...

INSTRUMENTA

Colección permanente de instrumentos históricos de laboratorio de la Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza.

PALMERA DATILERA, Phoenix dactylifera

La más conocida de las palmeras de la cuenca mediterránea, por su fruto un tiempo prehistórico. Es una especie que crece en el desierto pero que ahora se cultiva en las regiones españolas de clima más benigno. En Zaragoza uno de ellos es el 'Arboreto', un pequeño jardín que se encuentra en la ciudad, aunque no muchos. Los pocos que hay, si bien pueden dar fruto, no logran que dicho fruto, en dicho momento, sea comido en el Campus, pero existe una planta que se encuentra en el Jardín de Ciencias.

PALMERA DE CALIFORNIA, Washingtonia filifera

Esta hermosa palmera se parece a la canchales, pero se distingue de ellas por ser más robusta, tener el tronco más grueso y más alto y hojas más gruesas. Como indica su nombre, procedió del norte de Norteamérica pero se adaptó bien al clima mediterráneo y por ello se ha introducido en muchas ciudades españolas. En Zaragoza no es rara, pero la mayoría de los ejemplares son jóvenes. También se ven los que pueden verse en el Jardín de Ciencias y en el Jardín de la Facultad de Ciencias. Con el tiempo pueden convertirse en árboles muy bellos.

MIROBALANO, Prunus cerasifera

A diferencia de las otras especies del género, el mirobalano, o cuervo púrpura, no es un árbol frutal pues da poco fruto o no lo da en absoluto. Y, en cambio, es la especie más abundante de este género, tanto en la ciudad como en el Campus. Ello se debe a su importancia como árbol ornamental, a causa de su hermoso follaje de profundo color púrpura. Se trata de una variedad obtenida artificialmente a finales del siglo XIX y, desde entonces, introducida en buena parte de los parques y jardines urbanos del mundo. Es muy frecuente en Zaragoza y en el Campus se cuentan 25 ejemplares, algunos bien desarrollados para la especie.

Decorativo: cuervo púrpura o mirobalano, entre los árboles de la Facultad de Ciencias y Geología. A la derecha, detalle de sus flores durante la primavera.

Estufa de cultivo

Consiste en un armario metálico termostático que se utiliza principalmente para cultivos microbianos. Su función es proporcionar la temperatura adecuada y, durante el tiempo necesario, a los cultivos, para que se desarrollen.

En el interior lleva dos bandejas para soporte de los materiales y en la cubierta superior un agujero para introducir el termómetro. El armario tiene panel doble y la cámara intermedia es accesible por un conducto para su relleno con agua o otro líquido. En la parte inferior permite su rodado. En la superficie inferior dispone de un disco metálico a través del cual, mediante lama, se puede calentar el fondo termostático.

La estufa se soporta sobre un armazón metálico de hierro con cuatro patas.

FABRICANTE: Modelo Anonimizado (1940-1950).
PERÍODO: 1ª mitad del siglo XX.
UBICACIÓN: Museo de Biología, Universidad de Zaragoza.
PROTECCIÓN: Museo de Biología, Universidad de Zaragoza.
MATERIALES: Madera, metal, vidrio, etc.
INSTRUMENTOS: N.º 348.

Galvanómetro d'Arsonval

Los inventores de este tipo de galvanómetro son Jacques D'Arsonval (1851-1914) y Arsace D'Arsonval (1843-1914). En el diseño, la bobina consta de muchas vueltas de hilo delgado y está suspendida de una tira curva de metal que, a su vez, se conecta a un extremo de la bobina. Un pequeño muelle espiral permite el par recuperador y cierra el circuito. El par magnético es mayor si giro de la bobina, situando un núcleo cilíndrico de hierro dulce en el centro, y haciendo concéntricos y concéntricos con aquél los polos del iman.

Siendo el par magnético proporcional a la corriente que circula, y el par recuperador al ángulo girado, en equilibrio, la deflexión angular es linealmente proporcional a la corriente.

Un haz de luz proveniente de una pequeña lámpara se refleja en un espejo sólido a la bobina, reflejándose sobre una escala externa.

FABRICANTE: Fabbrica de Instrumentos Científicos, España.
PERÍODO: primer tercio del siglo XX.
UBICACIÓN: Instituto de Física, Universidad de Zaragoza.
PROTECCIÓN: Instituto de Física, Universidad de Zaragoza.
MATERIALES: acero, hierro, vidrio, etc.
INSTRUMENTOS: N.º 349.

Triquinoscopio

Es un microscopio compuesto de moderada resolución. A mediante del tipo pasado, se ilumina la muestra. Decentado habitualmente de graves enfermedades en el ser humano, pero la estructura del parhizo es perfectamente impropia debido a su cambio de dirección en células vivas, y se favorece la medición de ellas.

Una buena posibilidad de detección es el examen de las preparaciones obtenidas de muestras de determinados partes de la estructura. Para ello, se emplean microscopios compuestos de tipo de moderada resolución, triquinoscopios, con aumento x40 para estudios celulares y x100 para el control en células de ductos.

FABRICANTE: Instrumentos Científicos, España.
PERÍODO: primer tercio del siglo XX.
UBICACIÓN: Instituto de Física, Universidad de Zaragoza.
PROTECCIÓN: Instituto de Física, Universidad de Zaragoza.
MATERIALES: metal, vidrio, etc.
INSTRUMENTOS: N.º 350.



LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS



HILBERT

Y LOS FUNDAMENTOS DE LA MATEMÁTICA

“Para Hilbert, todo problema determinado en Matemáticas admite una respuesta, bien mediante una prueba rigurosa de su solución o bien con la demostración de la imposibilidad de la misma, porque *en Matemáticas no existe el ignorabimus*”.

POR FERNANDO BOMBAL



Hilbert y los Fundamentos de la Matemática

En cualquiera de las actividades humanas aparece, de vez en cuando, una figura que marca una nueva época. Pues bien, **David Hilbert** es para las Matemáticas una de esas figuras. Nació el 23 de enero de 1862, en Wehlau, cerca de Königsberg, la capital de Prusia oriental (hoy la ciudad rusa de Kaliningrado), en el seno de una familia acomodada.

Aunque los primeros años de su carrera académica e investigadora los pasó en la Universidad de Königsberg, desde 1895 su vida transcurrió en Gotinga, la Universidad de Gauss, Dirichlet y Riemann y que, en parte gracias a la presencia

de Hilbert, se convirtió en un centro de referencia mundial para las Matemáticas durante el primer tercio del siglo XX.

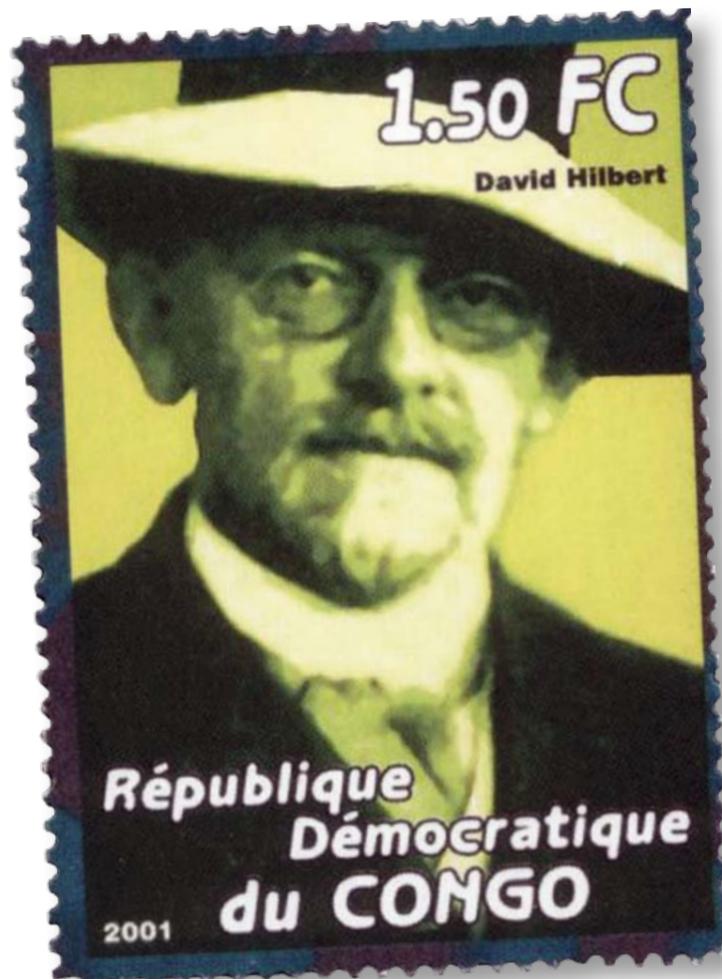
A lo largo de toda su vida Hilbert mostró siempre una firme e inquebrantable fe en la confiabilidad de la inferencia matemática. Para Hilbert la investigación en Matemáticas está fundamentada en la resolución de sucesivos problemas que surgen al realizarla y el objetivo de la misma es dar respuesta a los problemas planteados. Y para Hilbert, todo problema determinado en Matemáticas admite una respuesta, bien mediante una prueba rigurosa de su solución o bien con la demostración de la imposibilidad de la misma, porque “en Matemáticas no existe el *ignorabimus*^{1-D}.”

En esta convicción o “axioma” reside el núcleo de la epistemología de Hilbert y condiciona su actividad investigadora cotidiana: Su obra se podría presentar como una serie de problemas resueltos en distintas áreas. Por supuesto, el camino para su solución

“Hilbert no solamente resuelve problemas, sino que abre nuevos campos de investigación hasta entonces insospechados”.

David Hilbert (1862-1943) en un sello editado en 2001 por la República Democrática del Congo.

www.history.mcs.st-andrews.ac.uk



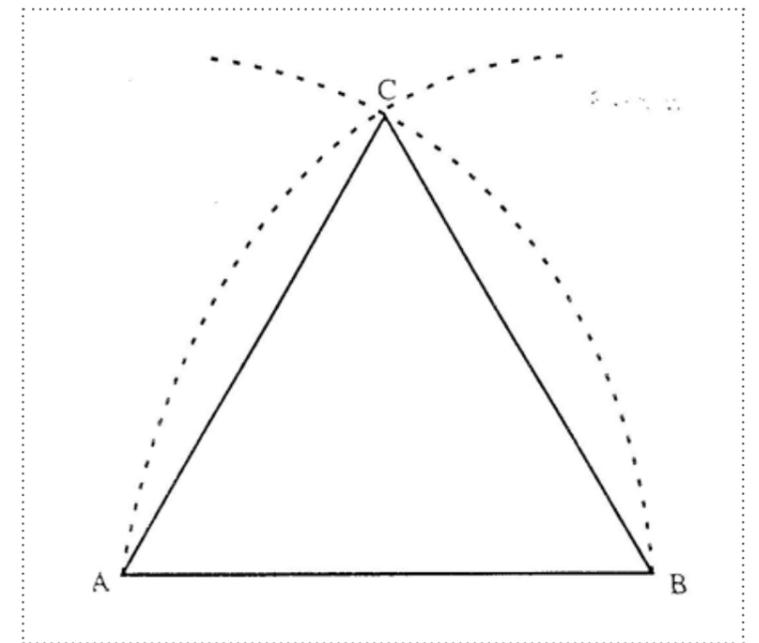
no es lineal, pero hay una *unidad* subyacente en los métodos de resolución, a saber: la construcción de un marco teórico adecuado, usualmente a través del *método axiomático*, en el que se puedan desarrollar las herramientas para resolver el problema planteado. Como consecuencia, Hilbert no solamente resuelve problemas, sino que abre nuevos campos de investigación hasta entonces insospechados.

