



con CIENCIAS.digital

Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

<http://ciencias.unizar.es/web/conCIENCIASnumero10.do>

Nº 10 NOVIEMBRE 2012

UN ANIVERSARIO PARA MEDITAR

1962-2012



50 años

Facultad de Ciencias
Universidad Zaragoza

Redacción

DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Jesús Anzano Lacarte
- Enrique Manuel Artal Bartolo
- Julio Bernués Pardo
- Ángel Francés Román
- Cristina García Yebra
- 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)

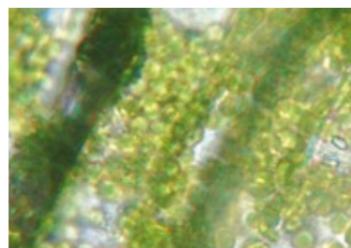
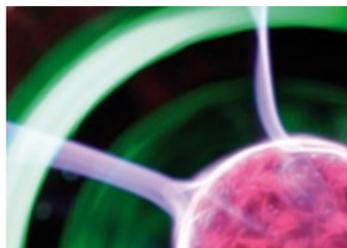
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.

Portada: fotografía de la Facultad de Ciencias.

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

| | |
|---|-----|
| <u>Editorial</u> | 2 |
| <u>Estética, creatividad y Ciencia</u> Luis Franco | 4 |
| <u>Reflexión sobre principios de la divulgación científica</u> Jorge Mira | 16 |
| <u>Terremotos y tsunamis</u> Álvaro González | 24 |
| <u>El día más largo de mi vida</u> Carlos Pobes | 38 |
| <u>Zaragoza matemática</u> José María Sorando | 52 |
| <u>La Responsabilidad Social de la información (bio)química</u> Miguel Valcárcel | 72 |
| <u>Un aniversario para meditar</u> Ana Isabel Elduque | 84 |
| <u>Claves para la excelencia universitaria: pasado y futuro inmediato del Campus Íberus</u> Manuel López Pérez | 94 |
| <u>Una vieja historia para el Cincuentenario del Edificio de la Facultad de Ciencias</u> José Alberto Carrión | 102 |
| <u>El emblema histórico de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza</u> Julio Bernués y Luis Rández | 108 |
| <u>Ramanujan: un matemático ejemplar para todos</u> Manuel López Pellicer | 114 |
| <u>Noticias y actividades</u> | 128 |
| <u>Artículos publicados</u> | 150 |
| <u>Colaboradores</u> | 154 |



Un aniversario para meditar

iD diez números ya! Cinco años de trabajo en conCIENCIAS. Un número más que poder añadir al conjunto de lo publicado durante este tiempo. Mucho trabajo, pero mucha más satisfacción. Cuando a principios del año 2008 nos planteamos este proyecto, una de nuestras humildes metas de entonces era que pudiera fructificar y perdurar en el tiempo. La divulgación científica y del conocimiento nunca ha sido fácil en España. Pero con la crisis que se nos ha venido encima, mucho menos. También, como bien sabe el lector, optamos por un formato tradicional,

“Los recortes que afectan a la investigación científica deberán ser revertidos en un futuro cercano si el país no quiere perder el tren de la Historia.”

frente a los que parecían ser más pujantes en aquel momento. Estábamos convencidos, y lo seguimos estando, de que la Ciencia puede contarse en múltiples formatos y que rara vez son excluyentes entre sí. Por esto seguimos adelante con esta tarea.

Este número, que ahora tienes en tus manos o en tu pantalla, ha logrado otro de los objetivos que entonces nos propusimos. Queríamos hacer una revista de amplio espectro temático pero también de una gran variedad de colaboradores. Si te detienes a leer quiénes comparten con nosotros la revista de este semestre, podrás darte cuenta de que la mitad de ellos no son personas vinculadas a la Facultad de Ciencias. Tampoco a nuestra Universidad ni a nuestra ciudad. Y, si tenemos en cuenta que alguno de los autores

locales no están trabajando en nuestra Universidad, el elenco de autores “foráneos” es mayoritario. Es reconfortante ver cómo se está logrando que nuestra publicación se esté convirtiendo en uno de los referentes divulgativos a nivel nacional. Y todo ello gracias al apoyo e interés de los colaboradores. Desde aquí quiero mostrar mi agradecimiento a todos ellos, los de este número y los de los anteriores.

Este número es, como siempre, ecléctico. No hay una temática central. Pero tampoco hemos querido dejar pasar la ocasión de la celebración del quincuagésimo aniversario de la inauguración del edificio A de la Facultad de Ciencias, el de siempre, y que comentamos en nuestro número 9 del pasado mes de mayo. Ojalá nuestra revista también logre alcanzar esta cifra.

En tiempos de crisis siempre existe la tentación de concentrarse en aquello que se considera vital para la supervivencia de los individuos. Ahora vivimos uno de estos momentos, tanto a nivel nacional como de la institución. Podría pensarse que la edición de la revista es una de tantas actividades que solo puede abordarse durante los periodos de bonanza. Queremos decir, con este número y los que le sucedan, que no pensamos así. Que es posible que ahora, más que nunca, sea más necesario dedicar tiempo y esfuerzo a la divulgación científica para demostrar que nuestro trabajo merece la pena. Hay que adaptar los medios, y los gastos, a lo disponible, pero no renunciar a las ideas. Nuestros patrocinadores también lo creen y por ello continúan financiando este proyecto. Los recortes que afectan a la investigación científica deberán ser revertidos en un futuro cercano si el país no quiere perder el tren de la Historia. Pero para ello es preciso que los ciudadanos vean en la investigación a uno de sus más útiles aliados para mejorar su

“Es preciso que los ciudadanos vean en la investigación a uno de sus más útiles aliados para mejorar su futuro. Y esta es la labor de la divulgación.”

futuro. Y esta es la labor de la divulgación. Dar a conocer de forma sencilla y comprensible qué saber se está generando, cuál se precisa y dónde está la frontera del conocimiento. Este es el espíritu de conCIENCIAS y queremos que así siga siéndolo.

Espero, querido lector, que disfrutes de la lectura de este nuevo número.

Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS



<http://www.widescreenhdwallpapers.com/>

ESTÉTICA, CREATIVIDAD Y CIENCIA

POR LUIS FRANCO

“Si en el trabajo del artista la imaginación juega un papel decisivo, la creación científica original resulta imposible sin una buena dosis de imaginación.”

La Escuela de Atenas, Rafael (1512-1514).

www.wikipedia.org

El 17 de mayo de 1959 Charles Percy Snow, un físico y novelista británico, pronunció la *Rede Lecture*, una conferencia que se celebra anualmente en la Universidad de Cambridge. El título era *The two cultures* y dio lugar posteriormente a la publicación de un libro titulado "Las dos culturas y la revolución científica" ¹. Tanto en la conferencia como en el libro, Snow condenaba la separación entre las humanidades y las ciencias. En opinión del autor, esta separación había llegado a establecer una auténtica dicotomía entre las *dos culturas*: por una parte, se encontraría la cultura científica y tecnológica y, por otra, como algo totalmente separado, estarían las actividades altamente creativas, pero menos cuantitativas, como el arte y la poesía. El propio Snow decía años más tarde que pedir a una persona culta que describiera el segundo principio de la Termodinámica sería el equivalente científico de preguntarle: "¿ha leído usted alguna obra de Shakespeare?" y que una cuestión aún más sencilla, como ¿qué entiende usted por masa o aceleración?, es el equivalente científico de "¿sabe usted leer?" Snow hizo la prueba de plantear esas preguntas a personas cultas y los resultados fueron un tanto descorazonadores.

En la actualidad es innegable que sociológica y educacionalmente se sigue dando esa dicotomía. Una dicotomía que, al menos en un plano conceptual, no debería existir. Es cierto que se han tendido puentes que han acercado las dos orillas culturales, la científica y la humanista. En este sentido, una de las actividades estrella de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales es el Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica, que ofrece anualmente una amplia gama de conferencias de divulgación de temas científicos que contribuyen a hacer accesibles los hallaz-

gos científicos al público culto no especialista. Afortunadamente, se han hecho también muchos esfuerzos para mostrar que las *dos culturas* no son irreconciliables. Por ejemplo, pocos años después de la aparición del libro de Snow, Frank Malina, un ingeniero aeronáutico que había ejercido su profesión durante 20 años antes de dedicarse de lleno a la pintura, había fundado una revista dedicada a las relaciones entre Arte y Ciencia. La revista fue bautizada con el nombre de "Leonardo", en una clara alusión al genio polifacético de Leonardo da Vinci. En esa revista, Michael J. Moravcsik, un físico teórico que trabajó en la Universidad de Oregón, escribía en 1974 que los artistas y los científicos comparten ciertas motivaciones, incluida la capacidad de ser creativos. Según el mismo autor, científicos y artistas comparten una sensibilidad hacia la estética en su trabajo, aunque sus criterios de *belleza* puedan ser bastante distintos. Muchos, tanto de unos como de otros, desean también contribuir positivamente al bienestar humano.

¿Tienen cabida los criterios estéticos en la investigación científica? ¿Puede realmente decirse que una teoría científica es bella? ¿Es tan creativo el trabajo de un investigador en Biología Molecular -pido perdón por llevar el agua a mi molino- como el de un artista o un poeta? En mi opinión, a las tres preguntas puede contestarse con un rotundo sí.

Por empezar por la última pregunta, hay que comenzar reconociendo que la palabra *creación*, así como sus formas verbales o adjetivadas, al utilizarse con profusión, ha perdido en gran parte su significado originario de algo que sale de la nada. El verbo *crear*, reservado originalmente a Dios, se extiende con frecuencia al hombre: a un artista, que *crea* una obra; a un diseñador de alta costura, que presenta sus

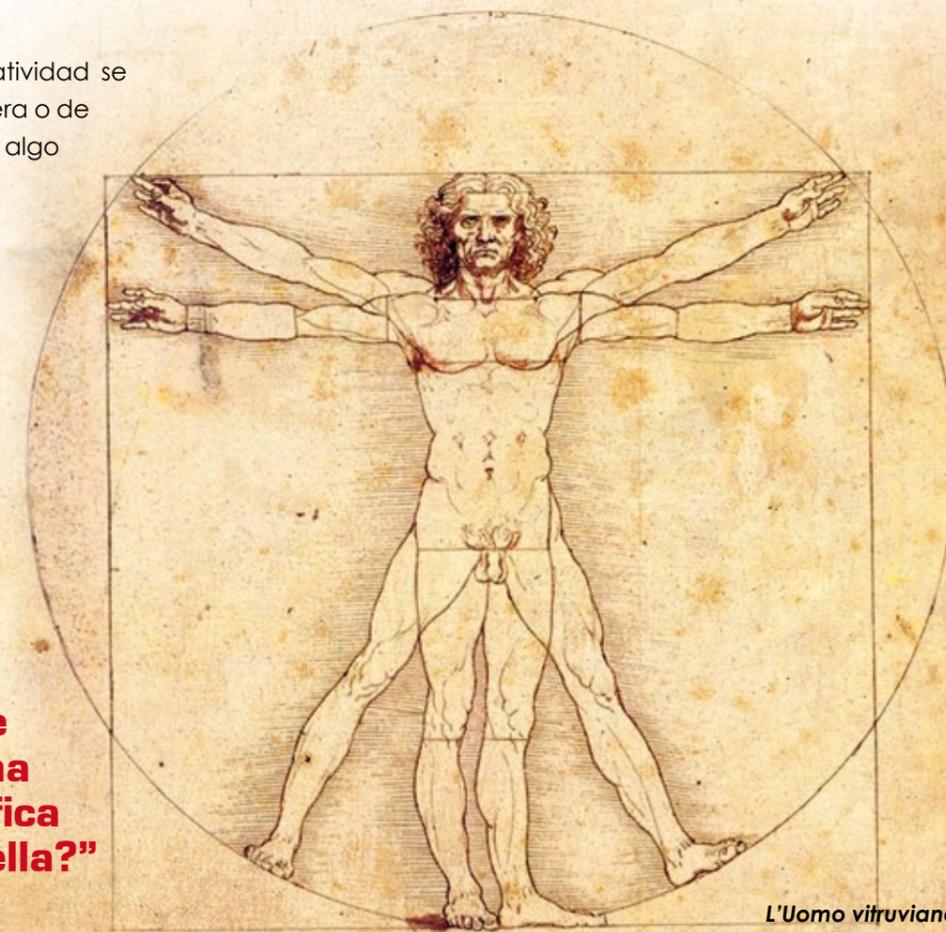
creaciones para la temporada; a un futbolista, que *crea* situaciones de peligro en el área contraria... Pero en muchos casos es legítima esa extensión. El hombre no crea en el sentido absolutamente estricto del término, pero tampoco se puede decir que solamente hace o fabrica. La actividad humana se mueve entre un extremo en el que el hombre se limita a realizar una función rutinaria, y otro en el que la obra humana presenta una novedad, una armonía, una belleza que no se habían visto antes. En este segundo sentido, el hombre *crea*. Los creyentes sabemos que el hombre es imagen y semejanza de Dios -por emplear la conocida expresión bíblica- y, como tal, poseedor de un cierto chispazo de su inteligencia y su poder creadores. Y pienso que los no creyentes fácilmente reconocerán que su trabajo puede llegar a adquirir un cierto hálito divino, aunque a este adjetivo no le adjudiquen más significado que el de algo excelso.

Esa aspiración a la creatividad se encuentra, de una manera o de otra, en todo hombre. Es algo

que nace de su núcleo personal. Pero algunas actividades parecen más proclives a su desarrollo y entre ellas está, sin duda, la actividad investigadora. ¿Qué son sino creación el echar los cimientos del estudio de los complicados mecanismos de la regulación génica, o desentrañar las complejas rutas de señalización intracelular? Creación, sí, y creación fecunda que ha permitido que las ciencias experimentales hayan avanzado y sigan avanzando exponencialmente.

Y si en el trabajo del artista la imaginación juega un papel decisivo, la creación científica original, esa especie de salto de lo desconocido a lo conocido que todo progreso exige, resulta imposible sin una buena dosis de imaginación. En este sentido, advertía el Profesor Primo Yúfera que:

“¿Tienen cabida los criterios estéticos en la investigación científica? ¿Puede realmente decirse que una teoría científica es bella?”



L'Uomo vitruviano, Leonardo da Vinci (1490).