Hilbert realizó importantes contribuciones en Álgebra, Geometría, Teoría de Números, Análisis Funcional, Física, etc. Pero el hilo conductor que está presente en toda su obra y permea toda su ingente tarea investigadora es la búsqueda del rigor y de principios generales de razonamiento, el descubrimiento de los axiomas mínimos de los que se deducen los resultados de una teoría, la utilización, en fin, del método axiomático en sentido moderno.

LOS “FUNDAMENTOS DE LA GEOMETRÍA”

Alrededor del 300 antes de C. Euclides había recopilado los conocimientos geométricos de su tiempo en un tratado conocido como *Los Elementos*, que se convirtió en uno de los libros más conocidos de todas las épocas. En él, a partir de unas pocas aseveraciones evidentes (23 definiciones casi intuitivas, 5 postulados o axiomas y 5 nociones comunes, afirmaciones generales del tipo “el todo es mayor que la parte”, etc.) y, utilizando exclusivamente las leyes de la lógica deductiva (algunas recogidas en las *nociones comunes*, aunque la mayoría están implícitas en *Los Elementos*) se obtienen hasta 465 Proposiciones que recopilan todo el conocimiento geométrico de la época.

Durante mucho tiempo, *Los Elementos* se consideraron el paradigma del rigor en Matemáticas. Sin embargo, poco a poco se empezaron a notar algunos defectos en el majestuoso edi-

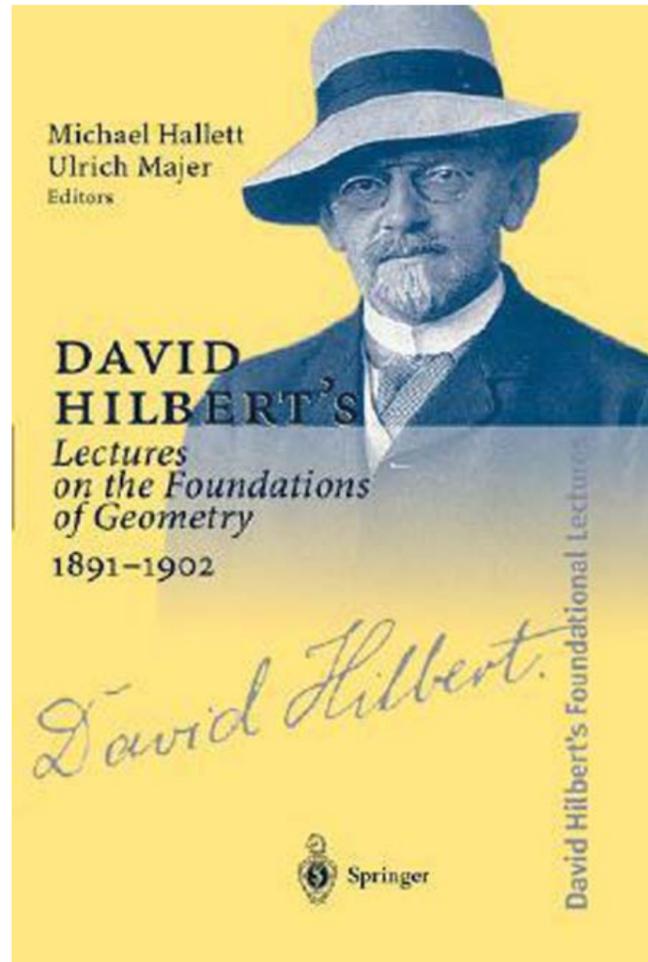


Construcción de triángulo equilátero.

Imagen cedida por el autor.

1. En 1872 el fisiólogo alemán Emil du Bois-Reymond (hermano del famoso matemático Paul du Bois-Reymond) acuñó la frase latina *ignoramus et ignorabimus* (desconocemos y desconoceremos) para designar la limitación esencial de la razón humana para conocer la Naturaleza, indicando que hay ciertas cuestiones que quedarán siempre más allá de nuestro conocimiento. Esta frase ha sido adoptada como lema por el agnosticismo moderno. A ella se refiere Hilbert en su comentario.

Hilbert y los Fundamentos de la Matemática



Lectures on the Foundations of Geometry (1891-1902), David Hilbert.

www.booktopia.com.au

ficio: los axiomas de Euclides no eran suficientes para deducir todos los teoremas incluidos en "Los Elementos". Por ejemplo, en la *Proposición 1.1* (¡la primera del libro!), se prueba que sobre cualquier segmento AB se puede construir un triángulo equilátero. Para ello, se trazan circunferencias de centros en A y en B, de radio la longitud del segmento (lo que está permitido por los axiomas), y el punto de corte C es el otro

vértice del triángulo buscado (véase la figura). Pero... ¿por qué las dos circunferencias se tienen que cortar? Nada en las definiciones, los postulados o las nociones comunes permite asegurarlo.

A lo largo del siglo XIX, en gran parte motivado por el descubrimiento de las geometrías no euclídeas², se renueva el interés por los axiomas de la geometría y aparecen distintas propuestas para fundamentarla con mayor o menor éxito.

En el curso 1898-99 Hilbert sorprendió a sus alumnos ofreciendo un curso sobre los elementos de la geometría. La versión escrita *Grundlagen der Geometrie* ("Los fundamentos de la Geometría") apareció en 1899 e inmediatamente se convirtió en un *best seller*, rápidamente traducido al francés, inglés y otros idiomas.

Lo que Hilbert propuso fue un sistema simple y completo de axiomas para probar todos los teoremas de la geometría euclídea. Pero, mientras los axiomas que plantea Euclides los basa en la evidencia e intuición física, Hilbert adopta una postura bien distinta. Comenzó su curso explicando a la audiencia que las definiciones de Euclides de *punto*, *recta* y *plano* no tenían en realidad relevancia matemática. Lo importante es la conexión que entre estos objetos establecen los axiomas. Como dijo alguna vez "en lugar de hablar de puntos, rectas y planos, los objetos para los que se postula la validez de los axiomas podrían llamarse mesas, sillas y jarras de cerveza". Por supuesto que en su curso Hilbert opta por el lenguaje tradicional de Euclides. Pero se renuncia a tratar de definir las nociones primitivas: los axiomas constituyen una especie de *definición camuflada* ("*définition déguisée*" en palabras de Poincaré) o *determinación implíci-*

ta de esas nociones. El sistema de axiomas no determina de manera única los objetos considerados. Cada conjunto concreto de objetos matemáticos que verifique los axiomas constituye un *modelo* de la Geometría.

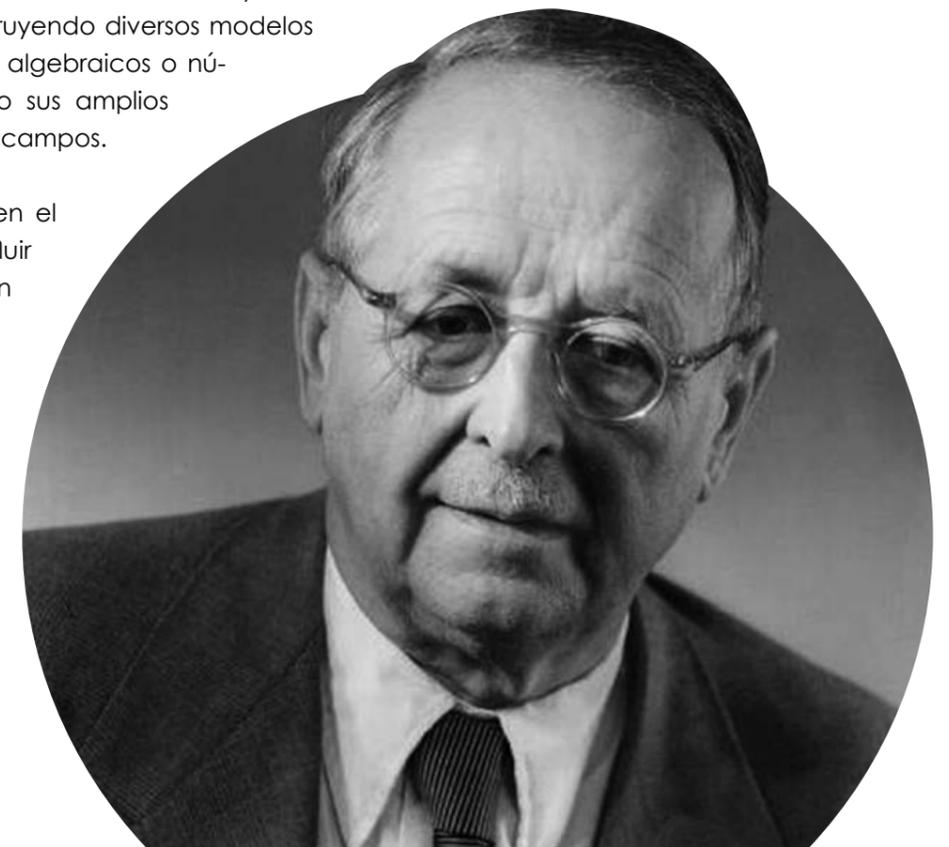
Los 20 axiomas que propone Hilbert están divididos en cinco grupos, según el tipo de propiedades que rigen: 8 de *Incidencia*, 4 de *Orden*, 5 de *Congruencia*, 2 de *Continuidad* y el *Axioma de las Paralelas*. Y tras exponer las distintas consecuencias de cada grupo de axiomas, Hilbert emprende una tarea totalmente original: el estudio de los problemas de *independencia* de los axiomas y su *consistencia* o ausencia de contradicción. Para ello utiliza sistemáticamente el método de *construcción de modelos*. Probar que el axioma X es independiente respecto al sistema de axiomas S significa que el sistema T, obtenido añadiendo a S la *negación* del axioma X, es consistente. Para ello, se construye un modelo (en una teoría más simple y segura) que verifica el sistema S de axiomas y la negación del axioma X. Así, la existencia de una contradicción en T implicaría una contradicción en las proposiciones obtenidas dentro del modelo construido, y por tanto en la teoría con la que se ha construido el modelo. De esta forma, Hilbert prueba la independencia de su sistema de axiomas y su consistencia (relativa), construyendo diversos modelos formados por números algebraicos o números reales, utilizando sus amplios conocimientos en esos campos.

Las ideas contenidas en el *Grundlagen* van a influir de manera decisiva en el devenir de la Matemática moderna. Citando a su discípulo y colega H. Weyl:

Hermann Weyl (1885-1955).

en.wikipedia.org

2. Es decir, geometrías en las que no se verifica el quinto postulado de Euclides o "axioma de las paralelas", una de cuyas versiones establece que por un punto exterior a una recta existe una y solo una recta que no corta a la dada (*paralela*). La geometría sobre una superficie esférica (interpretando las "rectas" o líneas de mínima distancia como los círculos máximos), claramente no satisface este axioma. El ejemplo no es del todo satisfactorio, pues esta geometría no satisface todos los axiomas de Euclides. Pero en el siglo XIX se construyeron ejemplos genuinos de geometrías que satisfacen todos los axiomas de Euclides, menos el de las paralelas.



Hilbert y los Fundamentos de la Matemática

"Las ideas generales (sobre consistencia e independencia) nos parecen hoy casi triviales, tanta ha sido su influencia en nuestro pensamiento matemático. Hilbert las estableció en un lenguaje claro e inconfundible y las incluyó en un trabajo que es como un cristal: un todo irrompible con muchas facetas. Sus cualidades artísticas han contribuido indudablemente a su éxito como una obra maestra de la Ciencia^G."

LA BÚSQUEDA DE LA CERTIDUMBRE

En el texto escrito de la Conferencia de París en la que Hilbert presentó su famosa lista de los 23 problemas que, en su opinión, debieran centrar la atención de los matemáticos del

siglo XX, comentando el problema número 2 ("compatibilidad de los axiomas de la aritmética"), dice:

"Estoy convencido de que es posible encontrar una demostración directa de la compatibilidad de los axiomas de la aritmética, por medio de un cuidadoso estudio y una modificación adecuada de los métodos de razonamiento en la teoría de números irracionales^D."

Evidentemente, Hilbert era por entonces demasiado optimista. Se puede especular que pensaba que la consistencia de la aritmética podía obtenerse construyendo modelos a partir de la teoría de conjuntos, que había adquirido un gran desarrollo desde los trabajos pioneros de G. Cantor (1845-1918).

Desgraciadamente, entre 1895 y 1905 aparecen una serie de *paradojas* en la teoría de conjuntos. Una de ellas en particular, la llamada *Paradoja de Russell*, iba a echar por tierra el monumental sistema lógico creado por F. L. G. Frege (1848-1925), considerado uno de los fundadores de la lógica simbólica. En efecto, Frege admitía que toda propiedad enunciable en el sistema definía un conjunto (el formado por los elementos que cumple esa propiedad; esta asunción había sido implícitamente aceptada por Cantor y todos sus seguidores). Si ahora consi-

"Las ideas contenidas en el *Grundlagen* van a influir de manera decisiva en el devenir de la Matemática moderna".

deramos la propiedad "no pertenecer a sí mismo"³ el conjunto U que definiría (conjunto de los conjuntos que no pertenecen a sí mismos) es en sí contradictorio: U pertenece a U si y solo si U no pertenece a U ⁴. El segundo volumen de la monumental obra de Frege *Die Grundgesetze der Arithmetik* ("las leyes básicas de la Aritmética") estaba en prensa cuando este recibió una carta de Russell en el que le comunicaba su paradoja. Frege tuvo que modificar su sistema axiomático, pero entonces muchos de los resultados del Volumen 1 quedaban en entredicho (y, por cierto, el sistema seguía siendo inconsistente, aunque Frege nunca lo supo). El caso es que Frege quedó tan afectado que nunca publicó el Volumen 3 e incluso reconoció al final de su vida que su intento de fundamentar la Aritmética en la Lógica estaba equivocado.

Este hecho supuso una llamada de atención para Hilbert. No se pueden dar por supuestas sin más las reglas de inferencia, como hizo en los *Fundamentos de la Geometría*. Es preciso explicitar completamente el sistema de axiomas y las reglas de inferencia subyacentes en la demostración matemática y probar además que este sistema completo es consistente. Por tanto, es necesario aplicar a la lógica el mismo tratamiento que al resto de las teorías. Este es un primer esbozo de lo que iba a ser conocido como *Programa de Hilbert*.

En el Congreso Internacional de Matemáticos de 1904 en Heidelberg, Hilbert enuncia un esquema de una prueba de la consistencia de la Aritmética basada en los supuestos anteriores. Se trata del primer intento para dar una demostración de consistencia basada en la *sintaxis* y no en la construcción de modelos más básicos.

3. Existen conjuntos que no tienen esa propiedad, como el de todas las ideas (que es una idea), y conjuntos que la tienen, como el de todas las sillas de una habitación (que no es una silla)
4. La versión semántica de esta paradoja es la conocida *paradoja del barbero*: En un pueblo, el barbero afeita a todos los hombres del pueblo que no se afeitan a sí mismos, y sólo a ellos. La pregunta es ¿quién afeita al barbero?

"La vuelta de Hilbert a los temas de fundamentos estaba motivada por la creciente aceptación de las teorías de Brouwer".

El trabajo fue duramente criticado por el gran matemático francés H. Poincaré.

Hilbert no respondió a las críticas de Poincaré, bien porque no tuviera clara la solución, bien porque por entonces estaba totalmente absorbido por la teoría de ecuaciones integrales.

El retorno de Hilbert al estudio de los fundamentos puede cifrarse en 1917, con la conferencia que

impartió en Zurich invitado por la Sociedad Matemática Suiza, titulada *El pensamiento axiomático*, que terminaba con una rotunda declaración: "Creo firmemente que todo lo que está sujeto al pensamiento científico cae bajo el poder del método axiomático y, por tanto, de la Matemática." Y a continuación esboza un programa para el estudio mismo del proceso de demostración en Matemáticas.

En gran parte, la vuelta de Hilbert a los temas de fundamentos estaba motivada por la creciente aceptación de las teorías de L. E. J. Brouwer (1881-1966), que incluso había seducido a uno de sus más queridos discípulos, H. Weyl. Brouwer tenía tras sí una importante obra en la *Matemática tradicional*. Pero ya en su Tesis, presentada en 1907, había defendido un punto



David Hilbert.

Hilbert y los Fundamentos de la Matemática



L. E. J. Brouwer (1881-1966).

en.wikipedia.org

so, que afirma que, dada una proposición A, o bien A es verdadera o su negación lo es (excluyendo una tercera posibilidad).

Desde Aristóteles este principio ha sido aceptado (y utilizado) por los matemáticos, y es el fundamento de la demostración por *reducción al absurdo*: Por ejemplo, si se supone que todos los enteros verifican una cierta propiedad P y de ahí obtenemos una contradicción, el principio del *tertio excluso* permite deducir que existe al menos un entero que no verifica la propiedad P. Para Brouwer esto no es aceptable, hasta que se dé una construcción efectiva y finitaria de tal entero. Desde el punto

de vista intuicionista, aceptar el principio del *tertio excluso* supone poder probar o refutar de forma efectiva toda proposición matemática. Por tanto, su rechazo supone también rechazar la tesis hilbertiana de que todo problema matemático tiene solución. Y esto era demasiado para Hilbert. Y a partir de 1922 se dedicó intensamente a reparar la tremenda mutilación que, a su juicio, supondría para las Matemáticas la aceptación de las tesis intuicionistas⁵. Así, Hilbert declara:

“Weyl y Brouwer intentan ofrecer una fundamentación de las Matemáticas que echa por la borda todo aquello que les resulta incómodo [...] Al seguir a tales reformadores, nos exponemos a perder una gran parte de nuestros más valiosos conceptos, resultados y métodos”. (Texto de la conferencia presentada en Hamburgo en 1922)^C.

de vista nada tradicional: para Brouwer, la Matemática es una actividad interior de la mente humana, que se transcribe al exterior por medio del lenguaje de la Lógica. Pero el uso automático y abusivo de las reglas de la lógica formal puede dar lugar a enunciados desprovistos de sentido y a paradojas. El lenguaje (formal o informal) no está lo suficientemente adaptado para expresar los experimentos mentales que realmente tienen lugar en el pensamiento matemático.

Para Brouwer, los objetos matemáticos se engendran por construcciones efectivas en un número *finito* (aunque arbitrariamente grande) de etapas, a partir de los números enteros positivos. En consecuencia, Brouwer y sus seguidores (la llamada *escuela intuicionista*) rechaza, por ejemplo, el principio lógico del *tertio exclu-*

Así que Hilbert se pone a la tarea de remediar esta situación:

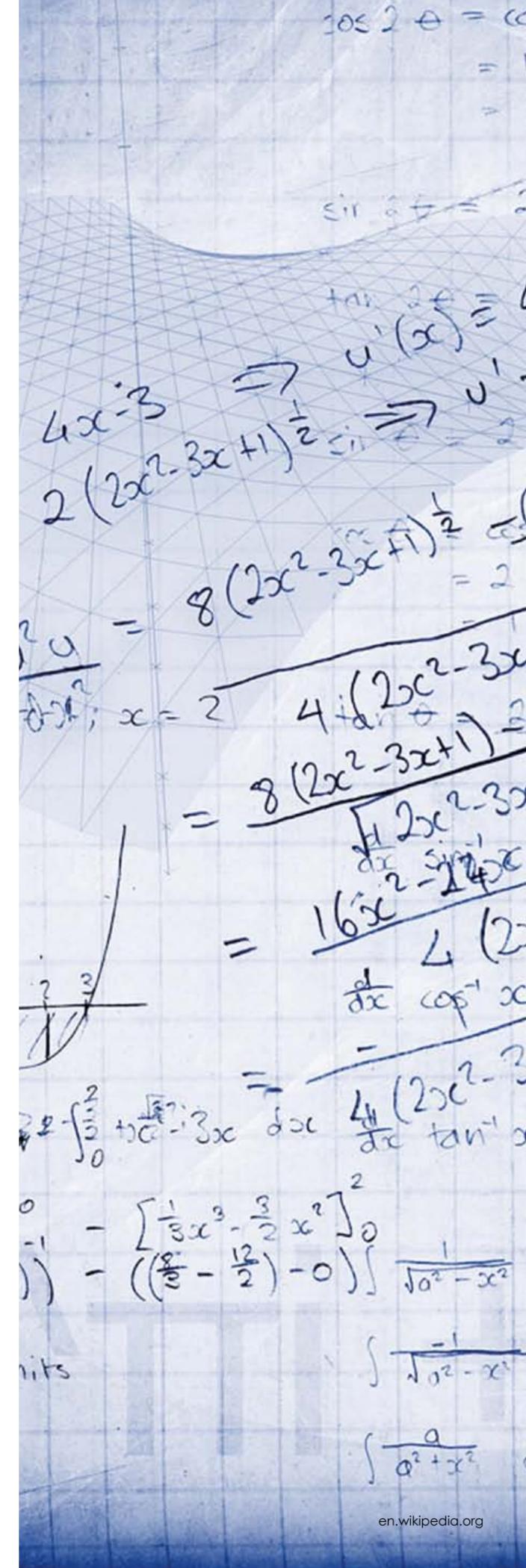
“Mis investigaciones acerca de los nuevos fundamentos de las Matemáticas tienen como propósito eliminar de manera definitiva cualquier duda en relación a la confiabilidad de la inferencia matemática [...] Una solución completa de estas dificultades requiere una teoría cuyo objeto de estudio sea la demostración matemática misma.” (Die logischen Grundlagen der Mathematik, Math. Annalen (1923), 151-165; traducción incluida en (ver C).

Lo que propone Hilbert con su Teoría de la Demostración (Beweistheorie) es...

“...dar una base firme y segura de las Matemáticas [...] que se convierten así en una especie de tribunal de suprema instancia para la evaluación y resolución de cuestiones de principio.” (Obra citada).