1. Snow C. P., (1959) *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. Cambridge University Press, New York, 1961.

“Los científicos con ‘imaginación creadora’ o ‘creativos’ se caracterizan por su capacidad para encontrar ideas que conducen a soluciones originales e innovadoras, y, al mismo tiempo, realistas y útiles.”²

Y es que la imaginación que necesita el científico no le lleva a desentenderse de la realidad sino, al contrario, a plantearse todas las posibles respuestas -por improbables que parezcan- que puedan lógicamente explicar las causas de un hallazgo, fortuito o no, de su trabajo investigador. La imaginación es necesaria para elaborar nuevas hipótesis o para diseñar experimentos que permitan contrastarlas. Un investigador original es siempre un investigador imaginativo. Afortunadamente, la imaginación, aunque sea en muchos un don innato, puede desarrollarse y el cultivo del razonamiento inductivo juega un papel esencial en ello. Vale la pena constatarlo, porque casi toda la metodología educativa se apoya sobre el razonamiento deductivo y raras veces se enseña a los futuros científicos a razonar a la inversa, es decir, de los efectos a las posibles causas.

Muy relacionada con la imaginación está también otra facultad: la intuición, esa capacidad de “comprender las cosas instantáneamente sin necesidad de razonamiento”, como define el Diccionario de la Real Academia Española. Intuir no es captar a fondo, pero es más que entrever una cosa o sospecharla vagamente. Tiene esa intuición algo de arte, y la sabiduría popular advierte que el Arte nace, no se hace. Hay científicos geniales, que han intuido cosas donde otros no veían nada. Pero eso es algo común en todas las obras creativas. Cuentan de Miguel Ángel que ante un bloque de már-

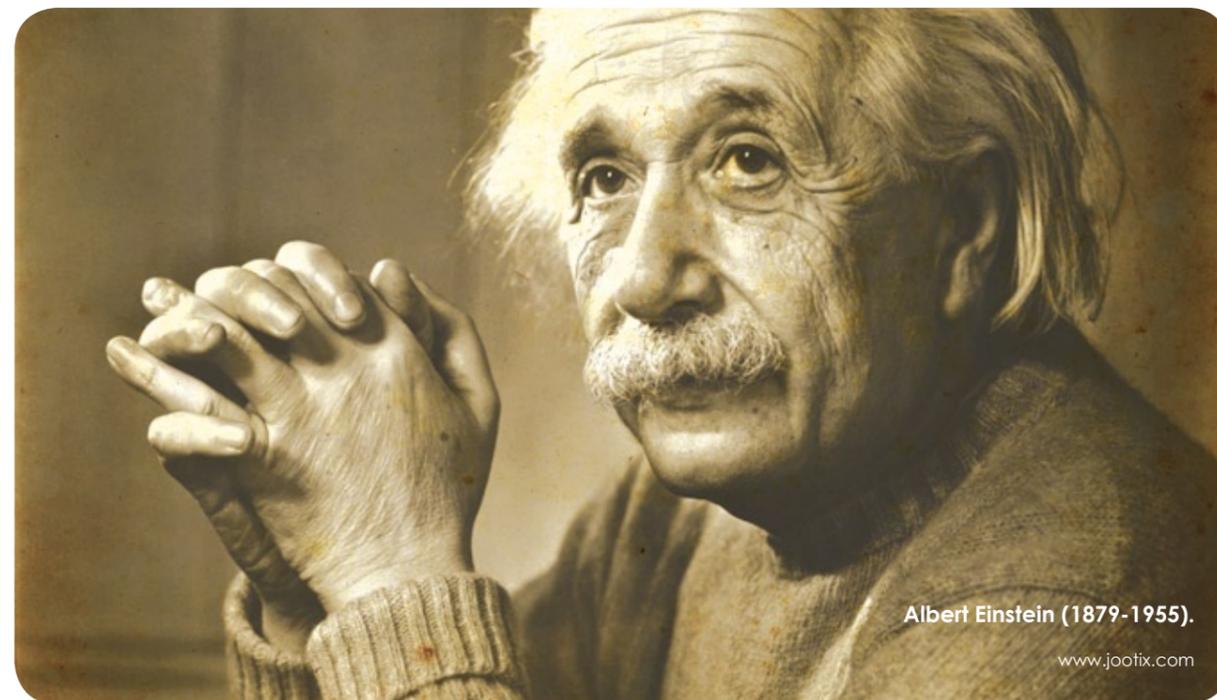
mol se quedaba absorto contemplándolo hasta que veía la escultura en él. “Lo que queda por hacer -solía añadir- es ya fácil: es sólo quitar lo que sobra”. Es cierto que algunas personas están dotadas de cualidades excepcionales, de las que no se hacen. No se hace el genio singular, único, pero es indudable que sí puede ir creciendo esa especie de instinto que hace posible la intuición. Crece con el estudio y la dedicación; crece fomentando en nosotros esas cualidades que dan lugar a un afán incansable por buscar la verdad. Si el científico aprovecha todos los medios a su alcance, su trabajo se hará cada vez más creativo e irá, poco a poco, dejando de ser rutinario hasta convertirse en una maravillosa aventura.

“El estudio y, en general, la búsqueda de la verdad y de la belleza, son los campos en los que podemos seguir siendo niños toda la vida.”

Albert Einstein

El David, Miguel Ángel (1501-1504).

www.wikipedia.org



Albert Einstein (1879-1955).

www.jootix.com

Pero pasemos a las otras preguntas formuladas: ¿Tienen cabida los criterios estéticos en la investigación científica? ¿Puede realmente decirse que una teoría científica es bella? Para centrar la discusión, hay que tener en cuenta que la investigación científica tiene como objeto descubrir las causas de los diversos fenómenos, que las más de las veces aparecen veladas cual si estuvieran preñadas de un cierto misterio. Y en este contexto viene bien recordar esa opinión de García Lorca, que decía que un alma de poeta intenta descubrir el misterio que tienen todas las cosas. Encontrar la belleza latente en las verdades científicas: he ahí el reto que puede añadir un apasionante ingrediente a la tarea cotidiana del investigador y que contribuirá a que su quehacer sea más humano. Porque, de acuerdo con el filósofo Miguel Ángel Martí, es posible decir que la belleza puede encon-

trarse en casi todas las cosas, aunque el problema sea precisamente descubrirla, ya que para ello “*hacen falta unos ojos en donde no esté presente la rutina, el acostumbramiento*”.³

El investigador no puede perder la capacidad de asombro. Decía Einstein que “*el estudio y, en general, la búsqueda de la verdad y de la belleza, son los campos en los que podemos seguir siendo niños toda la vida*”⁴. Efectivamente, un niño tiene intacta su aptitud para el asombro. Su despertar a la vida es una sucesión de pequeños descubrimientos que hacen de cada día una auténtica aventura irrepetible. Por el contrario, el adulto autosuficiente, el que está *de vuelta de todo*, se ha de conformar con una existencia monótona, rutinaria. ¡Qué bien se entiende así que Millán Puelles cite a la humildad entre los hábitos *predispositivos* que ayudan al

2. Primo Yúfera E., (1981) La investigación: un problema de España. Caja de Ahorros de Valencia, Valencia.

3. Martí García M. A., (1997) La admiración. Ediciones Internacionales Universitarias, Barcelona.

4. Citado en Alfaro Drake T., (1997) El Señor del azar. San Pablo, Madrid.

hombre en su búsqueda de la verdad!⁵. Una humildad que no significa en absoluto encogimiento de espíritu -nada más ajeno a la actitud de un científico y aún de toda persona-, sino ausencia de esa autosuficiencia que, a la larga, lleva a cerrarse en sí mismo.

El científico ha de adoptar de continuo una actitud abierta ante la naturaleza, siempre pródiga en proporcionar sorpresas a los que sean capaces de observarlas. El mismo fenómeno no tiene idéntico sentido para un alma sensible -y tal debe tenerla el científico auténtico- que para una persona vulgar. Ser vulgar, decía Newman, es estar delante de lo sublime y no darse cuenta. La sensibilidad, por el contrario, permite descubrir lo que tienen de admirable los acontecimientos corrientes, que no porque sepamos explicarlos en mayor o menor medida, dejan de ser prodigiosos. En otras palabras, se puede concluir que la capacidad de asombro no se puede perder porque la Ciencia haya avanzado.

Si, por ejemplo, todos los bioquímicos hubieran quedado totalmente satisfechos con la lúcida exposición que hizo Francis Crick del *dogma central* de la Biología Molecular⁶, si todos hubieran perdido su capacidad de asombrarse ante hechos que parecían contradecirlo, no se habría podido descubrir la reacción de la transcriptasa inversa. Este descubrimiento no solo sirvió para que su autor, Temin, obtuviera el premio Nobel, sino que ha permitido conocer el mecanismo de replicación de muchos virus -entre ellos el del SIDA- y ha supuesto una insustituible herramienta en los laboratorios de Biología Molecular. Se podrían resumir perfectamente las ideas anteriores con los versos de León Felipe: "*Que no se acostumbre el pie/ a pisar el mismo suelo, (...) Que no hagan callo las cosas/ ni en el alma ni en el cuerpo*"⁷.

Las líneas precedentes parecen dar cabida a la posibilidad de cerrar la brecha entre las dos culturas por medio de una *tercera cultura*, que mediaría entre las dos posturas extremas. El propio Snow la propuso en 1963 y, en la misma línea, la ingeniera Susan Birchmore, tratando de superar esa separación del todo artificial que parece existir entre Arte y Ciencia, escribía:

"Los científicos son racionalistas, fríos e insensibles. Los ingenieros y tecnólogos son prácticos, prosaicos y, frecuentemente, semianalfabetos. Tal es el mito. Sin embargo, creo que los mejores científicos son poetas y que el auténtico ingeniero es un artista. No baso mi aseveración en el hecho de que Einstein tocara el violín, o en que Leonardo da Vinci diseñara paracaídas y helicópteros; mi argumento es que hay poesía y arte en la Ciencia misma. Fijaos en el lenguaje de la Ciencia (y de la tecnología): quarks (que pueden poseer 'encanto' o 'belleza') (...), el Big Bang (que puede o no ir seguido de un Big Crunch). Términos como estos no han sido in-

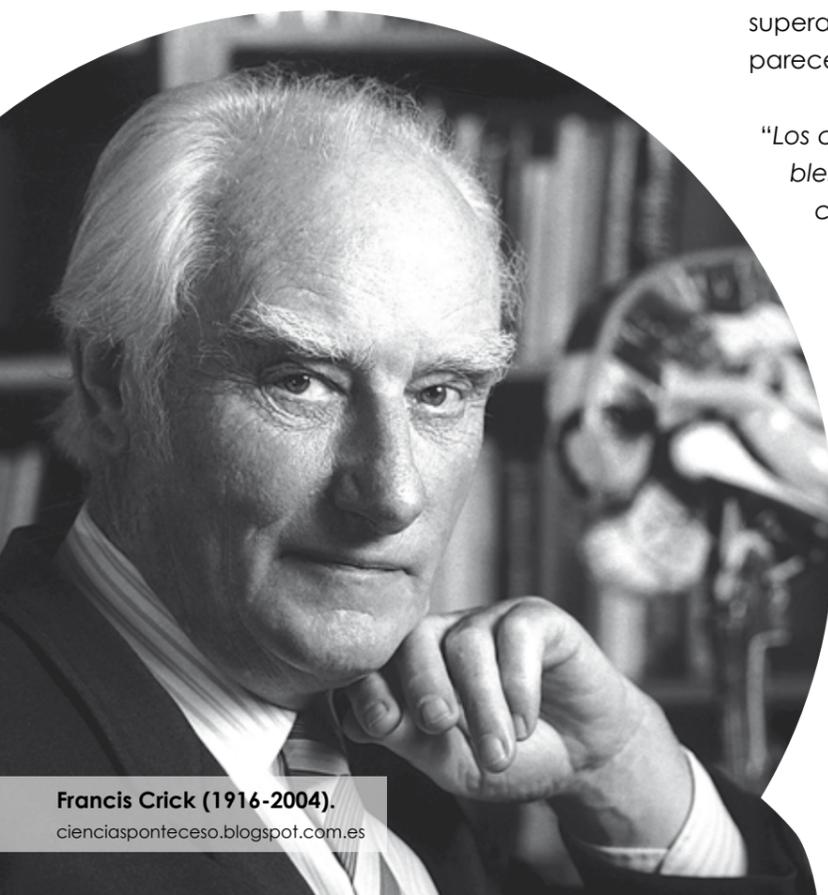
*ventados por intelectuales carentes de humor. Los agujeros negros, el invierno nuclear, el viento solar... No son solo los conceptos los que inspiran temor; las mismas palabras hacen sentir un escalofrío (...). El propósito del lenguaje científico es expresar los conceptos con claridad, precisión y economía; y en ese proceder, el lenguaje se hace algunas veces poesía."*⁸

Los ejemplos empleados por Susan Birchmore están tomados de la Física o de la Cosmología. Pero la actitud que denotan es común a todas las ramas de la Ciencia y se encuentran numerosos casos en Bioquímica y Biología Molecular. Por ejemplo, ¿se podrían encontrar unas palabras más acertadas que *transcripción*, *cascada de regulación*, *ruta metabólica*, etc. para expresar metafóricamente los procesos que significan?

Se podrían multiplicar hasta el infinito los casos que muestran cómo el cultivo de la Ciencia no solo no está reñido con el de la sensibilidad artística, sino que ambos no son sino distintas facetas de una actitud profundamente humana. Hace diez años, con ocasión de un premio otorgado a Mary Osborn, pionera de la inmunofluorescencia, el profesor de Historia del Arte de Oxford Martin Kemp, refiriéndose a una imagen obtenida por la galardonada en 1987, que muestra una mezcla de fibroblastos y células epiteliales teñida con anticuerpos frente a queratina y vimentina, dos proteínas de los filamentos intermedios, comentaba:

"El investigador no puede perder la capacidad de asombro."

5. Millán Puelles A., (1977) El interés por la verdad. Rialp, Madrid.
6. Con el nombre de "dogma central" de la Biología Molecular se conoce la hipótesis emitida por Francis Crick (Crick, F. H. C. (1958) Protein synthesis. Symp. Soc. Exp. Biol. 12, 138-163) según la cual la información biológica contenida en el DNA pasa al RNA mensajero por un proceso denominado transcripción y de ese RNA a las proteínas mediante la traducción. Este "dogma" no es absoluto; Temin descubrió el proceso de la retrotranscripción, por el cual la información genética contenida en el RNA de algunos virus (los retrovirus) pasa al DNA de las células infectadas.
7. León Felipe (1884-1968) "Romero solo...", en Versos y oraciones del caminante. Visor Libros, S. L., Madrid, 1983.
8. Birchmore S., (1988) The beauty of Science. New Scientist 118, 81-82.



Francis Crick (1916-2004).
cienciasponteceso.blogspot.com.es



"En paralelo con el avance técnico está el profundo amor a la contemplación de la continuamente cambiante topografía de las células teñidas. Como dice Osborn, 'Aún puedo estar absorta ante el microscopio durante horas. No solo porque las imágenes son bellas, sino porque cada célula muestra sutiles diferencias en la organización y distribución de los tres sistemas de filamentos' ".⁹

O, si se quiere, se puede recordar otra vez a Einstein, ahora de la mano de Bondi. Recuerda este autor el aprecio que el autor de la teoría de la relatividad hacía de la belleza formal:

"Lo que recuerdo con más claridad es que, cuando yo formulaba una sugerencia que a mí me parecía coherente y razonable, él no la contradecía en absoluto, sino que decía únicamente '¡Oh, qué feo!' Cuando una ecuación le parecía fea, perdía realmente el interés en ella y no podía entender que alguien estuviera dispuesto a malgastar el tiempo en eso. Estaba convencido de que la belleza era un principio rector en la búsqueda de resultados importantes en física teórica."¹⁰

Hay sin duda una pléyade de científicos que han destacado por esa actitud de dar un matiz estético al cultivo de la Ciencia. Por solo citar uno más, me referiré al Prof. D. Obdulio Fernández y Rodríguez, catedrático de la Universidad Complutense y Académico de Número de la Real Academia de Ciencias desde 1918 hasta su fallecimiento en 1982. El Prof. Fernández supo combinar el cultivo de la Química Orgánica -algo que podría parecer árido y poco poético- con una singular sensibilidad artística. Buena prueba de ello son algunos párrafos entresacados de uno de sus artículos, publicado en 1942, que llevaba el sugerente título de *El Arte y la Fantasía en la Química*. Hablaba D. Obdulio de la clorofila, después de recordar que fue precisamente

Borodin, químico, aunque más conocido por su obra musical, el primero en cristalizarla. De la estructura de este pigmento, que acababa de ser descifrada por Fischer en 1940, decía:

"Se necesita la fantasía de un hombre genial para coordinar todos los resultados obtenidos en los diversos laboratorios de Europa; hidrolizar la clorofila, separar sus constituyentes, descomponer sus núcleos nitrogenados, y luego reunirlos todos para darles forma viva en un plano, que constituye un prodigio de la arquitectura química. ¿No es artística hasta lo inverosímil la estructura molecular que se acepta hoy para representar la clorofila?; pero, ¿al Arte no le alumbró el destello del rayo creador que juntó pirroles por medio de metilos y que esterificó ácidos pirrolcarbónicos con alcoholes de tipo contrapuesto como el metílico y el fitólico? ¿Quién duda que el autor de esa construcción, que el soñador de esa euritmia tan atrayente no es un artista cuya consciencia abarca los ápices de la belleza? Quien plasma en un conjunto armónico fitol, metanol, ácidos pirrolcarbónicos y los engarza a las valencias secundarias de un metal, también predestinado al Arte, el magnesio, es un artista en grado sumo, y la Química más alta, que encierra técnica delicada y primores de pensamiento, es materia de Arte, y de un arte que pretende, sin quererlo, descubrir al hombre los secretos más escondidos de la vida."¹¹

Pero es significativo que D. Obdulio contemplaba la belleza bajo el prisma de la unicidad. No solo hay belleza en la Química Orgánica, sino también en la Inorgánica y aún en toda

"¿No es artística hasta lo inverosímil la estructura molecular que se acepta hoy para representar la clorofila?"

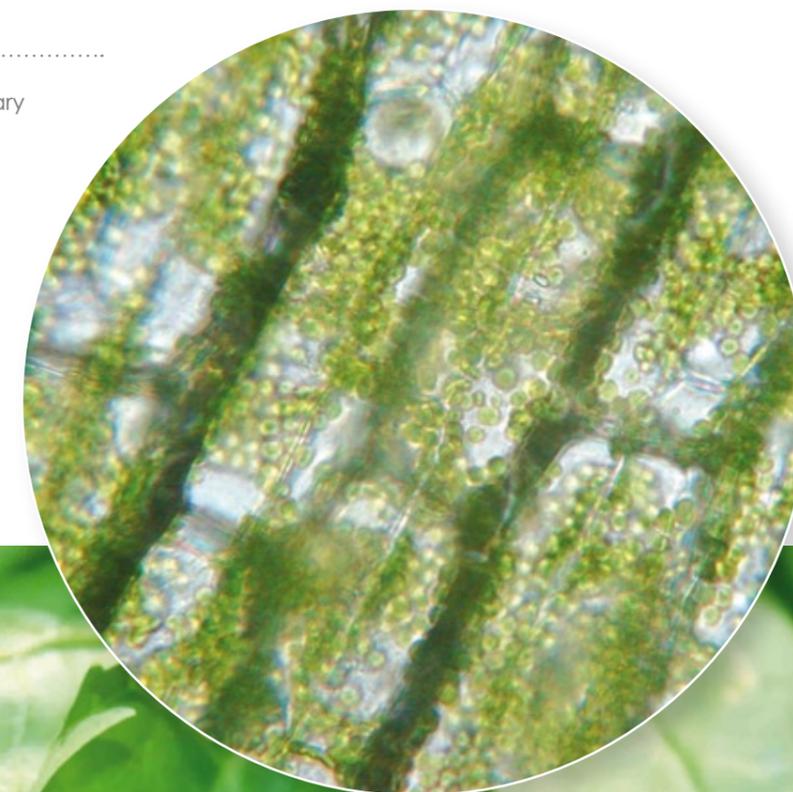
Obdulio Fernández y Rodríguez

Ciencia, y esa belleza es la misma del Arte. Y no me resisto a transcribir la conclusión de su artículo, cuando después de considerar el retraso que tenía la Química en España en aquellos años, proponía:

"No veo otro procedimiento para librarnos de esa servidumbre que exaltar la fantasía de

los jóvenes estudiantes de Química (...) Quizá otro procedimiento liberador es enseñar la Química como Arte, o acaso con más arte (...) Convendría que esa enseñanza fuese más variada, orientada al Arte, a buscar inspiraciones que, probablemente, se generalizarían dentro de las aptitudes de cada alumno."¹¹

9. Kemp M., (2002) Seeing stains. Mary Osborn's immunofluorescence images of cellular structures. *Nature* 417, 23.
10. Bondi H., citado por Whithrow, G. J. (1969) Einstein: el hombre y su obra, p. 121. Siglo XXI, México.
11. Fernández O., (1942) El Arte y la Fantasía en la Química. *Rev. Univ. Madrid (Ciencias)* 2, 60-70.



Verdura y detalle microscópico de la clorofila que contiene.

En resumen, el científico, como cualquier ser humano, enriquece su espíritu no solo cuando admira el cañón del Colorado, lee poesía, escucha una sonata de Beethoven o contempla un Picasso, sino también cuando llega a comprender un abstruso teorema matemático, el complicado mecanismo por el que se regula a nivel molecular un proceso biológico, la naturaleza de las partículas subatómicas o la estructura de un fullereno¹². Ante cualquiera de estos retos científicos caben dos opciones. O se los considera un insufrible enredo, como haría un mal estudiante que pretendiera memorizarlos solo para superar un examen a la antigua usanza, o bien se contemplan como una muestra más de la belleza, como un mosaico en el que es el complejo ensamblaje de sus miles de teselas lo que le presta su armonía y su esplendor.

¿Qué duda cabe de que la belleza, la armonía, constituye uno de los más claros valores humanos? Pues, si como se acaba de mostrar, el científico puede descubrir la belleza de la naturaleza en su propio trabajo, no será posible poner en tela de juicio que, también en este aspecto, la actividad científica nos ayuda a ser más humanos, al tiempo que la fantasía y el arte nos pueden ayudar a ser mejores científicos. Sí, porque, al fin y al cabo, la Ciencia y el Arte no son sino dos facetas del espíritu

“La Ciencia y el Arte no son sino dos facetas del espíritu humano que aletea en todas sus actividades.”

humano que aletea en todas sus actividades. Cuando Bécquer escribía: *“Mientras la ciencia a descubrir no alcance las fuentes de la vida, y en el mar o en el cielo haya un abismo que al cálculo resista; mientras la humanidad, siempre avanzando, no sepa a do camina; mientras haya un misterio para el hombre, ¡habrá poesía!”*,¹³ no estaba simplemente diciendo ni que desde la Ciencia se pueda hacer poesía, ni que la poesía permita contemplar la Ciencia

de otra manera. Es que con su alma de poeta había descubierto esa ansia de belleza que vibra tras cualquier actividad humana.

Luis Franco

Departamento de Bioquímica y Biología molecular
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad de Valencia

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

12. Los fullerenos son moléculas formadas exclusivamente por carbono, que pueden adoptar multitud de estructuras: esferas huecas, nanotubos, etc., muchas de ellas dotadas de gran belleza plástica.
13. Bécquer G. A., (1836-1870) Rima IV. Rimas y Leyendas, Colección Austral. Espasa-Calpe, Madrid, 1958.



“El contenido de este artículo es fruto de la experiencia particular de un divulgador que se ha movido en un perfil orientado a maximizar la atención y el número de las personas que le atienden...”

REFLEXIÓN SOBRE PRINCIPIOS DE LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

POR JORGE MIRA



Reflexión sobre principios de la divulgación científica

El universo que entra bajo el epígrafe de “público general” es marcante para un divulgador científico, sobre todo si es un profesor universitario. Acostumbrado como está al grupo homogéneo que forma su alumnado, sufre a veces para adaptarse a los diferentes auditorios que se encuentran fuera del campus. Dicho sufrimiento es el peaje a pagar para mejorar porque, como en casi todo, optimizar el enganche con el público es, en gran medida, cuestión de experiencia. El contenido

de este artículo es fruto de la experiencia particular de un divulgador que se ha movido en un perfil orientado a maximizar la atención y el número de las personas que le atienden... porque ni todas le van a atender, ni las que le atienden lo van a hacer todo el rato.

Uno de los recursos clásicos para resolver el problema es la búsqueda de la sorpresa. Lo comprobé hace años, tras publicar en la revista *Physics Today*¹ un artículo en el que calculaba las temperaturas del cielo y el infierno, en base

a datos de la Biblia y algunos conceptos de física cuántica. Ese artículo llamó poderosamente la atención de parte de la opinión pública, que parecía tragar, de ese modo, disquisiciones sobre el equilibrio termodinámico, el cuerpo negro o leyes referentes a radiación electromagnética; disquisiciones que, contadas a pelo, hubiesen ahuyentado a la mayoría de la gente.

En ese momento descubrí que la dinámica del público (para ciertas cuestiones puntuales) es parecida a la de su gato cuando está enfermo: ¿cómo consigue usted que se coma la pastilla? Dándosela en medio de un cachito de queso.

Pues para ciertos aspectos de la divulgación científica es bueno recordar esa dinámica. Este principio, aparentemente trivial, no anida en las mentes de parte de la comunidad científica de este país. Los investigadores olvidan que, para llegar a donde están ahora, han pasado por una educación primaria obligatoria, una educación secundaria, una licenciatura, seguida de un doctorado, una tesis doctoral, años de etapa postdoctoral, y los que correspondan de trayectoria investigadora y académica. En mi caso, la Física ha absorbido más de la mitad de mi vida, lo que hace que palabras como “gradiente” o “potencial” sean de lo más natural y cotidianas... Pero no todo el mundo ha pasado más de veinte años dedicado a la Física...

¿LA CIENCIA? SUBA AL SEGUNDO PISO DEL EDIFICIO DEL SABER

La alfabetización científica está un grado por encima de la alfabetización clásica y tiene un coste superior a esta última. Esa dificultad crea una barrera perceptible ya en la vida cotidiana del país. Por ejemplo, la Real Academia Española de la Lengua define *belleza* como “propiedad de las cosas que nos hace amarlas, infundiendo en nosotros deleite espiritual.

“La alfabetización científica está un grado por encima de la alfabetización clásica y tiene un coste superior a esta última.”

Esta propiedad existe en la naturaleza y en las obras literarias y artísticas”.

¿Echa usted algo en falta en esa definición? Fíjese bien... ¡parece que en las obras científicas no existe esa propiedad y, por lo tanto, la Ciencia no es digna de ser amada! Bien es cierto que la real institución, que plasma el ideario de la sociedad, admite la existencia de esa virtud en la naturaleza, de cuyo análisis nace la Ciencia, pero es insensible a la perfección de la obra científica en sí misma.

Como todos los científicos sabemos, en las obras científicas existe belleza. Recurriendo nuevamente al diccionario, *ciencia* es “el conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados, y de los que se deducen principios y leyes generales”. ¿Qué actividad intelectual más elevada puede existir? Ninguna, como sabe muy bien aquel que haya experimentado esa suerte de orgasmo cerebral que supone resolver un problema científico en el que llevara largo tiempo trabajando. Poco hay más bello que la comprensión de las leyes del universo y la creación intelectual que las describe. ¿Qué físico no colocaría en el podium de la belleza a la teoría de la relatividad o las leyes de Maxwell?

Ahora bien, el acceso a ese deleite está restringido a una minoría, porque es disfrute solo accesible a quien ha aprendido a interpretar esa



1. Mira J., y Viña J.; *Physics Today* 51(7), 96 (1998).

Reflexión sobre principios de la divulgación científica

obra. Instrucción, educación; ahí está la clave para fabricar ese nuevo sentido sin el cual estaremos como un ciego ante un cuadro de Velázquez o un sordo ante una composición de Mozart.

Dos factores juegan en contra de esa deseada instrucción. En primer lugar, el vértice de la pirámide social. Comenzando ya por el poder político, el trato no es ni siquiera equitativo con otros campos del saber.