“Para Brouwer, los objetos matemáticos se engendran por construcciones efectivas en un número finito (aunque arbitrariamente grande) de etapas, a partir de los números enteros positivos”.

5. En una conferencia dictada en 1927 en la Universidad de Hamburgo, Hilbert dijo: expulsar el principio del *tertio excluso* de las Matemáticas es como si se quisiera prohibir al astrónomo utilizar el telescopio o al boxeador emplear sus puños.



Hilbert y los Fundamentos de la Matemática



Kurt Gödel (1906-1978).

francis.naukas.com

“El año siguiente [1930], un joven docente en la Universidad de Viena, K. Gödel (1906-1978) acababa con la esperanza de Hilbert”.

Para ello, Hilbert propone la *formalización* completa del sistema estudiado. Ello requiere, en primer lugar, explicitar el listado o *vocabulario completo* de signos que se va a emplear, junto con las *reglas de formación* de las expresiones válidas. A continuación, hay que especificar las *reglas de transformación* para pasar de una fórmula válida a otra. Finalmente, para comenzar la tarea, se seleccionan algunas expresiones válidas como *axiomas*. A partir de aquí, lo que pretende Hilbert es desarrollar una teoría de las propiedades combinatorias del lenguaje formal que permita hacer afirmaciones sobre una expresión determinada del sistema. Esta teoría la llamó Hilbert *meta-matemática*. Sus enunciados son pues afirmaciones sobre los signos del sistema formal y su disposición. La demostración de la consistencia de un sistema formal dado consistiría en probar, por enunciados metamatemáticos finitistas, que nunca puede obtenerse en el sistema una fórmula y su negación.

Los signos y fórmulas que aparecen en el proceso carecen, en principio, de un significado concreto, tienen un mero valor formal (de ahí el nombre de *programa*

formalista). Pero Hilbert sostiene que este juego de símbolos replica pensamientos que constituyen la práctica habitual de los matemáticos. Por tanto, no puede prescindirse nunca de las consideraciones obtenidas por la experiencia, esenciales para la elección *razonable* de los axiomas.

La larga trayectoria investigadora de Hilbert en tantos y tan diferentes campos de la Matemática y la Física muestra claramente que para él los problemas matemáticos *tienen* contenido y respuestas provistas de significado. Si llegó a propugnar una interpretación formalista de las Matemáticas fue porque estaba dispuesto a pagar ese precio a cambio de la certidumbre.

Hacia 1930 el Programa de Hilbert parecía bien encaminado, gracias a los esfuerzos del propio Hilbert y algunos de sus estudiantes, como W. Ackermann (1896-1962) y P. Bernays (1888-1977). En particular, se había podido demostrar la consistencia absoluta para el sistema de la Aritmética de los números naturales con la adición (aunque no con la multiplicación).

Sin embargo, el año siguiente, un joven docente en la Universidad de Viena, K. Gödel (1906-1978) acababa con la esperanza de Hilbert.

En un artículo que lleva el expresivo título de “*Sobre proposiciones formalmente indecidibles de Principia Mathematica y sistemas afines, I*” Gödel prueba que todo sistema formal (en el sentido del programa de Hilbert) consistente y que contenga a la Aritmética, es necesariamente *incompleto*, es decir, contiene enunciados legítimos del sistema que son *indecidibles*, esto es, ni su afirmación ni su negación son demostrables en el sistema ¡Y uno de esos enunciados es, precisamente, el que afirma la *consistencia* del sistema!

La primera reacción de Hilbert a los resultados de Gödel fue de enfado, porque los veía como un ataque frontal a su programa y, sobre todo, a su filo-

“La primera reacción de Hilbert a los resultados de Gödel fue de enfado, porque los veía como un ataque frontal a su programa y, sobre todo, a su filosofía de las Matemáticas”.

gsu2ddesign.blogspot.com



Hilbert y los Fundamentos de la Matemática

sofía de las Matemáticas. No obstante, el mismo Gödel había afirmado en su trabajo que su resultado no se oponía al Programa de Hilbert, aunque más adelante no se mostró tan contundente al respecto. Lo que está claro es que los resultados de Gödel supusieron un golpe demoledor para el programa de Hilbert en su versión original. La Matemática clásica podía ser consistente (y probablemente lo era); pero su consistencia no podía ser establecida por los métodos finitarios propuestos por Hilbert.

La confianza ilimitada de Hilbert en el poder del pensamiento humano hizo que pronto comenzara a buscar soluciones al sentimiento de frustración que le provocó los resultados de Gödel.

Por un lado, tanto Hilbert como algunos de sus discípulos entendían que la idea de *demonstración finitaria* del programa original no coincidía con las restricciones impuestas por los trabajos de Gödel. En otro orden de cosas, G. Gentzen (1909-1945), un alumno de Hilbert, logró probar

en 1936 la consistencia de la Aritmética y distintas partes del Análisis utilizando un proceso de inducción transfinita sobre cierta clase de ordinales. Este y otros resultados indicaban la posibilidad de conseguir el objetivo propuesto inicialmente por el programa debilitando adecuadamente las restrictivas hipótesis impuestas a los métodos de demostración.

Hilbert todavía se dedicó intensamente al problema de los fundamentos, y también se interesó vivamente por los nuevos descubrimientos en Mecánica Cuántica. Pero realmente ya no tenía el vigor de antaño. Poco a poco, fue perdiendo memoria, creatividad e incluso interés por las Matemáticas. En 1939 Alemania invadió Polonia y estalló la Segunda Guerra Mundial. Ello significó un nuevo éxodo para los estudiantes y profesores jóvenes que aún permanecían en Gotinga. En 1942, con motivo de su 80 cumpleaños, la Academia de Berlín decidió otorgar un premio especial a Hilbert. El mismo día de la votación del premio, Hilbert se cayó en la calle y se rompió un brazo. A resultas del accidente, surgieron una serie de complicaciones que motivaron su muerte el 14 de febrero de 1943. Poco más de una docena de personas atendieron a su funeral. De Munich vino uno de sus más antiguos amigos, Arnold Sommerfeld (1868-1951), quien pronunció unas palabras glosando el trabajo de Hilbert. En su lápida se grabaron las palabras que había pronunciado en una conferencia que pronunció en Königsberg con motivo de su nombramiento de hijo predilecto de su ciudad natal:

Wir Müssen wissen. Wir werden wissen.
(Debemos saber. ¡Sabremos!)

Fernando Bombal

Universidad Complutense de Madrid
Real Academia de Ciencias

REFERENCIAS:

- A. Almira J. M. y Sabina J. C. de Lis, *Hilbert, Matemático fundamental*. Ed. Nivola, 2007.
- B. F. Bombal, *Paradojas y rigor: la historia interminable*. Discurso leído en el acto de recepción como académico de número de la RAC. Madrid, 2006. ISBN 978-84-611-7339-6
- C. Hilbert D., *Fundamentos de las Matemáticas*. Selección de varios trabajos de Hilbert por Carlos Álvarez y Luis Felipe Segura. Colección Mathema. Servicios editoriales de la Facultad de Ciencias de la UNAM, México 1993.
- D. Hilbert D., *Mathematical Problems*. Bull. Of the American Mathematical Society, 8 (1902), 437-479 (Versión en inglés, autorizada por Hilbert, del original aparecido en *Göttinger Nachrichten* en 1900 y en *Archiv der Mathematik und Physik*, 1 (1901), pp. 44-63 y 213-237).
- E. Hilbert D., *Les Fondementgs de la Géométrie*. Edición crítica de la versión alemana, preparada por Paul Rossier. Dunod, 1971.
- F. Reid C., *Hilbert*. 2ª edición. Springer Verlag, New York, 1972.
- G. Weyl H., *David Hilbert and his mathematical work*. Bull. of the American Mathematical Society, 50 (1944), 612-654.



Tumba de Hilbert en su ciudad natal.

en.wikipedia.org

Ya disponible...

La nueva publicación de la
Facultad de Ciencias.

BOTÁNICA

~ ARS NATVRÆ ~



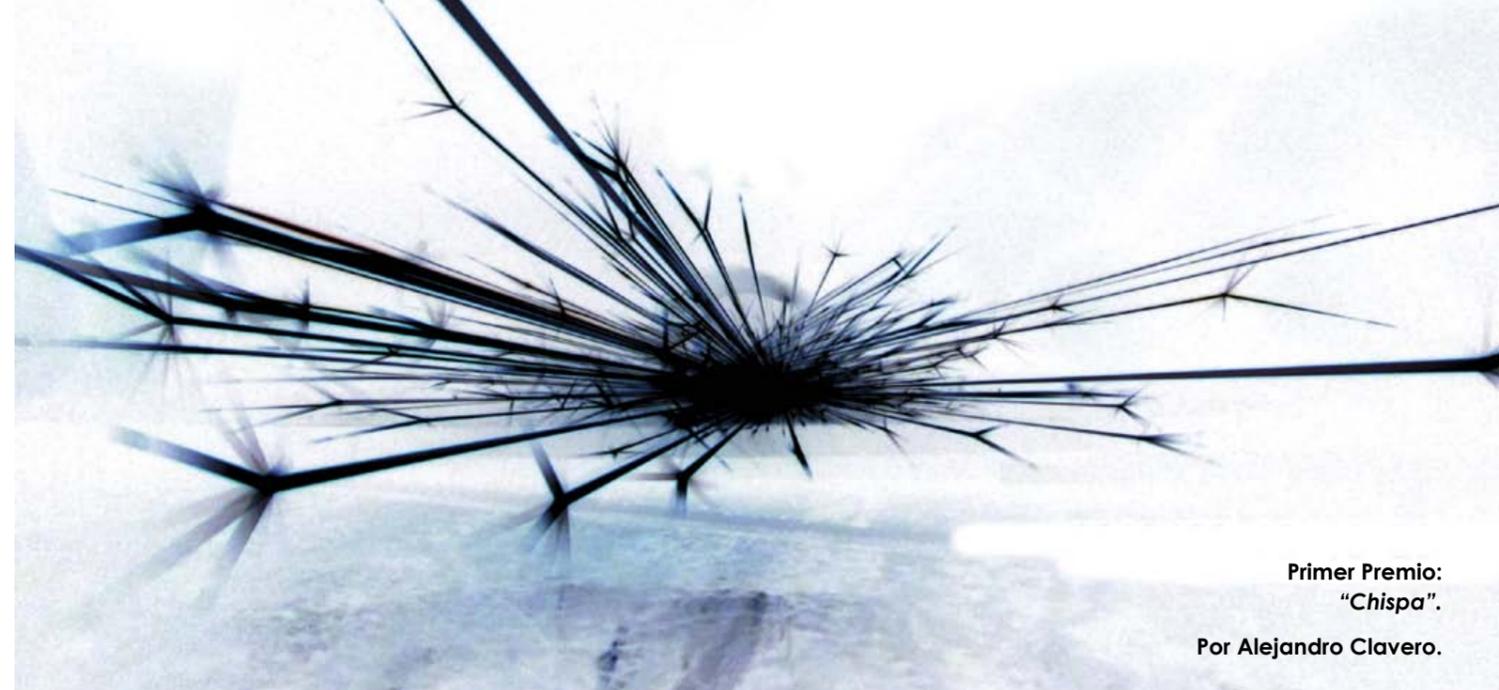
Premio San Alberto Magno de fotografía

El pasado mes de noviembre se convocó una nueva edición del premio de fotografía San Alberto Magno gracias a un acuerdo de colaboración con la Cátedra de Divulgación Científica José M^o Savirón y la Facultad de Ciencias. Este concurso se ha convertido en una cita fija para todos aquellos amantes de la fotografía que intentan aportar una visión artística sobre la Ciencia.