¿Qué decir del prestigio social? Compárese sin más el número de premios "de letras" con los "de ciencias". O mejor aún, la popularidad y fama de literatos y artistas en general con los científicos. Aquéllos gozan normalmente del es-

tatus de estandartes de la vida cultural de un país. Para colmo de males, desde sus privilegiadas tribunas, nos desprecian con argumentos propios de tertulianos de café que quieren mover el mundo con palancas de papel, y exhiben con arrogancia su analfabetismo científico.

Quizá el origen de esa discriminación resida en la exclusión que el sistema educativo español ha buscado de largo entre *ciencias* y *letras*. En la educación secundaria se renuncia a la formación integral del individuo y se fuerza o permite al alumno a elegir su perfil cultural (y su futuro), olvidando la falta de madurez a esas edades y que los factores que en muchos casos inclinan la balanza a un lado u otro son de lo más peregrinos.

En segundo lugar, juega en contra el tesón necesario para hacer funcionar la razón. La perseverancia, la constancia, en suma, el esfuerzo y sacrificio personal no son virtudes privilegiadas en una sociedad que diviniza el enriquecimiento, el éxito y la fama rápidos; ese clásico de "la cultura del mínimo esfuerzo".

Pregunte usted a un ciudadano medio por David Bisbal, Cristiano Ronaldo, Belén Esteban y Juan Ignacio Cirac ("mmm... ¿y quién es el Cirac ese? ¿Ha salido en Gran Hermano?"), y sabrá el lugar ocupado por la Ciencia en la España de hoy.

EL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE

Quien ha estado involucrado en un espacio científico televisivo sabe bien de las fuertes restricciones horarias para este tipo de contenidos y de las pesadillas de los productores, que avisan: "científico, ¡no me espantes a la audiencia!"

Conocen el percal, para seducir a la audiencia potencial tienen que hablar su mismo lenguaje, el científico debe construir sus argumentos con mimbres cuyo origen no esté en su licenciatura o su doctorado. Tarea complicada, como dice un periodista amigo mío "es más fácil comprender la situación política de una comunidad autónoma que los fundamentos del comportamiento de la materia". Generalmente, un resultado importante de un grupo de investigación no es sino el último de los eslabones de una cadena comenzada décadas atrás y, a priori, solo es entendible por expertos en ese campo.

Pese a ello, ¿lo queremos contar igualmente? Vale; definamos, en primer lugar, a quién se lo podemos contar. ¿A nuestros vecinos de los despachos de al lado en la facultad o a nuestros vecinos de los pisos de nuestro edificio?

Antes de responder a esa pregunta, debo hacer un pequeño paréntesis, para contarle que el físico y Premio Nobel alemán Werner Heisenberg (1901-1976) llegó en 1927 a la conclusión de que era imposible conocer con absoluta precisión la posición y la velocidad de un objeto. Curioso, ¿a que sí? Pues no se lo pierda: resulta que, cuanto más precisión alcance en la determinación de la posición, más información perderá en la de la velocidad, y viceversa.

“Poco hay más bello que la comprensión de las leyes del universo y la creación intelectual que las describe. ¿Qué físico no colocaría en el podium de la belleza a la teoría de la relatividad o las leyes de Maxwell?”



Reflexión sobre principios de la divulgación científica

No voy a seguir hablando de esa maravillosa y repugnante idea (llamada "principio de incertidumbre"), sino que la voy a usar para responderle a la pregunta que está dos párrafos más atrás.

La respuesta es: "depende" (lo sé, lo sé, me mezczo un chiste sobre gallegos...). Y es que entre divulgación científica y ciencia rigurosa opera un mecanismo que nos recuerda al principio de incertidumbre: cuanto mayor sea el rigor en la exposición, menor será el grupo de gente que te escuche y, sobre todo, te entienda. Y, como es obvio, cuanto más numeroso queramos que sea el grupo que nos atienda (y entienda), más se deberá simplificar o incluso deformar el contenido (para no pillarme los dedos, diré que hay excepciones a esta regla, claro).



Werner Heisenberg (1901-1976).

www.wikipedia.org

PIERDA EL MIEDO A SER VULGAR. ESO DEL RIGOR Y EL ÁTOMO DE HIDRÓGENO

Contárselo a sus colegas de despacho es "difusión", a la vecina del quinto es "divulgación". Para lo segundo recordemos que el verbo *divulgar* se parece al adjetivo *vulgar*.

Aunque esto que estoy contando es un debate ya superado entre los expertos en la divulgación científica, aún quedan muchos profesionales de la Ciencia que olvidan que para divulgar habrán de librarse previamente de la contaminación de sus propios esquemas de conocimiento, lanzarse de cabeza del segundo piso del edificio del saber al primero... y eso dueleeeee... Es muy difícil que al contar lo que hacemos a la vecina del quinto no se nos escape algún ramalazo de nuestra deformación profesional. Esa inercia se ve incluso en las redacciones de muchos documentos en los que se habla de las virtudes de una "divulgación rigurosa". Como es evidente, hacer que alguien entienda algo en poco tiempo requiere atajos, sacrificios de ciertos conceptos para sacar otros adelante, lo que no es del agrado de todo el mundo... Sí, aún quedan puristas que se echan las manos a la cabeza ante algunas licencias que nos tomamos los divulgadores. Pero a esos yo les pregunto:

- "¿Cómo cuenta usted el átomo de hidrógeno en clase, incluso en los primeros años de un grado en física".

- "Puess... una carguita positiva en el medio y otra negativa dando vueltas, circulares, así en plan planetario"...

Ah, pues en ese caso sepa usted que le está dando la patada al rigor, porque esa imagen de la carga negativa describiendo una trayectoria circular alrededor del núcleo es el mejor ejemplo de atajo conceptual, de deformar realidades, de saltarse el rigor para llegar a buen puerto. Y es que la resolución del átomo

de hidrógeno, como Dios manda, complica demasiado algunos razonamientos en los primeros cursos de la formación de los alumnos universitarios de ciencias. Esa *vulgarización* de la realidad del átomo de hidrógeno es suficiente y conveniente para explicar muchas cosas. Así que lector, si alguna vez se lanza a divulgar el conocimiento científico y sufre alguna puya "por falta de rigor", recurra a este ejemplo.

LA DIFERENCIA ENTRE DIVULGAR Y ENSEÑAR

La Ciencia es sistema y estructura, los esquemas de conocimiento científicos son árboles en los cuales las ramas pequeñas salen de las grandes, y éstas a su vez salen de un tronco. Como todos sabemos, a un árbol le lleva tiempo crecer; una cosa parecida ocurre con la Ciencia. A un estudiante de Física solo se le empieza a enseñar la teoría de la relatividad en segundo curso (y se le completa en tercero). Como alguien se la enseña (tras haber adquirido la base que le dan sus años de trayectoria previa y el soporte de las demás asignaturas y haberla estudiado y rumiado), llega a un punto en el cual la aprende y queda capacitado para resolver los problemas que se le planteen, de un modo *riguroso*. Ese mismo estudiante posiblemente haya visto, mucho antes, contenidos divulgativos sobre la teoría de la relatividad (en artículos, libros, alguna conferencia...), con lo cual la habrá *conocido*.

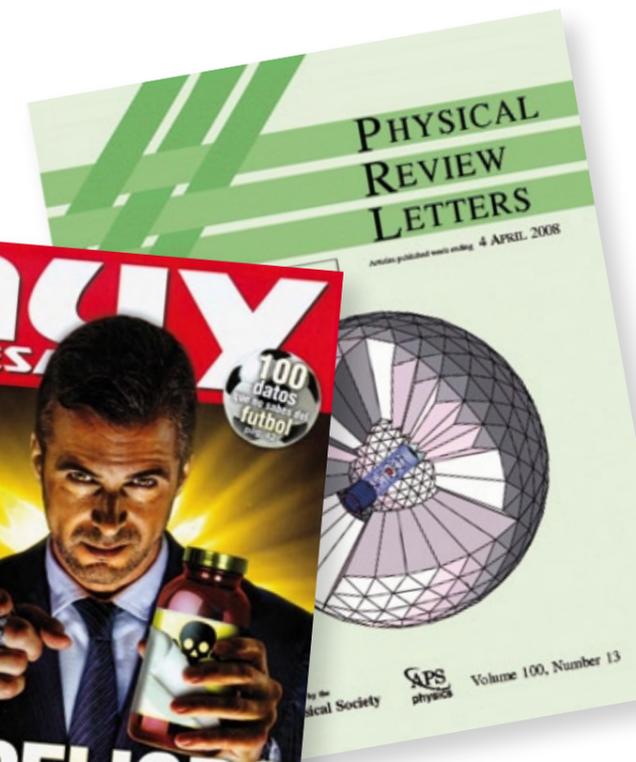
¿A dónde quiero llegar, querido lector, con todo este mareo semántico? A afirmar (aunque sea con la boca pequeña) que con la divulgación científica no se puede enseñar ciencia, en su acepción de *instruir* (instruir = comu-



nicar sistemáticamente ideas, conocimientos o doctrinas). La divulgación sí puede enseñar ciencia en su acepción de "mostrar o exponer una cosa, para que sea vista y apreciada", labor digna e importante que cumple el deber de democratizar a la sociedad, y prepararla y concienciarla para la toma de decisiones libre y responsablemente. El aprendizaje científico (aprender= adquirir el conocimiento de alguna cosa por medio del conocimiento o de la experiencia) se debe hacer en los libros de texto. La Ciencia de verdad está en el *Physical Review Letters* y no en *Muy Interesante* (una excelente revista divulgativa, desarrollada de un modo brillante, que quede claro).

Jorge Mira

Área de Electromagnetismo
Facultad de Física
Universidad de Santiago de Compostela



An aerial photograph showing a coastal town with buildings and a harbor. A massive tsunami wave is crashing against the shore, with white foam and dark water. A small boat is visible in the water. The title 'TERREMOTOS Y TSUNAMIS' is overlaid in a large orange box on the right side of the image.

TERREMOTOS Y TSUNAMIS

“Se ha confirmado repetidamente que mitigar las consecuencias desastrosas de estos eventos se sustenta en tres pilares básicos: investigación, prevención y educación.”

POR ÁLVARO GONZÁLEZ

Terremotos y tsunamis

UNA MAÑANA DE NOVIEMBRE

Es media mañana del uno de noviembre de 1755, y bajo las aguas del Atlántico, al suroeste de la Península Ibérica, se está fraguando la mayor catástrofe natural conocida en la historia de Europa Occidental.

Repentinamente, un bloque rocoso, de cientos de kilómetros de anchura, comienza a desplazarse bajo el fondo marino. Ha sido deformado lentamente, durante siglos, por las fuerzas del

interior de la Tierra. Hoy ese empuje hace que llegue a vencer la fricción con el bloque adyacente. Arrastrándose sobre este, avanza durante nueve minutos, hasta varias decenas de metros, y levanta consigo parte del fondo del mar. Añade así algo más de altura a las montañas submarinas próximas al Cabo de San Vicente.

El roce entre ambos bloques a lo largo de esa superficie de fractura que los separa (*falla*, en la jerga geológica) es áspero. Por ello, parte de la energía colosal implicada en el proceso se libera en forma de temblor, esto es, en *ondas*

sísmicas, que se propagan a varios kilómetros por segundo por el interior y la superficie de la Tierra. La magnitud de este temblor (una medida de la energía total liberada en forma de estas vibraciones) es de aproximadamente 8.7.

En pocos minutos, las sacudidas recorren buena parte de la Península y del noroeste de África. Decenas de miles de edificios ceden a ellas y se derrumban total o parcialmente. Numerosos feligreses son víctimas del derrumbe de iglesias, especialmente visitadas debido a la fecha y hora. Las más afectadas son las de esbeltas

hechuras y atrevidas bóvedas. Sus arquitectos habían diseñado estas estructuras para soportar su propio peso, pero no las fuerzas añadidas que el terremoto les impone.

El temblor es especialmente desastroso en el suroeste de la Península y el noroeste de Marruecos, por ser estas las regiones más cercanas al foco. Pero, en general, causa daños en gran parte de Portugal y España (en Zaragoza, por ejemplo, al Palacio de Sástago) y se llega a sentir a miles de kilómetros de distancia.

Lisboa acabaría por dar nombre a este terremoto. Solo en esa ciudad, el terremoto y los incendios que se desatan destruyen unas 13.000 viviendas (Pereira, 2006). Buena parte de la población, alejándose de las edificaciones dañadas, busca refugio en el puerto. Ese es, por desgracia, el escenario de la segunda parte de la tragedia.

El fondo marino, al elevarse, ha empujado la masa de agua que tenía encima. Este desplazamiento también se propaga como una onda, que, aunque mucho más lenta que las ondas sísmicas, avanza rápidamente. En océano abierto sobrepasa los 900 km/h, velocidad similar a la de un avión a reacción.

Al acercarse a la costa, este oleaje se va frenando por la menor profundidad, y gana altura: la mayor parte de lo que pierde en energía cinética (al disminuir su velocidad) lo gana en energía potencial (esto es, elevándose). Esto también ocurre con las olas normales, causadas por el viento. Pero las originadas en este tipo de movimientos bruscos del fondo marino son especiales: vistas desde arriba, sus crestas están mucho más separadas entre sí que lo normal. Mientras que las olas habituales vienen y van, elevándose y rompiendo en la costa cada pocos segundos, las de este día lo hacen con un periodo de tiempo mucho más largo, causando que la línea de costa avance o retroceda como una sucesión de mareas especialmente



Ruinas del Convento do Carmo en Lisboa, destruido por el terremoto de 1755, y conservadas como un recuerdo de aquella tragedia.

Cortesía de Bert Kaufmann.

bajas o altas, y especialmente rápidas. Son un maremoto o –usando el sinónimo de origen japonés– un tsunami.

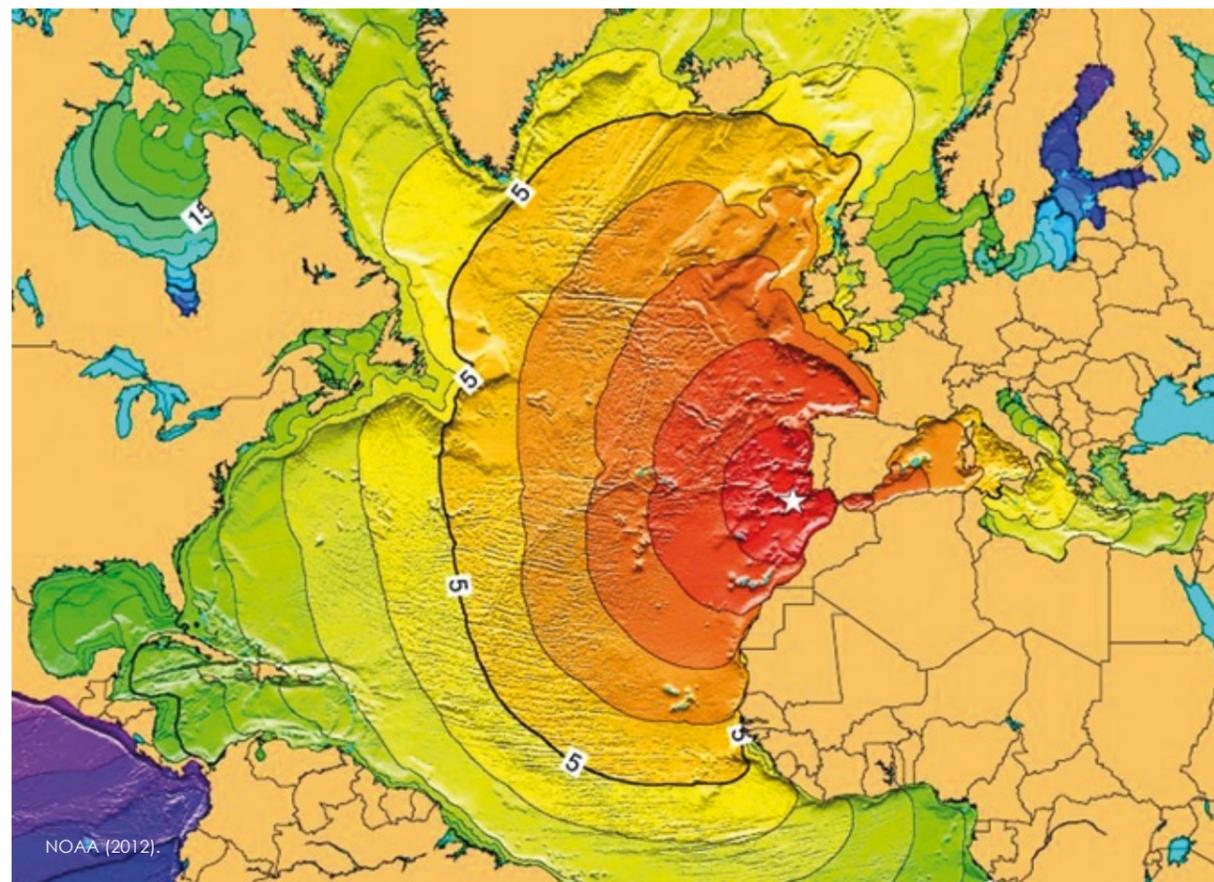
No siempre ocurre así, pero en esta mañana en Lisboa la primera ola del tsunami que llega a la costa, unos cuarenta minutos después de originarse mar adentro, es un valle. Por ello, el gentío agolpado en el puerto ve cómo el nivel del mar baja, y los restos de antiguos naufragios quedan al descubierto. En pocos minutos, llega una cresta, a modo de una inundación, que arrastra consigo barcos, escombros y personas. El tsunami penetra tierra adentro a favor del estuario del Tago, y se sucede durante horas en varias idas y venidas de las aguas.

Que una catástrofe fuese capaz de arruinar Lisboa, capital de un imperio, en un solo día supuso un serio revés para la filosofía europea, en ple-

na época de la Ilustración. Por ejemplo, Voltaire lo plasmó en su obra *Cándido*, en la que atacó el optimismo imperante de que este era “el mejor de los mundos posibles”, al llevar al protagonista a Lisboa en el día de su desastre. Semejantes acontecimientos, y lo especial de la fecha, motivaron intensas discusiones entre los que defen-

.....

Tiempo de llegada (en horas) del tsunami del 1 de noviembre 1755 desde el momento de originarse en el lugar marcado con una estrella. El cálculo concuerda con lo descrito en crónicas históricas. Cada curva de nivel indica una hora más de tiempo de recorrido. En menos de una hora las olas destruyeron costas de Portugal, España y Marruecos. Alcanzaron, por ejemplo, a Cornualles en cuatro horas, a las islas del Caribe en ocho, y a los Países Bajos en diez.



“Que una catástrofe fuese capaz de arruinar Lisboa, capital de un imperio, en un solo día supuso un serio revés para la filosofía europea, en plena época de la Ilustración.”

dían un origen natural y los que los que argumentaban un castigo divino (Udías, 2009).

Los grandes tsunamis afectan a todo un océano (ver figura). El de 1755 arrasó parte de las costas atlánticas de la Península y Marruecos, pero también causó daños en mayor o menor medida en Madeira, Azores, Canarias, Inglaterra, Irlanda, y hasta en Cuba y otras islas del Caribe.

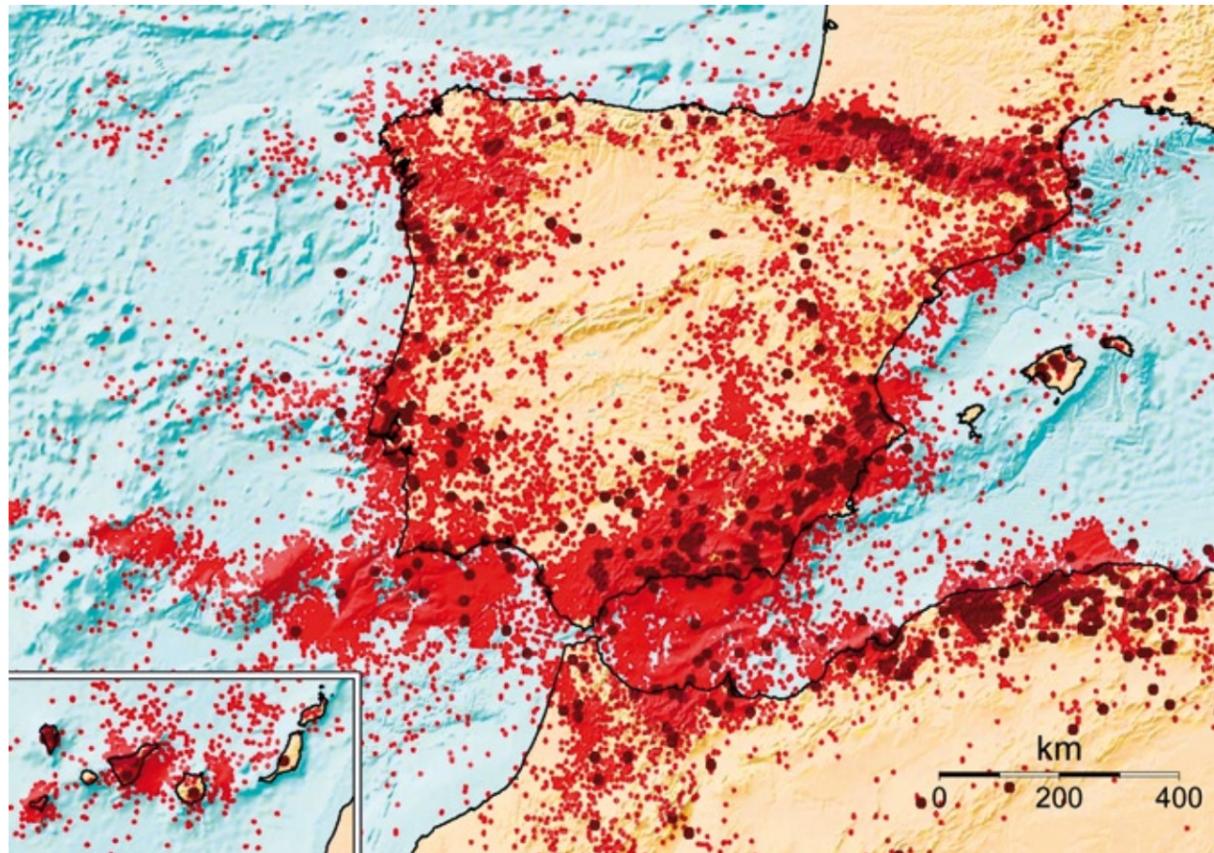
Los terremotos y tsunamis son probablemente los fenómenos naturales cotidianos con mayor capacidad de destrucción. En aquella mañana de noviembre los daños ascendieron a decenas de miles de víctimas mortales (Martínez Solares, 2001) y a terribles costes económicos, que para Portugal se estiman entre un tercio y la mitad de su producto interior bruto anual de la época (Pereira, 2006).

UN PROCESO COTIDIANO

Los terremotos como el de Lisboa son afortunadamente poco frecuentes, pero los de menor magnitud suceden a diario. La magnitud mide la energía liberada según una escala logarítmica: por cada unidad de magnitud más, la energía liberada es unas 32 veces mayor; por cada dos unidades es mil veces mayor, y así sucesivamente. A diferencia de otros fenómenos u objetos, los terremotos no tienen un tamaño típico: por cada terremoto de una magnitud dada, hay unos 10 de la magnitud precedente.

REFERENCIAS

- Amante C. y Eakins B.W. (2009) *ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis*. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp.
- Atwater B.F., Cisternas V.M., Bourgeois J., Dudley W.C.; Hendley II J.W. y Stauffer P.H. (2001) *Sobreviviendo a un tsunami: lecciones de Chile, Hawái y Japón*. US Geological Survey Circular 1218 (en español) 18 pp. <http://pubs.usgs.gov/circ/c1218/>
- Badal J., Vázquez-Prada M. y González Á. (2005): Preliminary quantitative assessment of earthquake casualties and damages. *Natural Hazards*, 34, 353-374.
- Corral Á. (2004) Long-term clustering, scaling, and universality in the temporal occurrence of earthquakes. *Physical Review Letters*, 92, 108501.
- Chu R., Wei S., Helmberger D.V., Zhan Z., Zhu L. y Kanamori H. (2011) Initiation of the great M_w 9.0 Tohoku–Oki earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 308, 277-283.
- García-Mayordomo J. y 43 coautores (2012) The Quaternary active faults database of Iberia (QAFI v.2.0). *Journal of Iberian Geology*, 38, 285-302.
- Giardini D., Jiménez M.J. y Grünthal G. (editores, 2003). *European-Mediterranean Seismic Hazard Map*. European Seismological Commission.
- González Á. (2009): Mapa de localizaciones probables de futuros terremotos en la Península Ibérica, Baleares y Canarias. *Seguridad y Medio Ambiente*, 114, 44-54.
- González Á. (2010): «Nearest»: An empirical, non-parametric, forecasting model based on nearest-neighbour distances between earthquakes. *European Seismological Commission 32nd General Assembly*. Montpellier, Francia, p. 71.
- González Á., Gómez J.B. y Pacheco A.F. (2005) The occupation of box as a toy model for the seismic cycle of a fault. *American Journal of Physics*, 73, 946-952. [Erratum (2007) 75, 286.]



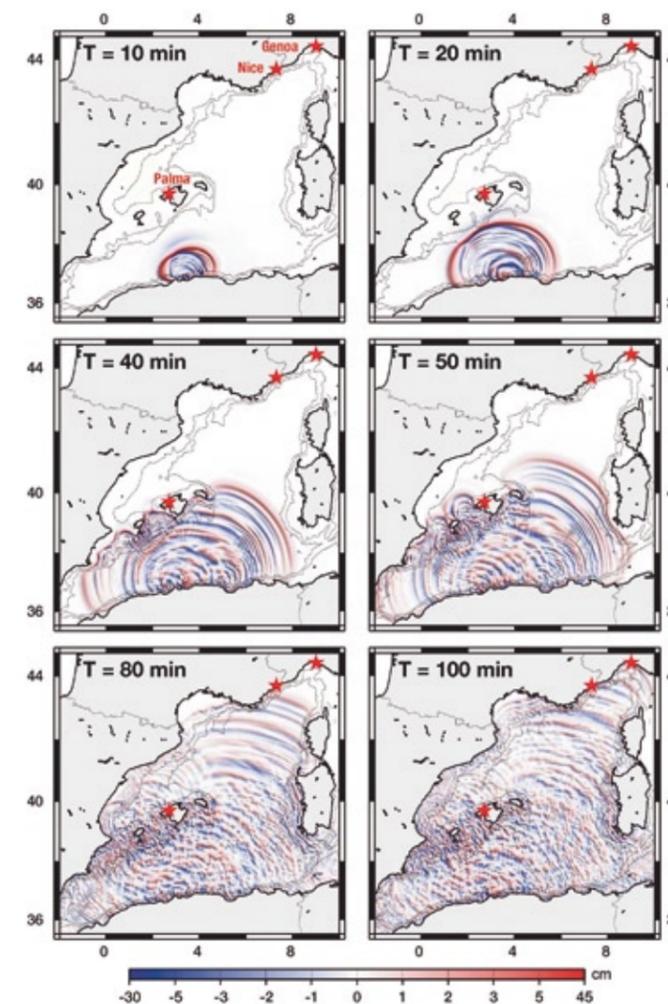
Terremotos en España y alrededores, desde época histórica hasta mayo de 2012. En total se muestran cerca de 79.000 epicentros. En rojo oscuro se han destacado los más de 800 que causaron daños considerables. Fuente: Elaboración propia, con datos del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.es) sobre modelos digitales del terreno (Amante y Eakins, 2009; Zitellini et al., 2009).

Las redes de instrumentos actuales permiten detectar en España y alrededores cada día varios terremotos de magnitud 2 o superior. Raramente ocurren terremotos de magnitud superior a 7. El último, en 1969, con magnitud 7.3, se originó en las proximidades del de 1755, e hizo temblar a casi toda la Península. Y se conocen más de veinte tsunamis que hayan afectado a las costas españolas desde la antigüedad, el último en 2003.

La inmensa mayoría de los terremotos se deben a la fricción entre bloques rocosos frágiles, que, deformados elásticamente, se mueven bruscamente uno con respecto a otro. El proceso es análogo a la vibración que generamos cuando conseguimos arrastrar un mueble pesado sobre el suelo. Para que estos desplazamientos generen terremotos, es necesario que las rocas involucradas se comporten de manera frágil. Cuando, a partir de cierta profundidad, la temperatura supera, aproximadamente, los 300 grados centígrados, las rocas pierden su rigidez, y se deforman lentamente sin romperse y sin que se genere ninguna vibración.