La calidad de las obras presentadas esta edición volvió a mostrar un nivel excelente, haciendo difícil para el jurado la elección de las imágenes premiadas. En este jurado, además de miembros de la comunidad universitaria, formaban parte destacados nombres del mundo artístico de la ciudad, en particular, el ámbito de la fotografía estuvo representado, una vez más, por Julio Álvarez, director de la Galería SPECTRUM. El jurado valoró la originalidad, calidad artística y técnica y contenido científico de las obras presentadas.

Alejandro Clavero, estudiante del grado de Físicas, fue el ganador de esta edición con "Chispa" y quiso mostrar «cómo la Física nos permite acercarnos a eventos efímeros y prácticamente invisibles desde ángulos nuevos». Montó un condensador electrolítico cortocircuitado y con una exposición prolongada en un cuarto oscuro, atrapó esta chispa que posteriormente monocromó y realzó digitalmente. «Pueden verse pedazos de metal incandescentes arrancados por la descarga del condensador, algunos llegan a fragmentarse en pleno recorrido, produciendo estelas secundarias con ángulos relacionados con la masa de los fragmentos resultantes».

Una instantánea muy diferente en concepto y colorido obtuvo el segundo premio, "Sinapsis", en la que Ana Serrano, profesora del departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación y licenciada en Bellas Artes, logró capturar el movimiento ondulatorio del agua. «Las uniones entre las ondas planteaban un movimiento similar



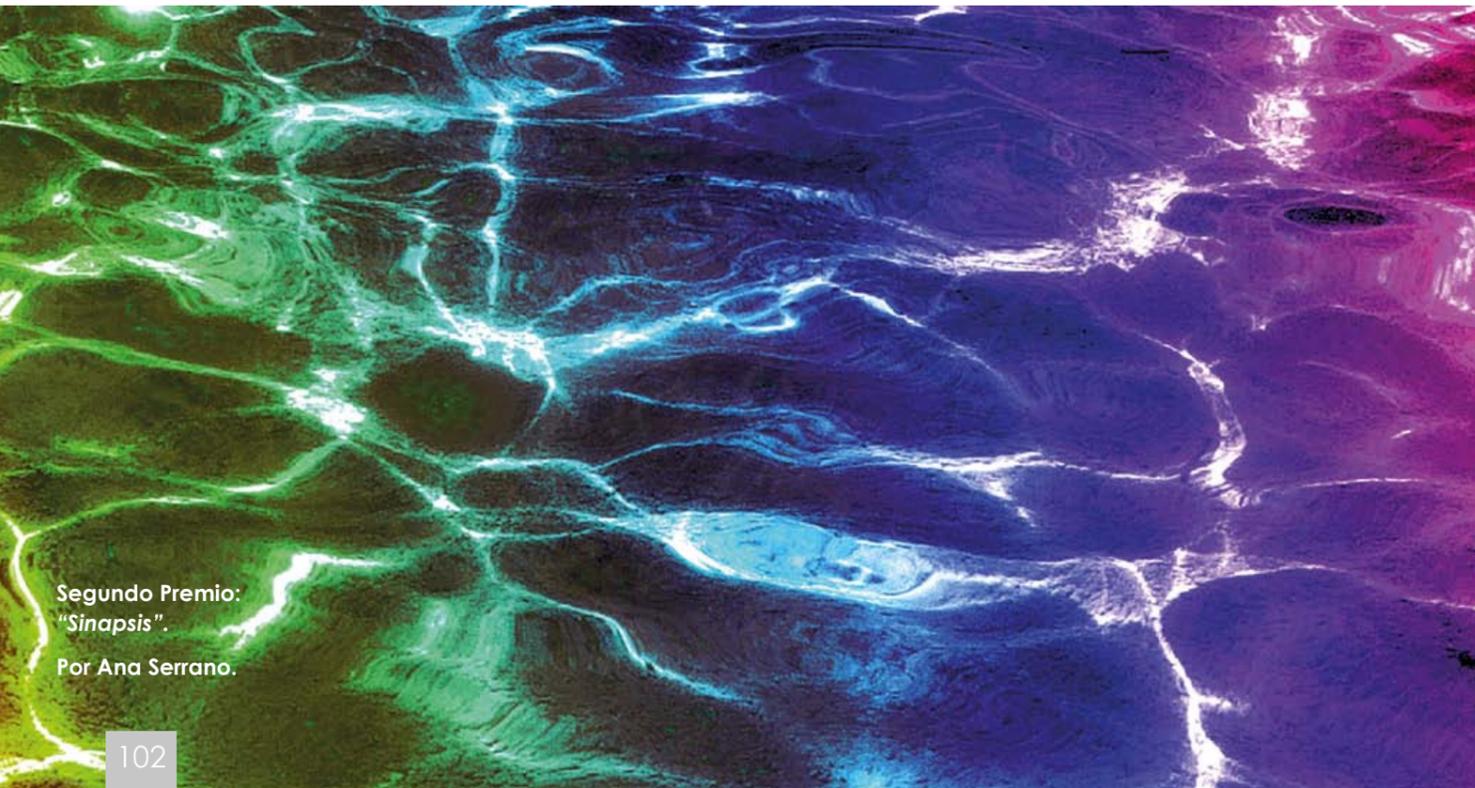
Primer Premio:
"Chispa".
Por Alejandro Clavero.

"La calidad de las obras presentadas esta edición volvió a mostrar un nivel excelente".

al que había visto en otras ocasiones, reproduciendo redes neuronales. Con la presencia de los colores, quise representar la actividad cerebral», señala la autora de la imagen ganadora.

Miguel Martín, que estudió Ingeniería Informática en el Centro Politécnico Superior, consiguió el tercer premio del certamen con la obra: "Otras escalas, otros mundos: dentro de una flor", con la que pretendía expresar que «a escalas que no podemos apreciar a simple vista existen mundos que la mayoría ignoramos».

Los premios fueron entregados el pasado 14 de noviembre en el acto en honor a San Alberto.



Segundo Premio:
"Sinapsis".
Por Ana Serrano.



Tercer Premio:
"Otras escalas, otros mundos:
dentro de una flor".
Por Miguel Martín.

Alberto Galindo Texaire, nuevo miembro del Senatus Científico

El pasado 30 de octubre se llevó a cabo el nombramiento de Alberto Galindo Texaire, como Miembro Honorario del Senatus Científico de la Facultad de Ciencias.

Alberto Galindo (Zaidín, Huesca, 1934) ha sido uno de los físicos teóricos pionero de la Física Teórica en España, contribuyendo sustancialmente a la modernización de la enseñanza de la Física. En Zaragoza cursó estudios universitarios en Ciencias Exactas, siendo premio extraordinario de licenciatura y Nacional Fin de Carrera en 1957. Trabajó, a continuación, en la Junta de Energía Nuclear y fue becado por la Agencia Internacional de Energía Atómica para trabajar en Nueva York. Un año después, pasó como investigador al CERN de Ginebra, obteniendo el doctorado en Madrid en 1960.

Con tan sólo 28 años fue responsable de la cátedra de Física Matemática de la Universidad de Zaragoza, y a partir de 1967 de la de Física Teórica en Madrid. En 1968 es cofundador y primer director del Grupo Interuniversitario de Física Teórica (GIFT), y en 1977 es elegido numerario de la Real Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de la que actualmente es Presidente, como lo había sido en 1966 de la de Zaragoza y en 2011 de la Real Academia Nacional de Medicina. Es miembro del

primer Scientific Council del Erwin Schrödinger International Institute of Mathematical Physics, Viena.

Autor de 200 trabajos de investigación y de más de una veintena de libros y monografías, entre los que destaca su decisiva Mecánica Cuántica.



Alberto Galindo Texaire durante el acto de su nombramiento en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Imagen de Miguel Ángel Domingo.



Entre los premios y distinciones recibidas destaca la Medalla de Física de la Real Sociedad Española de Física y Química (1970), el Premio Nacional de Investigación en Física (1977), el Premio Nacional de Investigación "Ramón y Cajal" (1985) y el Premio Aragón a la Investigación Científico-Técnica (1991).

Durante el acto tuvo lugar la conferencia de ingreso "25 siglos de gravitación", por parte del nuevo miembro del Senatus Científico. Esta conferencia inauguró el ciclo homenaje al centenario de la presentación de la Teoría de la Relatividad General.

El homenajeado durante su intervención (arriba) y fotografía de familia (abajo).

Imágenes de Miguel Ángel Domingo.

"Alberto Galindo ha sido uno de los físicos teóricos pionero de la Física Teórica en España".

Presentación del libro *Botánica: Ars Naturae*

El pasado 14 de noviembre se presentó el libro **BOTÁNICA: ARS NATURAE**. En él se recoge una selección de los murales antiguos de la Facultad de Ciencias, utilizados en la enseñanza de la Biología a finales del siglo XIX y comienzos del XX, y que se encuentran expuestos en la Facultad de Ciencias bajo el epígrafe Botánica: Murales Antiguos.

Desde el año de su fundación, en 1868, la Facultad de Ciencias ha sido un referente en generación de conocimiento científico y la depositaria del trabajo de muchas generaciones. También lo es de otros tesoros más tangibles y que constituyen un testimonio real de dicha actividad científica y docente desde sus inicios.

Uno de estos tesoros ha sido el descubrimiento de una extensa e importante colección de láminas o murales antiguos utilizados para la docencia de la Ciencia a finales del siglo XIX y comienzos del XX. Se trata de cromolitografías sobre planchas de zinc o aluminio que fueron impresas alrededor de 1897 y 1910 en Alemania y Francia. El valor histórico es doble, porque constituyen un testimonio de la pedagogía y enseñanza de la Ciencia, y de los procesos de impresión gráfica y su evolución desde finales del siglo XVIII hasta mitad del siglo XX. Una selección de estos murales constituye la colección BOTÁNICA. Una selección de estos murales constituye la colección BOTÁNICA. Su conservación en nuestra Facultad se debe a los profesores Cruz Rodríguez (†), M^a Pilar Laguía (†) y M^a Luisa Peleato del Departamento de Bioquímica y Biología Molecular y Celular.

En este libro, los murales se presentan agrupados en las categorías de flores ornamentales, flores de árboles, flores cultivadas y flores silvestres, permitiendo observar la belleza que encierran estas piezas, que aúnan ciencia, didáctica y arte.

Intervinieron en su ejecución: dibujantes, ilustradores naturalistas e impresores, conocedores de la química y del color. Estas láminas se encuentran acompañadas de una descripción minuciosa pero sencilla de las especies botánicas mostradas en las mismas.

También el lector puede conocer los principios básicos de las técnicas gráficas

Uno de los murales de la colección.