En los mayores terremotos, estos desplazamientos se pueden medir con mucho detalle, gracias a la geodesia de alta precisión (por ejemplo, la basada en el sistema GPS). Cuando esos bloques llegan hasta la superficie del terreno, los desplazamientos pueden apreciarse a sim-

Simulación del tsunami de Baleares de 2003 (tomada de Hébert y Alasset, 2003). Originado por un terremoto de magnitud 6.9 frente a la costa de Argelia, causó considerables daños materiales en barcos atracados en puertos de las islas. Su modesta altura (expresada aquí en rojo para las crestas y en azul para los valles) localmente llegó a amplificarse hasta los dos metros. Se registró en los mareógrafos de los puertos de Palma, Niza y Génova, entre otros. En la propagación del tsunami influyó la profundidad del fondo marino (aquí indicada por líneas de nivel cada 1000 metros).



“Las redes de instrumentos actuales permiten detectar en España y alrededores cada día varios terremotos de magnitud 2 o superior.”

- Hébert H. y Alasset P.-J. (2003) The tsunami triggered by the 21 May 2003 Algiers earthquake. *Euro-Mediterranean Seismological Centre Newsletter*, 20, 10-12.
- ICEF - International Commission on Earthquake Forecasting for Civil Protection (2011) Operational earthquake forecasting. State of knowledge and guidelines for utilization. *Annals of Geophysics*, 54, 315-391.
- Ito Y., Tsuji T., Osada Y., Kido M., Inazu D., Hayashi Y., Tsuchida H., Hino R. y Fujimoto H. (2011) Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geophysical Research Letters*, 38, L00G05.
- Kafka A.L. y Ebel J.E. (2011) Proximity to past earthquakes as a least-astonishing hypothesis for forecasting locations of future earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101, 1618-1629.
- Krüger F. y Ohrnberger M., (2005) Tracking the rupture of the $M_w = 9.3$ Sumatra earthquake over 1,150 km at teleseismic distance. *Nature*, 435, 937-939.
- Martínez Solares J.M. (2001) *Los efectos en España del terremoto de Lisboa (1 de noviembre de 1755)*. Monografía 19, Instituto Geográfico Nacional, 756 pp.
- Ministerio del Interior (2006) *Riesgo sísmico: programa para centros escolares*. Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Madrid, 92 pp. www.geonaut.eu/riesgo_sismico.pdf
- Ministerio del Interior (2011) *Riesgo de tsunamis: programa para centros escolares*. Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Madrid, 58 pp. www.geonaut.eu/riesgo_tsunamis.pdf

Terremotos y tsunamis

ple vista. Estas deformaciones permanentes en el paisaje y las rocas superficiales, investigadas desde el punto de vista geológico, permiten averiguar dónde hay fallas que causaron terremotos en el pasado. La *paleosismología* es una rama de la geología que, gracias a excavaciones de detalle en las fallas, se ocupa de medir estos desplazamientos y averiguar su antigüedad. Así, es posible reconstruir la serie de los últimos grandes terremotos en cada falla, incluso cuando no hay registros instrumentales ni históricos de ellos.

Las vibraciones de un terremoto se generan a partir de toda el área de la falla donde los bloques rozan uno contra otro. Al generar un terremoto, estos bloques no se desplazan como objetos totalmente rígidos, sino que la fricción mutua se vence primero en un



.....

Los tres tipos principales de fallas, fotografiadas justo después de que sus bloques se desplazasen generando un gran terremoto. En estos tres ejemplos, las roturas del terreno tuvieron longitudes kilométricas. Arriba: Falla normal o extensional (Edgecumbe, Nueva Zelanda, 1987) en la que un bloque se ha hundido con respecto a otro. Centro: Falla inversa o compresiva (Ji-Ji, Taiwan, 1999) en la que un bloque (a la izquierda) se ha elevado, montándose sobre otro; nótese cómo la pista de atletismo se ha acortado. Abajo: Falla de desgarre (El Centro, California, 1979) en la que los bloques se han desplazado horizontalmente, cortando las hileras de un campo de cultivo (fuentes: Institute for Geological and Nuclear Sciences, Taiwan 921 Earthquake Museum y University of Colorado, respectivamente).

“Las fallas y las fuerzas que producen terremotos en ellas se mantienen activas durante miles o hasta millones de años.”

punto concreto (el *hipocentro*) y desde ahí comienza una secuencia muy compleja de movimientos. Esta se puede reconstruir gracias al análisis, mediante la *sismología* en su sentido más tradicional, de las ondas sísmicas registradas en los instrumentos diseñados para ello (los *sismómetros*). Para representar a un terremoto en un mapa suele emplearse el *epicentro*: la proyección en la superficie terrestre de ese primer punto de origen de la vibración (ver figura página 30).

En términos sencillos, la magnitud de un terremoto será mayor cuanto mayores sean esos bloques en movimiento, más se desplacen uno con respecto a otro, y más rígidos sean. Estos tres factores contribuyen a que el temblor dure más tiempo y la amplitud de las oscilaciones sea mayor. En los mayores terremotos, de magnitud 9 o superior, la longitud de los bloques en movimiento supera los cientos de kilómetros (más de 1100 kilómetros en el terremoto que originó el tsunami del Índico en el 2004 – Krüger y Ohrnberger, 2005), los desplazamientos máximos llegan a varias decenas de metros (hasta 80 metros en el de Japón de 2011 - Ito *et al.*, 2011) y la duración alcanza varios minutos. Los terremotos más pequeños que se pueden registrar (en condiciones muy especiales) corresponden a pequeños crujidos generados al desplazarse bloques de algunos centímetros de longitud.

La parte exterior, frágil, de la Tierra, está siendo constante y lentamente deformada desde el interior de esta, por lo que se encuentra fragmentada en bloques de todos los tamaños. Las *placas tectónicas* son los bloques principales (del tamaño comparable al de continentes y océanos) pero en realidad están subdivididas en otros bloques menores, a todas las escalas, por una red compleja de fallas. Esta geometría es un *fractal*: tiene un aspecto semejante, independientemente de la escala a la que la observemos. Las fallas no tienen un tamaño típico, y son más frecuentes cuanto más pequeñas. De ahí que un conjunto de fallas genere también terremotos sin tamaño típico, más frecuentes cuanto de menor magnitud.

- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration (2012) *Tsunami travel time maps for the Atlantic, Indian and Pacific Oceans*. http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_travel_time_events.shtml
- Pereira A.S. (2006) *The Opportunity of a Disaster: The Economic Impact of the 1755 Lisbon Earthquake*. Centre for Historical Economics and Related Research at York, Discussion Paper Series 03/06. 37 pp.
- Reid H.F. (1910) *The Mechanics of the Earthquake. The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission*, Vol. 2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C., 192 pp.
- Udías, A. (2009) *Earthquakes as God's punishment in 17th- and 18th-century Spain*. En: Kölbl-Ebert, M. (ed.) *Geology and Religion: A History of Harmony and Hostility*. Geological Society, London, Special Publications, 310, 41–48.
- van Stiphout T., Wiemer S. y Marzocchi W. (2010) *Are short-term evacuations warranted? Case of the 2009 L'Aquila earthquake*. *Geophysical Research Letters*, 37, L06306.
- Zitellini N., Gràcia E., Matias L., Terrinha P., Abreu M.A., DeAlteriis G., Henriët J.P., Dañobeitia J.J., Masson D.G., Mulder T., Ramella R., Somoza L. y Díez S. (2009) *The quest for the Africa–Eurasia plate boundary west of the Strait of Gibraltar*. *Earth and Planetary Science Letters*, 280, 13–50.

Terremotos y tsunamis

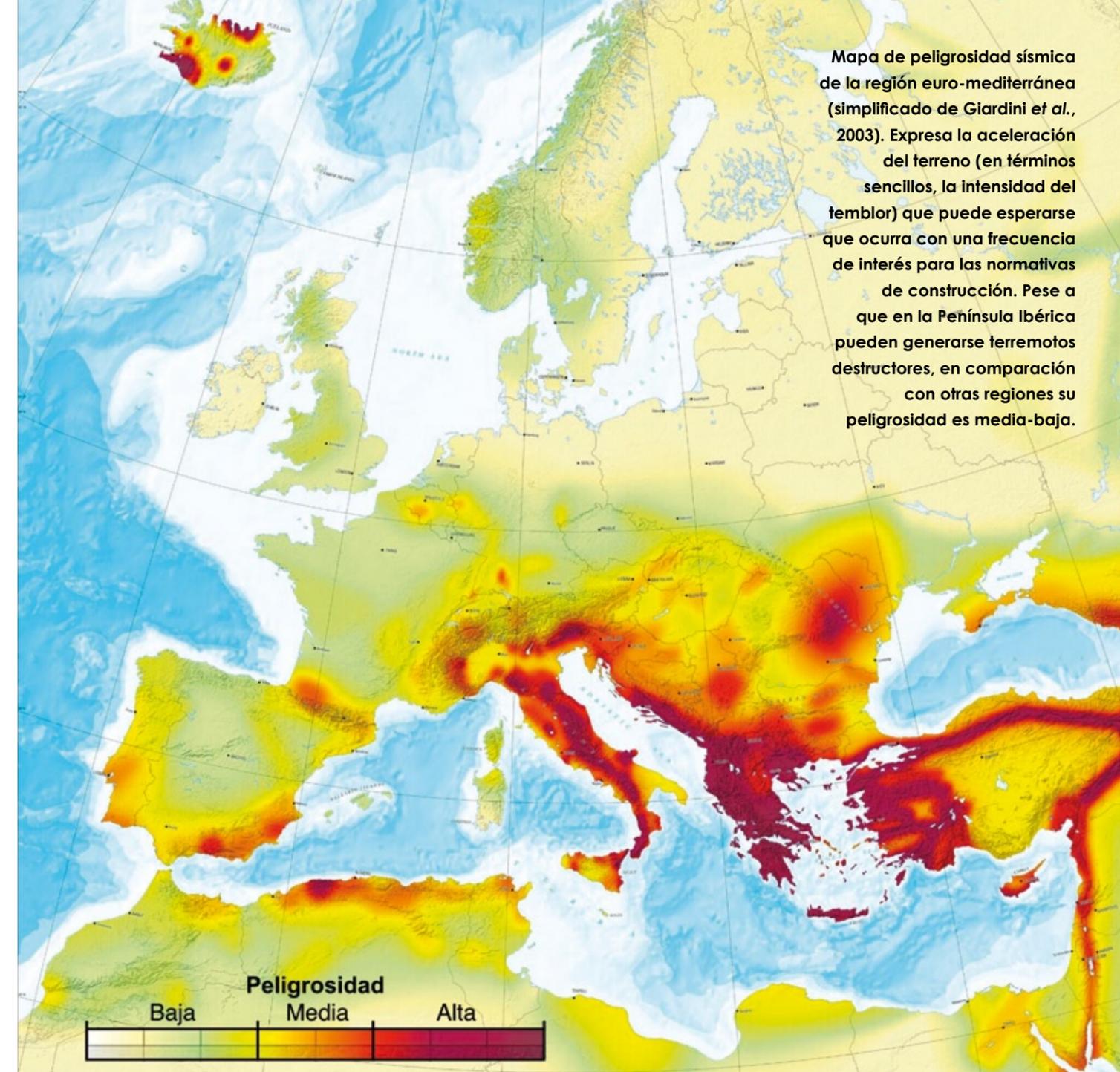
PRONÓSTICO DE TERREMOTOS

Las fallas y las fuerzas que producen terremotos en ellas se mantienen activas durante miles o hasta millones de años. Por ello, sistemáticamente, los terremotos se generan en las proximidades de los terremotos previos, lo que es el principal fundamento para trazar mapas de pronóstico que indiquen las localizaciones más probables de futuros temblores (González, 2009, 2010; Kafka y Ebel, 2011). Calculando las frecuencias de terremotos de distintas magnitudes en cada región, y la intensidad de las sacudidas que causarían, es posible hacer mapas de *peligrosidad sísmica* a largo plazo que se usan como base de las normativas de *construcción sismorresistente*.

Es posible también pronosticar, hasta cierto punto, las víctimas y costes económicos esperables por un terremoto (teniendo en cuenta

la población y construcciones que serán afectadas). Basta un temblor moderado, pero originado a poca distancia de una población, para causar daños graves localmente (como el de Lorca de 2011, con una magnitud de 5.1). En un caso, relativamente probable, de un terremoto

Fallas conocidas que han registrado desplazamiento (y por tanto generado terremotos) en el pasado geológicamente reciente (periodo Cuaternario, últimos 2.6 millones de años) en la Península Ibérica y proximidades. La base cartográfica es un mosaico de imágenes tomadas desde satélite, y de batimetría del fondo marino. El mapa, coordinado por el Instituto Geológico y Minero de España, es interactivo (www.igme.es/infoigme/aplicaciones/QAFI/) y se ha logrado recopilar (García-Mayordomo et al., 2012) gracias al esfuerzo desinteresado de decenas de geólogos de numerosas instituciones españolas y portuguesas, incluida la Universidad de Zaragoza.



to de magnitud 6 generado justo bajo un área densamente poblada en España, serían de esperar centenares de víctimas mortales, y pérdidas económicas de miles de millones de euros (Badal et al., 2005). Este tipo de pronósticos se emplean a tiempo real para, una vez ocurrido un terremoto con daños potencialmente graves, enviar alertas automáticas a las autoridades y a servicios de protección civil.

La magnitud que puede alcanzar un terremoto concreto, sin embargo, sigue escapándose de

un pronóstico exacto. Parece lógico pensar que un sismo como el de Japón, Sumatra o Lisboa, capaz de cambiar el curso de la Historia, debería dar alguna pista previa de que se va a desencadenar. Sin embargo, si la hay, ésta sigue siendo elusiva. Además, es probable que ni siquiera una vez empezado el terremoto se pueda saber qué magnitud alcanzará. Por ejemplo, el de Japón de 2011 comenzó como un modesto movimiento, con un temblor de magnitud 4.9 (Chu et al., 2011). Este titubeo inicial, de unos segundos de duración, fue la gota que colmó

Terremotos y tsunamis

el vaso, y desencadenó que distintas secciones de los bloques de la falla comenzaran a desplazarse una tras otra, durante varios minutos, a modo de un dominó titánico, hasta sumar en total un terremoto gigantesco.

Asimismo, el momento exacto de ocurrencia de un terremoto concreto también sigue sin poder conocerse con antelación. Cuando se descubrió el mecanismo por el que se generan los terremotos (Reid, 1910) se pensó que bastaría con medir cuánta deformación elástica acumulaban los bloques de una falla, y cuál era el umbral de fricción que debía superarse, para pronosticar cuándo se produciría el siguiente desplazamiento. Pero las complejidades del proceso hacen que estos ciclos de movimiento de una falla (*ciclos sísmicos*) sean irregulares.

Aún así, es posible pronosticar su duración desde un punto de vista estadístico (por ejemplo, González *et al.*, 2005).

El problema se complica cuando consideramos que las fallas no están aisladas, sino que interaccionan entre sí. Al desplazarse bruscamente los bloques de una falla, desestabilizan también los de alrededor, que tienden a desplazarse a su vez, desencadenándose así una complicada secuencia de nuevos terremotos: las *réplicas*. Además, las propias ondas sísmicas de un terremoto son capaces de desencadenar el movimiento en otras fallas, incluso a miles de kilómetros de distancia del lugar de origen. Estos procesos de desencadenamiento operan a todas las escalas, y originan que los terremotos se agrupen en el tiempo de una manera

particular (Corral, 2004). En general, toda la parte exterior, frágil, de la Tierra se comporta a este respecto como un *sistema complejo* (investigado desde la *física de sistemas complejos* y la *física estadística*) cuyas propiedades surgen de las interacciones entre una infinidad de elementos (bloques).

Los pronósticos más detallados que somos capaces de hacer en la actualidad se plasman en mapas de probabilidades de terremotos que cambian con el tiempo, conforme se generan nuevos terremotos (ICEF, 2011). De forma semejante a los mapas de pronóstico meteorológico, estos mapas se actualizan a diario, se mejoran y ponen a prueba en tiempo real, conforme se tienen más datos de los terremotos de una región. Su principal limitación es que, en general, las probabilidades que se calculan suelen ser demasiado bajas como para tomar medidas drásticas.

Solo en algunos momentos, como en ciertas secuencias de réplicas, las probabilidades de que ocurran nuevos terremotos en un lugar son tan altas como para justificar una evacuación masiva. En general, un consejo a tener en cuenta es que conviene evacuar los edificios (al menos los más vulnerables) durante algunas horas si acaba de sentirse un terremoto fuerte (van Stiphout *et al.*, 2010). En Lorca, en 2011, se evitó una tragedia mayor gracias a que, intuitivamente, buena parte de la población evacuó sus casas tras un temblor que sucedió menos de dos horas antes del terremoto principal.

HACIA UN FUTURO MÁS SEGURO

Planificar frente a los grandes terremotos y tsunamis es especialmente complicado. Se trata de eventos que, pese a suponer un elevado riesgo, son muy poco frecuentes en un lugar concreto, por lo que difícilmente encajan en los planes a corto plazo en los que funciona nuestra sociedad.

Se ha confirmado repetidamente que mitigar las consecuencias desastrosas de estos eventos se sustenta en tres pilares básicos: investigación, prevención y educación. En investigación, tanto fundamental como aplicada, se ha hecho ya hincapié en los párrafos anteriores. La prevención implica, en primer lugar, construir los edificios empleando *ingeniería sísmica* para resistir, al menos, los temblores más probables durante su vida útil. Afortunadamente, en España la normativa de construcción sismorresistente es de cumplimiento obligatorio para todos los edificios nuevos. Prevenir incluye, también, ordenar el territorio (por ejemplo, para evitar construir en zonas fácilmente inundables por tsunamis), desarrollar *sistemas de alerta temprana* y elaborar planes de emergencia. En cuanto a la educación, se recomienda consultar publicaciones accesibles (por ejemplo: Atwater *et al.*, 2001; Ministerio del Interior, 2006, 2011) que, en términos sencillos, detallan cómo actuar con sabiduría antes, durante y después de estos eventos, y así reducir nuestro riesgo y el de nuestras familias.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se ha elaborado durante una estancia de investigación en el Centro Alemán de Ciencias de la Tierra (GFZ Deutsches GeoForschungsZentrum; Potsdam, Alemania), en la sección "Riesgo sísmico y alerta temprana", gracias a una beca de posgrado de la Fundación Caja Madrid. Agradezco las revisiones de Jorge Pedro Galve, Fabián González, y María José Gómez.

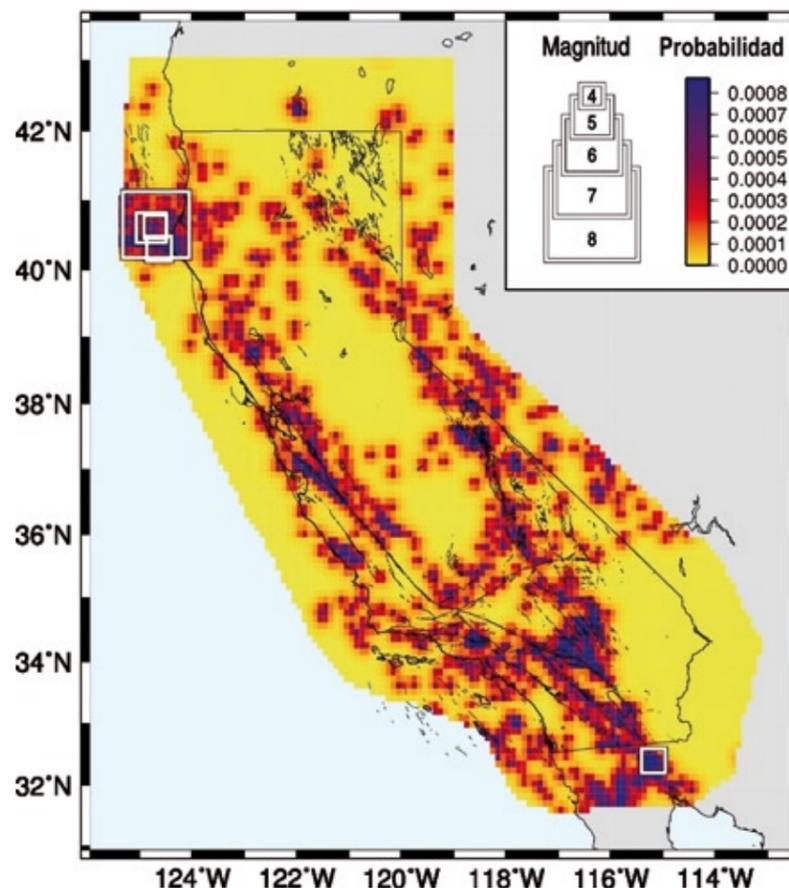
Álvaro González

Dpto. de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

GFZ Deutsches GeoForschungsZentrum

www.geonaut.eu

Mapa de pronóstico de terremotos para el 10 de enero de 2010 en California (González, 2010) realizado en tiempo real dentro del proyecto internacional CSEP. Todos los terremotos de magnitud cuatro o superior de ese día (localizados en el centro de cada cuadrado blanco, respectivamente) se generaron en zonas de probabilidad relativamente alta (tonos oscuros). Éstas se delimitan en función de la proximidad a terremotos previos. Los mapas y resultados de éste y otros métodos de pronóstico se actualizan automáticamente en Internet (www.cseptesting.org).





EL DÍA MÁS LARGO DE MI VIDA

“A -60°C , cualquier parte de tu cuerpo que no esté bien cubierta se puede congelar en dos o tres minutos.”

POR CARLOS POBES

Luna llena en el Polo Sur.

Fotografía cedida por el autor.

El día más largo de mi vida

Hace ahora aproximadamente 1 año tomaba una de las decisiones más locas de mi vida. Posiblemente no muy lejos de donde estáis leyendo esto, enviaba la solicitud para un puesto como Winter Over para el experimento IceCube. La verdad es que no tenía muy claro en qué consistía exactamente, pero tampoco pensaba conseguirlo, así que daba igual. También en algún rincón de la Facultad de Ciencias, un poco después, recibía una llamada desde Madison (EEUU) para entrevistarme.

- ¿Sabe usted donde se mete?
- Sí, sí claro, aislamiento, 6 meses de noche, mucho frío.
- Ok, ya le llamaremos.
- Sure.

Realmente, la entrevista fue algo más larga (duró hora y media, más o menos), pero en esencia fue algo así. El caso es que sí, me llamaron, y en junio me invitaron a Madison para una segunda entrevista. La revisión médica más exhaustiva de mi vida y descubrir una ciudad realmente interesante, ¡todo a gastos pagados! Podría haber terminado la historia ahí, y aun así habría merecido la pena, pero pensaba que, si me habían llevado hasta allí, no podían decirme que no. Así que cuando me llamaron para decirme que estaba 'primer' reserva casi me da algo. En ese momento no tenía plan B, así que sonaba a desastre. Fueron semanas tensas hasta que volvieron a llamarme. Siempre es desagradable que tu alegría se construya sobre la tristeza de otra persona, alguien a quien, además, había conocido durante la entrevista en Madison. La revisión médica se la toman realmente en serio, y cualquier duda te puede dejar fuera, como así fue con mi compañero.

Pero el caso es que ¡yo estaba dentro! Tuve el tiempo justo para solicitar la visa y hacer la maleta. Dos meses en Estados Unidos recibiendo

formación en primeros auxilios, extinción de incendios y, por supuesto, cómo manejar el mayor telescopio de neutrinos que existe actualmente. La información te sale por las orejas y tienes que hacer frente a una decisión aparentemente importante, ¿qué llevarte al Polo Sur para estar todo un año allí perdido? Una semana exprés en casa para despedirte de la familia y, para cuando te quieres dar cuenta, estás en un avión militar con un montón de ropa de abrigo encima, mirando por la ventanilla con cara de "pasmao." Escala en McMurdo y al día siguiente, tras tres horas de vuelo en un Hércules

LC-130, bajas la escalerilla todo nervioso y a la primera exhalación se te empañan las gafas. Te las quitas como puedes, porque llevas las manos 'atrapadas' en tus manoplas, y allí está la gente que ha salido a recibirte, la base majestuosa que va a ser tu casa durante los siguientes doce meses y un blanco deslumbrante, mires donde mires. Sobrecoge, para que nos vamos a engañar.

Las dos primeras semanas son las peores. Alarmas de incendio a las cinco de la mañana a las que tienes que responder, porque te ha tocado en el equipo antincendios, adaptarte a la altitud (3200 m la alti-

“Un incendio aquí sería un desastre, sobre todo en el invierno en el que, debido a las bajas temperaturas, no puede volar ningún tipo de vehículo.”



Vista aérea de la estación Amundsen Scott y del IceCubeLab tomada desde un avión LC-130.

El día más largo de mi vida

tud fisiológica media), a la extrema sequedad (menor del 10% dentro de la base, los primeros días se me caía la piel a tiras), aprender dónde está cada cosa, intentar retener (sin éxito) decenas de nombres de gente amabilísima a la que desearías poder responder, también, por su nombre cuando te dicen 'how are you today, Carlos?' Pero, lo peor es tomar el relevo de los Winter Over de ese año, que en pocos días intentan transmitirte todo lo que debes saber para hacer frente a cualquier incidencia. Recuerdo el primer día que paré la adquisición del telescopio. Solo tienes que darle a una tecla, porque todo está controlado por ordenador, pero fue un momento tenso.

Una vez superado ese periodo de adaptación, te encuentras, de repente, en el lugar más increíble del planeta. Gente encantadora, fiestas y bailes los fines de semana, partidos de baloncesto, voleibol, etc, una base, la Amundsen-Scott, que cuenta con todas las comodidades que uno pueda imaginar, o casi. Y un enclave absolutamente espectacular. El centenario de la conquista del Polo Sur ha atraído además a

numerosas expediciones hasta aquí, así que te encuentras enseñando tu casa a Jesús Calleja o Ramón Larramendi, o escuchando una charla de Borge Ousland (uno de los mejores exploradores polares de la historia). Ha sido un verano especial, muy especial. Y para los que nos gusta correr, ¡qué puede haber más espectacular que correr una maratón alrededor del Polo Sur el día de Nochevieja!

Antes de llegar a un sitio como este, te surgen cientos de preguntas que se van resolviendo poco a poco. A -20°C puedes aguantar un buen rato incluso casi en mangas de camisa (siempre que no sople viento). A -40°C empiezas a necesitar cubrirte la cara, pero puedes correr una hora al aire libre con zapatillas normales (y dos pares de calcetines). A -60°C , cualquier parte de tu cuerpo que no esté bien cubierta se puede congelar en dos o tres minutos. Sin embargo, dentro de la base la temperatura es muy agradable (en torno a 20°C). El agua está bastante restringida, porque se extrae de unos pozos donde se derrite hielo. Por eso solo tenemos derecho a dos duchas de dos minutos a la



“Katabaticwinds” son vientos que soplan hacia el suelo desde el interior de la Antártida hacia la costa, debidos al cambio de densidad del aire por las temperaturas extremas.

Mark Krasberg/NSF.



Carlos Pobes desde el Polo Sur.

Fotografía cedida por el autor.