Imágenes de la Facultad de Ciencias.



litográficas utilizadas en la elaboración de estos murales (cromolitografías sobre planchas de zinc o aluminio, e impresos alrededor de 1897 y 1910 en Alemania y Francia) así como el contexto histórico en el que se desarrollaron.

En este recorrido temporal se aprecia con claridad cómo el arte de la ilustración supuso una herramienta fundamental para la Ciencia, especialmente para la Botánica, al poder ilustrar especies, tanto populares como menos conocidas, permitiendo una mejor divulgación del conocimiento científico.



Premio José María Savirón de Divulgación Científica

El pasado 27 de noviembre tuvo lugar el fallo de la VIII edición del PREMIO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA JOSÉ MARÍA SAVIRÓN.

Desde el año 2005, la Sección Territorial en Aragón de la Real Sociedad Española de Química, la Sección Aragonesa de la Real Sociedad Española de Física, la Real Sociedad Matemática Española, los Colegios Oficiales de Químicos, de Geólogos y de Físicos en Aragón, la Fundación Zaragoza Ciudad del Conocimiento, la Real Academia de Ciencias de Zaragoza, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Aragón, la Cátedra de Divulgación Científica José María Savirón y la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza han

instaurado, con carácter anual, el Premio José María Savirón de Divulgación Científica como reconocimiento a la labor de personas o instituciones que dedican un importante esfuerzo por acercar los conocimientos científicos a la sociedad.

El premio tiene dos modalidades, una de ámbito nacional y otra autonómica. En esta octava edición el jurado fue presidido por Guillermo Fatás.

El galardón en su modalidad "Ámbito Nacional" fue concedido ex aequo a la Fundación Dinópolis y a Gabriel Pinto. A la Fundación Dinópolis por su destacada, extensa y variada labor divulgativa de las Ciencias de la Tierra y en

particular de la Paleontología, presentando una intensa actividad orientada tanto a escolares como al público en general (rutas, itinerarios, jornadas paleontológicas, exposiciones). Esta candidatura fue presentada por el Colegio Oficial de Físicos en Aragón y la Sección Local en Aragón de la Real Sociedad Española de Física. Y a Gabriel Pinto, presentado por la Real Sociedad Española de Química, la Real Sociedad Española de Física y la Sociedad Internacional para la Enseñanza de la Química en primeros cursos universitarios, por su larga y notable labor divulgativa de la Ciencia, en particular de la Química, a través de herramientas educativas, libros, artículos y conferencias.

El galardón en su modalidad "Comunidad Autónoma de Aragón" fue concedido al Taller de Talento Matemático por su larga y notable labor divulgativa de las Matemáticas, con formatos originales y atractivos, contribuyendo a aumentar la

**Fundación Dinópolis
recogiendo el galardón.**

Imagen de Miguel Ángel Domingo.



Taller de talento Matemático mostrando el galardón.

Imagen de Miguel Ángel Domingo.



“El galardón en su modalidad *Ámbito Nacional* fue concedido ex aequo a la Fundación Dinópolis y a Gabriel Pinto”.

Gabriel Pinto mostrando el galardón.

Imagen de Miguel Ángel Domingo.

cultura y las vocaciones científicas a través del trabajo conjunto de profesores de enseñanza secundaria y universitaria.

Esta candidatura fue presentada por la Real Sociedad Matemática Española, la Sociedad Aragonesa “Pedro Sánchez Ciruelo” de Profesores de Matemáticas, la Asociación Aragonesa de altas Capacidades Sin Límites, el departamento de Matemáticas de la Universidad de Zaragoza, el Instituto Universitario de Matemática Aplicada, el AMPA del IES Miguel Servet y la Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana.

En el acto de entrega, el pasado 11 de marzo, participaron Jose Antonio Mayoral, Vicerrector de Profesorado de la Universidad de Zaragoza, Dolores Serrat, Consejera de Educación, Luis Oriol, Decano de la Facultad



de Ciencias, Miguel Ángel García, Director General de Investigación e Innovación del Gobierno de Aragón, Ricardo Cavero, Director General de Ciencia y Tecnología del Ayuntamiento de Zaragoza, Ana Isabel Elduque, Directora de la Cátedra de Divulgación José M^o Savirón y Concepción Aldea, Secretaria del jurado de la VIII edición del premio. Sus intervenciones coincidieron en la consolidación y proyección de este galardón a lo largo de los diez años desde su constitución.

Felicitemos a los premiados y a todos los participantes. Esta edición ha contado con un elevado número de candidatos, todos ellos merecedores del galardón. ¡Enhorabuena!

Fotografía de familia.

Imagen de Miguel Ángel Domingo.

“El galardón en su modalidad *Comunidad Autónoma de Aragón* ha sido concedido al Taller de Talento Matemático por su larga y notable labor divulgativa de las Matemáticas”.

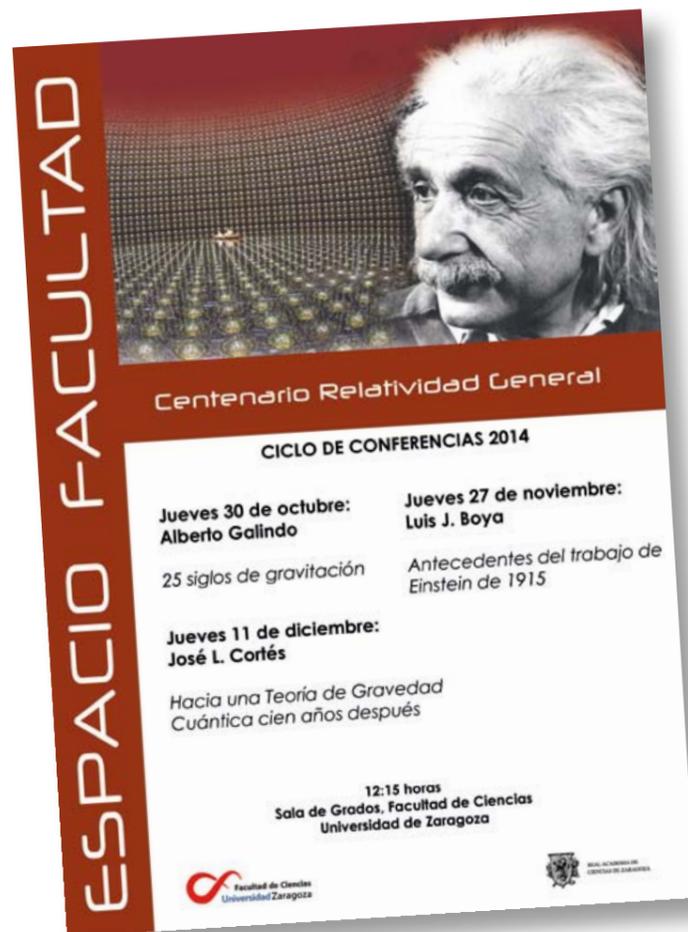
Espacio Facultad, Centenario de la Teoría de la Relatividad General

El pasado 30 de octubre se inició, en la Facultad de Ciencias, el ciclo de conferencias en homenaje al centenario de la presentación de la Teoría de la Relatividad General de Albert Einstein.

El encargado de impartir la charla fue el profesor Alberto Galindo Tixaire, que acababa de ingresar en el Senatus Científico de la Universidad de Zaragoza. La conferencia llevaba el título "25 siglos de gravitación".

A esta conferencia le siguió "Antecedentes del trabajo de Einstein de 1915" a cargo de Luis J. Boya, donde se repasaron los antecedentes de la Teoría de la Relatividad General, basados en la Relatividad Especial (Einstein, 1905) y en la Teoría de la Gravitación de Newton. También se repasaron ideas claves como el principio de equivalencia, "El pensamiento más feliz de mi vida", como lo bautizó el propio Einstein, y el hecho de describir la gravitación geométrica como una curvatura del espacio-tiempo.

Después de cien años de la teoría relativista de la gravitación (relatividad general) y de la mecánica cuántica seguimos sin resolver el problema de identificar la teoría relativista cuántica de la gravitación. José Luis Cortés con su charla: "Hacia una Teoría de Gravedad cuántica cien años después" presentó el problema desde diferentes perspectivas y posibles caminos hacia su solución en el futuro.



Cartel del ciclo.

Imagen de la Facultad de Ciencias.

Puentes de comunicación con nuestros

ANTIGUOS ALUMNOS



Inscripción Antiguos Alumnos

Contacto Traducción Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza (Pedro Cerbuna 12, 50009 ZARAGOZA-ESPAÑA) Diseño y desarrollo MásterBD1

Si eres Antiguo Alumno...
¡INSCRÍBETE EN NUESTRA WEB!

<http://ciencias.unizar.es/web/antiguosInicio.do?perfil=antiguos>

SEMANA DE INMERSIÓN EN CIENCIAS

2 0 1 5



Si eres alumno de 4º de ESO Y 1º de Bachillerato...

Quieres conocer la Facultad de Ciencias...

Y compartir con nuestros profesores e investigadores su trabajo...

*¡Apúntate a la Semana de Inmersión
en Ciencias 2015 y descubre un
mundo apasionante!*



Del 15 al 19 de junio
Para alumnos de
4º de ESO y
1º de Bachillerato

Más información:

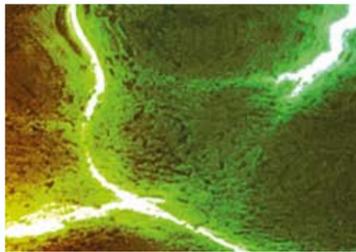
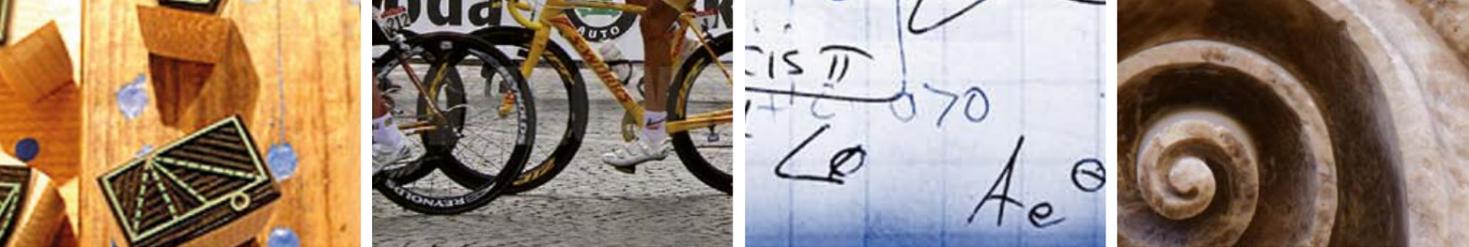
[ciencias.unizar.es/web/
inmersionCiencia.do](http://ciencias.unizar.es/web/inmersionCiencia.do)

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

C/ Pedro Cerbuna 12
50009 Zaragoza
976 761295

ciencias.unizar.es/web





Artículos publicados en conCIENCIAS

Nº 1 conCIENCIAS. Descubre la revista de tu Facultad.

- Olimpiada Matemática. Elduque A. (10)
- III Olimpiada Española de Biología. Fase Aragón. Peña R. (11)
- XXI Olimpiada Química 2008. Palacián S. (12)
- Fase Aragonesa de la XIX Olimpiada Española de Física. Martínez J. P. (13)
- La biblioteca de la nueva sociedad. Soriano R. (24)
- Presentación del Senatus Científico. Elduque A. I. (42)
- Agua y Vida. Sancho J. (44)

Nº 2 conCIENCIAS. El Cosmos, la Tierra, el Hombre y la Vida.

- Fósiles del universo primitivo. Sarsa M. L. y García E. (6)
- Proyecto SSETI. Marín-Yaseli J. (14)
- 2008, Año Internacional del Planeta Tierra. Meléndez A. (16)
- Día de la Tierra en la Facultad de Ciencias. Simón J. L. (26)
- Las edades de la Tierra. Liñán E., Gámez J. A. y Dies M. E. (28)
- Dinosaurios, meteoritos, cambio climático y extinciones. Canudo J. I. (36)
- El hombre de Atapuerca del siglo XXI. Cuenca G. (42)
- ¿Qué es la vida?. Usón R. (54)
- Vida extraterrestre. Boya L. J. (56)
- Vida y geología. Sánchez Cela V. (64)
- Impresiones sobre mi vida científica. Núñez-Lagos R. (70)

Nº 3 conCIENCIAS. 2009: DARWIN, ASTRONOMÍA, CRISIS Y...

- Biología del Cáncer. Boya L. J. (6)
- Origen del oxígeno atmosférico terrestre. Sánchez Cela V. (16)
- Darwinismo: la evolución selectiva. Amará J. (22)
- Curiosidades sobre Darwin. M. L. Peleato (32)
- 2009: Año Internacional de la Astronomía. Virto A. (38)
- Planetas y exoplanetas I. Elípe A. (46)
- Continente con contenido. Elduque A. I. (54)
- El Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza. Liñán E. (58)
- ¿Está la Ciencia en crisis?. Sesma J. (66)
- ¿Crisis en matemáticas?. Garay J. (70)
- Premio Don Bosco. Rubio M. (76)
- Premio J.M. Savirón de Divulgación Científica. Carrión J. A. (84)

Nº 4 conCIENCIAS. LA CIENCIA: UN ESPACIO PARA TODOS.

- El aceite de oliva, un reto para los científicos. de la Osada J. (6)
- La renovación del paisaje. García Novo F. (12)
- La magia de las astropartículas. Cuesta C., Pobes C. y Sarsa M. L. (28)
- Planetas y exoplanetas II. Elípe A. (32)
- El Universo desde Javalambre. Moles M. (38)
- Mi despacho. Echenique P. (56)
- Matemáticas, ¿puras o aplicadas?. El caso de la geometría proyectiva. Etayo F. (62)
- Vigencia y actualidad de la Teoría de la Evolución. de Azcárraga J. A. (74)
- ¡Arde la Facultad!. Álvarez A. (96)
- La nueva Ley de Ciencia y Tecnología. Elduque A. I. (102)
- Espacio Europeo de Educación Superior. Artal E. (114)

Nº 5 conCIENCIAS. CRISIS. ¿QUÉ CRISIS? LA CIENCIA ANTE EL NUEVO MILENIO.

- Los glaciares del Pirineo Aragonés: una singularidad de gran valor. del Valle J. (6)
- 2010: Año Internacional de la Biodiversidad. Martínez Rica J. P. (16)
- Geometría de la ciudad. Sorando J. M. (30)
- El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva. Vicente J. M. (40)
- ¿Error o incertidumbre?. Núñez-Lagos R. (54)
- Biología olímpica. Peña R. (68)
- Formación para el empleo y encuentro con la empresa. Sarsa M. L. (78)
- El reto que viene: sociedad, ciencia y periodismo. Sabadell M. A. (84)
- Historia de unos libros viajados. Elduque A. I. (94)
- El LHC llega a Zaragoza. Virto A. (98)





Nº 6 conCIENCIAS. ¿CIENCIAS?, ¿HUMANIDADES?... ¡CULTURA!

- El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la tierra.** Alegret L., Arenillas I. y Arz J. A. (6)
La Ciencia en la Zaragoza del siglo XI. Corral J. L. (14)
Hablando de... Química. Elduque A. I. (24)
Consecuencias del fuego en los paisajes mediterráneos. Eceverría M., Pérez F., Ibarra P. y de la Riva J. R. (32)
Un personaje singular en la historia de meteorología: Benjamin Franklin. Uriel A. E. y Espejo F. (44)
El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva (II). Vicente J. M. (52)
La radiactividad. Lozano M. y Ullán M. (64)
Peregrinaje matemático en el camino de Santiago. Miana P. J. (76)
A las puertas de 2011: Año Internacional de la Química. Carreras M. (84)

Nº 7 conCIENCIAS. Ciencia, pensamiento y... MUCHA QUÍMICA.

- ¿Cómo se puede explicar el altruismo humano?.** Soler M. (6)
Nanoseguridad: confrontando los riesgos de la Nanotecnología. Balas F. y Santamaría J. (16)
Algunas reflexiones alrededor de nuestra Química. Elguero J. (26)
El hidrógeno como combustible. Orera V. M. (42)
Una visión de la Química desde la empresa. Villarroja J. (54)
Maya o Shogun. Pétriz F. (58)
La ética profesional de los docentes y los sistemas de evaluación. Elduque A. I. (62)
La Isla Decepción: un volcán activo bajo el hielo antártico. Gil A., Gil I., Maestro A., Galindo J. y Rey J. (76)
La profesión del químico. Comenge L. y Palacián S. (88)
Modelización y simulación. La asignación alfabética de apellidos. Cruz A. (100)
Conocer, tras ver, para actuar: la componente matemática. Díaz J. I. (110)

Nº 8 conCIENCIAS. ARTE Y CIENCIA: LA ESTÉTICA DEL CONOCIMIENTO.

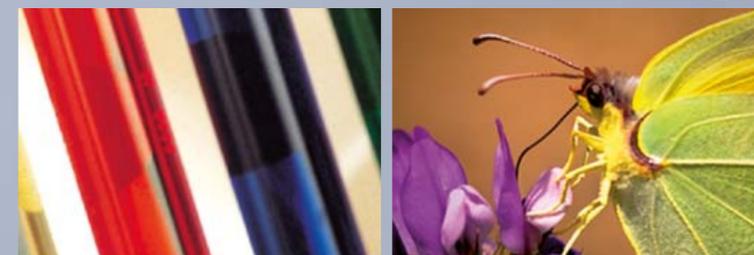
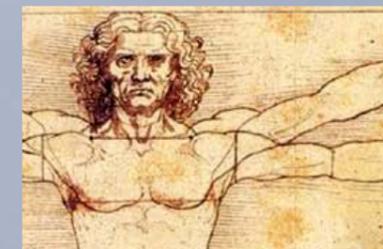
- El cambio climático.** Uriel A. (6)
Metales en Medicina. Laguna A. y Gimeno M^o C. (16)
Ibones del Pirineo aragonés: lagos glaciares entre agrestes montañas. del Valle J., Arruebo T., Pardo A., Matesanz J., Rodríguez C., Santolaria Z., Lanaja J. y Urieta J. (30)
Leer el periódico con ojos matemáticos. Ibañez R. (48)
AMS-02: la odisea de un detector de rayos cósmicos. Aguilar M. (58)
Arte y Ciencia: la invención de la litografía. Pagliano S. (76)
El legado del Año Internacional de la Química. Elduque A. I. (92)
Los microRNA: pequeñas moléculas, grandes reguladoras. Lizarbe M^o A. (98)
IMAGINARY, una mirada matemática. Artal E., Bernués J. y Lozano Imízcoz M^o T. (110)
El túnel subterráneo de Canfranc: 25 años apasionantes. Villar J. A. (116)

Nº 9 conCIENCIAS. NUEVOS TIEMPOS, RETOS DESCONOCIDOS.

- Tras las huellas de los dinosaurios.** Canudo J. I. (4)
Larga vida a la superconductividad. Camón A., Mazo J. J. y Zueco D. (16)
Marte en lontananza. Díaz-Michelena M. (26)
Y la Medicina se hizo Ciencia, ¿o no? . Gomollón F. (38)
Marie Curie: Ciencia y Humanidad. Román P. (48)
Iberia cartesiana. Boya L. J. (62)
Tiempos nuevos. Elduque A. I. (72)
Homenajes a la Ciencia en Zaragoza. Sorando J. M. (84)

Nº 10 conCIENCIAS. UN ANIVERSARIO PARA MEDITAR.

- Estética, creatividad y Ciencia.** Franco L. (4)
Reflexión sobre principios de la divulgación científica. Mira J. (16)
Terremotos y tsunamis. González A. (24)
El día más largo de mi vida. Pobes C. (38)
Zaragoza matemática. Sorando J. M. (52)
La Responsabilidad Social de la información (bio)química. Valcárcel M. (72)
Un aniversario para meditar. Elduque A. I. (84)
Claves para la excelencia universitaria: pasado y futuro inmediato del Campus Íberus. López Pérez M. (94)
Una vieja historia para el Cincuentenario del Edificio de la Facultad de Ciencias. Carrión A. (102)
El emblema histórico de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. Bernués J. y Rández L. (108)
Ramanujan: un matemático ejemplar para todos. López Pellicer M. (114)





Nº 11 conCIENCIAS. CIENCIA: EL CAMINO SIN FIN

- Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista.** Román, P. (4)
- La Prevención de Riesgos en Laboratorios de Química.** Blein, A. (20)
- El origen de la teoría cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913.** Boya, L. J. (50)
- Másteres: pasado, presente y futuro.** Elduque, A.I (66)
- Estancias de verano para estudiantes.** Bolsa, M. (78)
- El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima.** Bruschi, V., Bonachea, J. Remondo, J., Forte, L. M., Hurtado, M. y Cendrero, A. (42)

Nº 12 conCIENCIAS. ERÁSE UNA VEZ LA CIENCIA

- Matemáticas y Música.** Garay, J. (4)
- La Ciencia vista por un hombre de letras.** Arce, J. (14)
- Los comienzos de la era nuclear.** Núñez-Lagos, R. (30)
- Einstein en Zaragoza.** Turrión, J. (46)
- Entendiendo la Estadística: modelos, controversias e interpretaciones.** Cristóbal, J. A. (60)
- ¿Hay alguien ahí afuera?** Elduque, A. I.
- Leiden: lecciones de Ciencia y Universidad.** Bartolom, F. (96)
- La Matemática desde Zaragoza.** González, S. (106)

Nº 13 conCIENCIAS. LA CIENCIA Y SU IMPORTANCIA SOCIAL

- Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra.** Román, P. (4)
- Los asesinos del sistema inmunitario.** Anel, A., Martínez-Lostao, L. y Pardo, J. (22)
- Biología: breve biografía de una disciplina emergente.** Mendivil, J. L. (30)
- Polímeros: de macromoléculas a materiales.** Piñol, M. y Oriol, L. (46)
- Geología para una Nueva Cultura de la Tierra.** Simón, J. L. (64)
- La reforma que nos va a llegar.** Elduque, A. I. (76)
- Espirales en la naturaleza: una incursión en la Biomatemática recreativa.** Gasca, M. (88)

Nº 14 conCIENCIAS. OBJETIVO: SABER

- El día que el universo creció enormemente.** Martínez, V.J. (4)
- Baade y Zwicky, la extraña pareja.** Pérez Torres, M. (14)
- Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad.** Bartolomé, F. (22)
- La Colección de Minerales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza.** Calvo, M. (42)
- El último ser vivo.** Sabadell, M.A. (56)
- 35 años del Seminario Rubio de Francia.** Alfaro, M. (66)
- ¿Es 4+1 igual a 3+2?** Elduque, A. I. (82)
- IAESTE: un puente hacia el mundo laboral.** Rísquez, E. y Garzo, R. (94)
- ¿Estás preparado para trabajar en el extranjero?** Gracia, G. y Sarsa, M. (102)

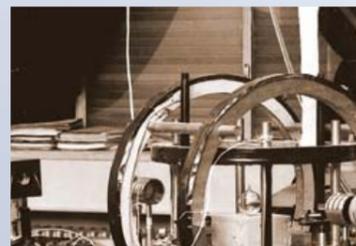
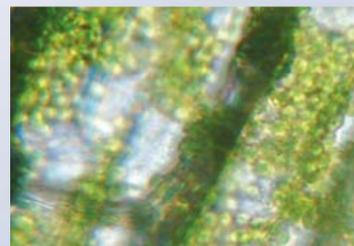
Nº 15 conCIENCIAS. Al principio, LA CIENCIA

- Gamow, Alpher y el Big Bang.** Pérez Torres, M (4)
- 2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo).** Turrión, J. (10)
- Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica.** Martínez Rica, J. P. (26)
- Cristales en los alimentos.** Cuevas-Diarte, M. A., Bayés-García, L., y Calvet T. (44)
- Química Forense ¿Ciencia o Ficción?** Montalvo, G. y García-Ruiz, C. (58)
- Un modelo universitario.** Elduque, A. I. (72)
- Hilbert y los fundamentos de la Matemática.** Bombal, F. (86)



Apellido, nombre, volumen de la revista y página:

Aguilar, Manuel, 8 (58)
Aldea, Concepción, 5 (118), 4 (120), 7 (130, 134), 9 (106,114), 10 (138)
Alegret, Laia, 6 (6)
Alfaro, Manuel, 14 (66)
Álvarez, Ana, 4 (96)
Amaré, Julio, 3 (22)
Anel, Alberto, 13 (22)
Arce, José Luis, 12 (14)
Arenillas, Ignacio, 6 (6)
Arruebo, Tomás, 8 (32)
Artal, Enrique, 4 (114), 8 (110)
Arz, José Antonio, 6 (6)
Badía, Laura, 8 (132)
Balas, Francisco, 7 (16)
Bartolomé, Fernando, 6 (106), 12 (96), 14 (22)
Bayés-García, Laura, 15 (44)
Bernués, Julio, 8 (110), 10 (108)
Blein, Antonio, 11 (20)
Bolsa, Marta, 11 (78)
Bombal, Fernando, 15 (86)
Bonachea, Jaime, 11 (84)
Boya, Luis J., 2 (56), 3 (6), 9 (62), 11 (50)
Bruschi, Viola, 11 (84)
Calvet, Teresa, 15 (44)
Calvo, Miguel, 14 (42)
Camón, Agustín, 9 (16), 9 (122)
Canudo, José Ignacio, 2 (36), 9 (4), 11 (32)
Carreras, Miguel, 6 (84)
Carrión, J. Alberto, 3 (84), 5 (122), 6 (94), 6 (108), 8 (126), 9 (126), 10 (102)
Cebrián, Susana, 6 (90)
Cendrero, Antonio, 11 (84)
Comenge, Luis, 7 (88)
Conde, Mariola, 10 (128)
Corral, José Luis, 6 (14)
Cristóbal, José A., 12 (60)
Cruz, Andrés, 7 (100)
Cuenca, Gloria, 2 (42), 6 (100)
Cuesta, Clara, 4 (28)
Cuevas-Diarte, Miguel Ángel, 15 (44)
Dafni, Theopisti, 6 (90)
De Azcárraga, José Adolfo, 4 (74)
De la Osada, Jesús, 4 (6)
De la Riva, Juan Ramón, 6 (32)
De Teresa, José María, 4 (128)
Del Valle, Javier, 5 (6), 8 (32)
Díaz, Jesús Ildelfonso, 7 (110)
Díaz-Michelena, Marina, 9 (26)
Días, María Eugenia, 2 (28)
Echenique, Pablo, 4 (56)



Echeverría, Maite, 6 (32)
Eduque, Alberto, 1 (10)
Elduque, Ana Isabel, 1 (42), 3 (54), 4 (102), 5 (94), 6 (24), 7 (62), 8 (92), 9 (72), 10 (84), 11 (66), 12 (76), 13 (76), 14 (82), 15 (72)
Elguero, José, 6 (26)
Elipe, Antonio, 3 (46), 4 (32)
Espejo, Francisco, 6 (44)
Etayo, Fernando, 4 (62)
Figuroa, Adriana, 8 (132)
Forte, Luis, 11 (84)
Franco, Luis, 10 (4)
Galindo, Jesús, 7 (76)
Gámez, José Antonio, 2 (28)
Garay, José, 3 (70), 12 (4)
García, Eduardo, 2 (6)
García Novo, Francisco, 4 (12)
García-Ruiz, Carmen, 15, (58)
Garzo, Ricardo, 14 (94)
Gasca, Mariano, 13 (88)
Gil, Andrés, 7 (76)
Gil, Inmaculada, 7 (76)
Gimeno, Mª Concepción, 8 (16)
Gomollón, Fernando, 9 (38)
González, Álvaro, 10 (24)
González, Santos, 12 (106)
Gracia, Gustavo, 14 (102)
Grupo Aragosaurus, 11 (32)
Hurtado, Martín, 11 (84)
Ibañez, Raúl, 8 (48)
Ibarra, Paloma, 6 (32)
Ibarra, Ricardo, 4 (128)
Laguna, Antonio, 8 (16)
Lanaja, Javier, 8 (32)
Liñán, Eladio, 2 (28), 3 (58)
Lizarbe, Mª Antonia, 8 (98)
Lozano, Manuel, 6 (64)
Lozano Imízcoz, Mª Teresa, 8 (110)
López Pellicer, Manuel, 10 (114)
López Pérez, Manuel, 10 (94)
Maestro, Adolfo, 7 (76)
Marín-Yaseli, Julia, 2 (14)
Martínez, Juan Pablo, 1 (13), 5 (16), 15 (26)
Martínez, Vicent, 14 (4)
Martínez-Lostao, Luis, 13 (22)
Matesanz, José, 8 (32)
Mazo, Juan José, 9 (16)
Mendivil, Jose Luis, 13 (30)
Meléndez, Alfonso, 2 (16)
Menéndez, Amalia, 9 (120)
Miana, Pedro J., 6 (76)
Mira, Jorge, 10 (16)
Moles, Mariano, 4 (38)
Montalvo, Gemma, 15 (58)
Montañés, Margarita, 7 (124)
Núñez-Lagos, Rafael, 2 (70), 5 (54), 12 (30)
Olave, Pilar, 12 (60)
Orea, Víctor M., 7 (42)
Oriol, Luis, 13 (46)
Pagliano, Silvia, 8 (76)
Palacián, Susana, 1 (12), 7 (88)
Pardo, Alfonso, 8 (32)
Pardo, Julián, 13 (22)
Peleato, Mª Luisa, 3 (32)
Peña, Rubén, 1 (11), 5 (68)
Pérez, Fernando, 6 (32)
Pérez Torres, Miguel, 14 (14), 15 (4)
Pétriz, Felipe, 7 (58)
Piñol, Milagros, 13 (46)
Pobes, Carlos, 4 (28), 6 (90), 10 (38)
Puyod, Carmina, 5 (110)
Rández, Luis, 10 (108)
Remondo, Juan, 11 (84)
Rey, Jorge, 7 (76)
Rísquez, Eduardo, 14 (94)
Rodríguez, Carlos, 8 (32)
Román, Pascual, 9 (48), 11 (4), 13 (4)
Rubio, Mario, 3 (76)
Sabadell, Miguel Ángel, 5 (84), 14 (56)
Sánchez Cela, Vicente, 2 (64), 3 (16)
Sancho, Javier, 1 (44)
Sangiao, Susana, 9 (118)
Santamaría, Jesús, 7 (16)
Santolaria, Zoé, 8 (32)
Sarsa, María Luisa, 2 (6), 4 (28), 5 (78), 6 (90), 7 (128), 9 (124), 9 (126), 14 (102)
Serrano, José Luis, 10 (144)
Sesma, Javier, 3 (66)
Sevil, Begoña, 9 (116)
Simón, José Luis, 2 (26), 13 (64)
Soler, Manuel, 7 (6)
Sorando, José María, 5 (30), 9 (84), 10 (52)
Soriano, Roberto, 1 (24)
Tornos, José, 6 (94), 6 (108)
Turrión, Javier, 12 (46), 14 (14), 15 (10)
Ullán, Miguel, 6 (64)
Uriel, Amadeo E., 6 (44), 8 (6)
Urieta, José, 8 (32)
Usón, Rafael, 2 (54)
Valcárcel, Miguel, 10 (72)
Vicente, José Manuel, 5 (40), 6 (52)
Villar, José Ángel, 6 (90), 8 (116)
Villarroya, Jorge, 7 (54)
Virto, Alberto, 3 (38), 5 (98), 10 (142)
Zueco, David, 9 (16)
Zulaica, Fernando, 8 (128)

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/2



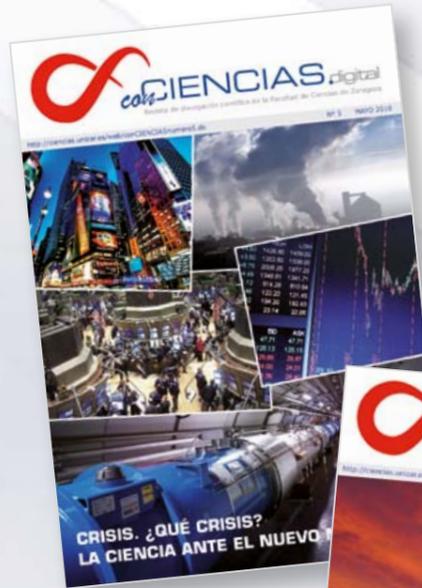
divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/1



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/3



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/4



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/6



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/7



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/5

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/8



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/9



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/10



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/11

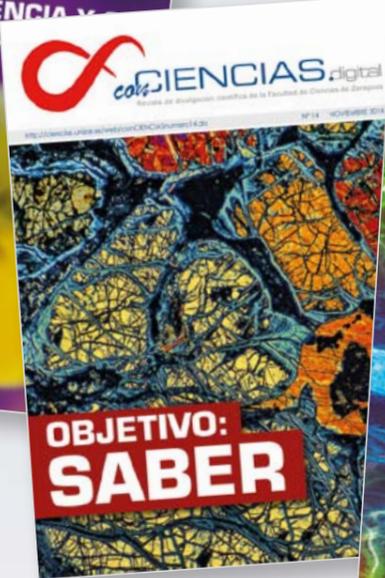
divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/12



¡Descárgala gratis!



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/13



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/14

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/15