“Una vez superado ese periodo de adaptación, te encuentras, de repente, en el lugar más increíble del planeta.”

semana pero, debido a la baja humedad aquí dentro, prácticamente no se suda, salvo que hagas ejercicio en el gimnasio o en la cancha. La comida es bastante buena y los postres, increíbles. Tenemos unas pocas horas de satélite al día, debido a nuestra particular ubicación, y la cobertura se va desplazando a lo largo del año, por eso hay días que prácticamente no puedes conectarte a internet, pero también a eso te acostumbras. A lo que cuesta más acostumbrarse es a las alarmas. El 90% de ellas son falsas pero, el día que tienes varias seguidas, te dejan en un estado de prealerta. Naturalmente, esa sensibilidad se justifica por el riesgo que supone aquí responder demasiado tarde a cualquier incidencia. Aunque todos los sistemas están duplicados e incluso triplicados, un incendio aquí sería un desastre, sobre todo en el invierno en el que, debido a las bajas temperaturas, no puede volar ningún tipo de vehículo y estamos totalmente aislados. Y aunque tenemos un pequeño quirófano, nadie tiene particular interés en pasar por él. Por cierto, no nos quitan el apéndice (aunque sí te controlan las muelas del juicio) y, de hecho, el año pasado se tuvo que operar

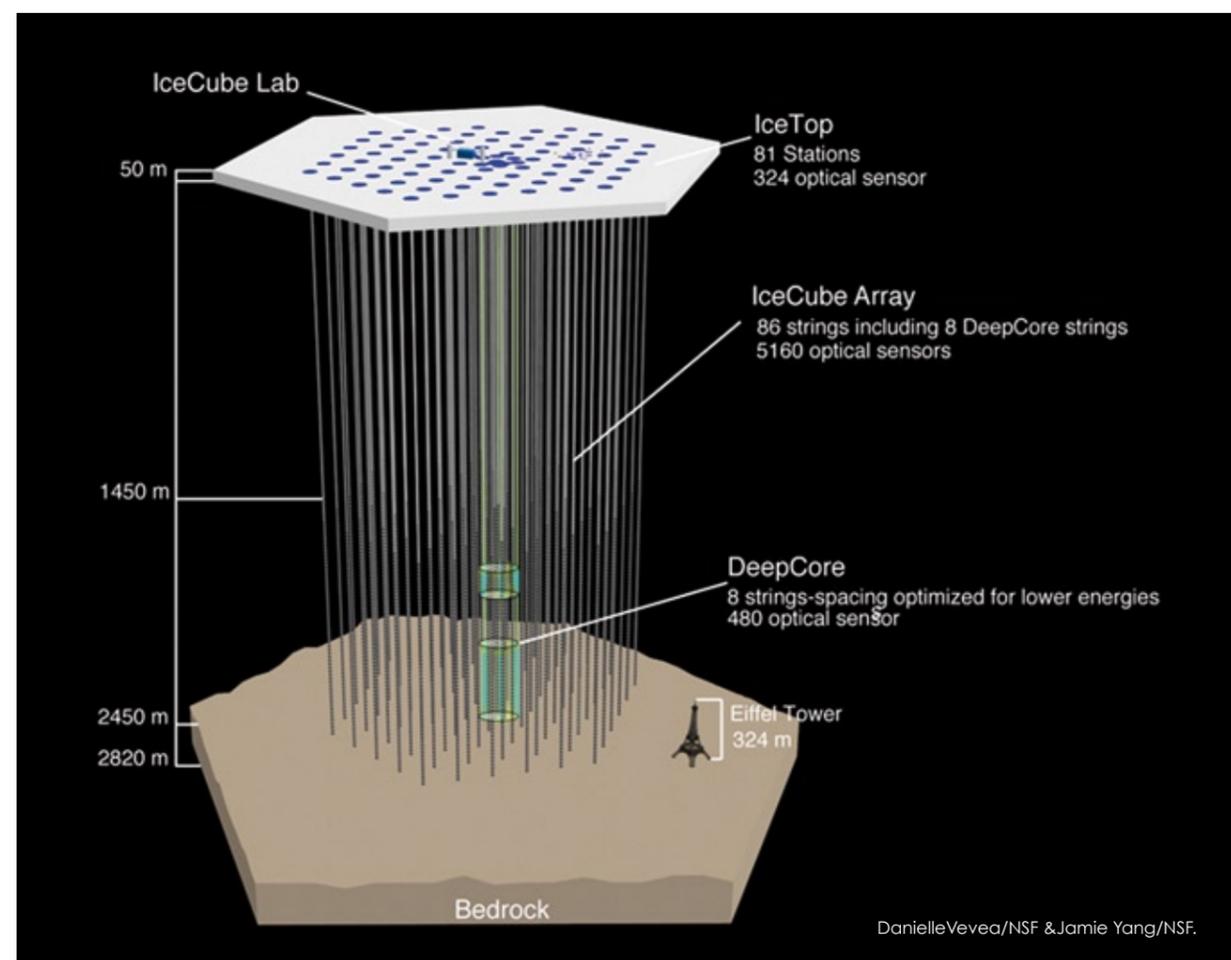
El día más largo de mi vida

durante el invierno una apendicitis. Además de las alarmas de incendios, llevamos encima el día entero una radio que nos avisa si hay cualquier problema con el experimento. Somos dos Winter Overs para IceCube, mi compañero sueco Sven y yo, y cada semana estamos uno de los dos de guardia para responder, sea la hora que sea. Aunque el verano ha sido un tanto intenso en ese sentido, porque se aprovecha para realizar actualizaciones y pruebas que a veces dejan al detector algo inestable, la cosa está mucho más tranquila ahora en invierno.

Pero hablando del experimento, ¿en qué consiste exactamente, y qué es eso de los neutrinos? Bueno, al igual que hay personas extrovertidas e introvertidas, entre las partículas elementales también las hay de distinto 'carácter'.

Y los neutrinos son las partículas conocidas más esquivas. Apenas interactúan con el resto del Universo que conocemos, así que son muy, muy difíciles de detectar. De hecho, cuando se empezaron a tener indicios de que una partícula así podía (o debía) existir, no estuvo claro que fuese posible llegar a detectarlos. Se tardó más de dos décadas en tener los instrumentos adecuados para ello. Primero se detectaron neutrinos procedentes de reactores nucleares, y poco

.....
El telescopio IceCube consiste en 86 cadenas que suman un total de 5,160 Digital Optical Modules (DOMs) utilizados para "ver" los destellos que produce en el hielo la interacción de partículas cargadas que se mueven más deprisa que la luz en ese medio.



después procedentes del Sol y de la atmósfera, lo que ha permitido, con el tiempo, confirmar con precisión cómo funciona el interior de nuestra estrella y algunas de las interesantísimas propiedades que tienen los neutrinos. La historia real de los neutrinos solares tiene tintes novelescos, porque los neutrinos no solo son tímidos sino que, además, les gusta cambiar de identidad, pero, bueno, ese es otro tema. Durante décadas hemos estudiado los neutrinos y todavía hoy, por ejemplo, no sabemos exactamente qué masa tienen.

En 1987, sucedió algo interesante. Un buen puñado de neutrinos, procedentes de una supernova que había explotado en la Gran Nube de Magallanes hace 170000 años llegó hasta los detectores terrestres. Se detectaron unos pocos, durante escasos segundos, pero fue suficiente para confirmar algunos aspectos de cómo se producen las explosiones de supernovas. Pues bien, a parte de esos neutrinos procedentes de la supernova SN1987a no hemos detectado neutrinos procedentes de otros lugares del Universo más allá de nuestro sistema solar. Sabemos que están ahí, y pueden ayudar a entender cuestiones fundamentales como el origen de los rayos cósmicos más energéticos (partículas, en su mayoría protones, que nos bombardean desde todas las direcciones con energías descomunales). Los detectores para captar neutrinos solares son enormes tanques de líquido rodeados por sensores de luz. Pero cuando nos planteamos cómo de grande deberíamos



El último DOM del detector IceCube descendiendo justo antes de las 18:00 del 18 de Diciembre de 2010 (hora local).

Robert Schwarz.



Uno de los DOM descendiendo en uno de los agujeros excavados en el hielo del Polo Sur.

IceCubeCollaboration/NSF.

construir un detector para captar neutrinos de otros lugares del Universo, resulta que, al menos, debe tener un volumen de 1 km^3 . ¿Alguna idea? Bueno, a alguien se le ocurrió que, si no podemos construir algo tan grande, tal vez encontremos en la naturaleza la solución. Y así es como surge IceCube. Gracias a los casi 3 km de espesor de la capa de hielo que cubre la Antártida, y a la extraordinaria transparencia del hielo en las profundidades, todo lo que hizo falta fue distribuir una serie de sensores de luz a lo largo y ancho de 1 km^3 . ¡El propio hielo es el medio de detección!

Cuando algún neutrino interactúa en el hielo genera muones energéticos, más rápidos que la luz en ese medio, que producen pequeños

destellos luminosos que pueden ser captados por estos sensores. En total se perforaron (con agua caliente a presión) 86 agujeros de casi 1 m de diámetro y 2.5 km de profundidad y, en cada uno, se instalaron 60 fotomultiplicadores. ¡Más de 5000 sensores de luz! La historia de la perforación es, en sí, fascinante, pensad por un momento que tiene que mantenerse el agujero en estado líquido durante el tiempo suficiente como para desplegar todos los sensores. Este proceso solo puede hacerse en verano y, a pesar de ello, en solo 5 temporadas se consiguió terminar. El 99% de los sensores funciona a la perfección. Las señales captadas por estos sensores son digitalizadas y enviadas por un cable a la superficie donde se recogen en un edificio (IceCubeLaboratory o ICL) en el que varios

cientos de máquinas intentan reconstruir, a partir de la información de cada sensor, la trayectoria de la partícula y su energía. A pesar de los filtros que se introducen para eliminar eventos que se sabe no son 'buenos', se genera nada menos que 1Tb al día de datos y, de esos, los 80Gb más interesantes se envían por satélite al centro de datos en Madison para su análisis. Aunque se detectan unos pocos neutrinos al día, y aproximadamente es posible establecer la dirección de incidencia, no es posible saber de dónde procede exactamente cada uno. Solo acumulando muchos de ellos, es posible que algunos empiecen a acumularse entorno a una dirección determinada de la esfera celeste. Si esa dirección coincide con algún objeto conocido, tendremos cierta seguridad de haber identificado finalmente una nueva fuente de neutrinos. Ese es el objetivo principal de IceCube pero, hasta el momento, no ha acumulado suficientes neutrinos para dar una respuesta concluyente. Es como intentar tomar una fotografía en condiciones de muy baja luminosidad en que tienes que aumentar la exposición. En este caso, para una foto del Universo tomada con neutrinos ¡se necesita una exposición de varios años! IceCube tiene además otros objetivos científicos, como el estudio de los rayos cósmicos, o la búsqueda de materia oscura. Además, puede ser sensible a la explosión de supernovas (solo si ocurre suficientemente cerca) y, como ya



Fotomultiplicadores esperando para ser instalados en los DOMs de IceCube.

Kael Hanson/NSF.

CONDICIONES EN EL POLO

Resulta sorprendente descubrir que el Polo Sur está a 2800 m de altitud y no porque aquí haya montañas sino porque la capa de hielo ¡tiene ese espesor! Además, la atmosfera aquí está más enrarecida de lo normal, eso hace que, en promedio, la presión atmosférica corresponda a la que uno experimentaría a unos 3200 m de altitud. Es por ello que las condiciones que experimenta el organismo (altitud fisiológica) son particularmente duras, y un pequeño porcentaje de personas sufre mal de altura, e incluso tiene que ser evacuado. La situación se agrava por la extrema sequedad del ambiente, que eleva el riesgo de deshidratación. A estas temperaturas, la cantidad de agua que puede contener el aire es muy escasa, de manera que la humedad relativa dentro de la estación puede ser inferior al 10%!

QUÉ LLEVARÍAIS A UNA ISLA DESIERTA

Esta pregunta, que alguna vez surge en conversaciones con amigos, siempre me había parecido absurda porque no pensaba que fuese a darse jamás el caso. Pero irse un año al Polo Sur, cuando menos, se le parece un poco.

La urgencia con la que me convocaron para ir a Madison, no permitió aclarar temas como éste.

Cuando llegué allí me dijeron que tenía unas semanas para enviar todo lo que quisiera aprovechando los envíos de material con IceCube, porque luego, como equipaje personal, hay bastantes limitaciones. Esto fue una sorpresa, así que tuve que hacer

El día más largo de mi vida

sabéis, el 'fogonazo' de neutrinos puede durar unos pocos segundos, así que es muy importante que IceCube esté tomando datos el mayor tiempo posible para que no los pierda.

Y ahí es donde entramos nosotros, los Winter Overs. Con tantos equipos funcionando en sincronía, no es difícil que algo falle o se estropee y, aunque muchas cosas se pueden controlar de manera remota, a veces no queda más remedio que abandonar la comodidad de nues-

“Con tantos equipos funcionando en sincronía, no es difícil que algo falle o se estropee.”

tra base e ir hasta el ICL (a más de 1 km). Entendéis también que, cada vez que el detector está parado por cualquier motivo, nos entran sudores. No queremos ser conocidos como 'los que dejaron escapar la supernova SN2012a'. Por lo demás, nuestro trabajo es sencillo y no tan excitante como uno podría imaginar.

Pero estar aquí es ya en sí un privilegio único. No solo puedes 'verle las tripas' a IceCube y contribuir a este experimento fascinante. Hay otros telescopios que estudian, por ejemplo, el fondo cósmico de microondas (el eco del Big Bang) y siempre hay ocasión de acompañar a los otros Winter Over para echar una mano y conocer más de cerca estos otros pro-

yectos. Siempre aprendes algo. Y no solo de Ciencia. Aquí, en la base, somos 50 personas para el invierno, y solo unos 10 científicos. El resto constituye el personal de la base: médicos, cocineros, informáticos, ingenieros, mecánicos... Es habitual echar una mano en la cocina, el invernadero, la tienda de la estación, o asistir a clases de astronomía, baile, etc. Y para los ratos libres, hay cancha, gimnasio, sauna, sala de juegos, de video, de manualidades...

Como podéis imaginar, no hay tiempo para aburrirse. Y, a parte de las alarmas, la vida aquí es muy agradable, sin las preocupaciones habituales del día a día (ni compras, ni embotellamientos, ni dónde voy de vacaciones...). Es quizá, por eso, que muchos de los 1300 Winter Overs que ha habido desde el primer invierno en 1956 repiten y hay, incluso, dos valientes conmigo ¡que van a por su noveno año aquí! Y aunque la idea de pasar 8 meses totalmente aislado, 6 de ellos sin Sol, puede resultar inquietante, observar el cielo nocturno y las auroras desde este lugar resulta una experiencia totalmente incomparable. Algo que solo puede experimentarse consiguiendo un puesto como Winter Over.

En fin, no sé si habré planteado más preguntas de las que he resuelto respecto a este sitio, pero espero, al menos, haber despertado vuestra curiosidad e interés por la vida y la ciencia que se desarrollan en este continente único. Estáis todos invitados a daros una vuelta por la red y dejar algún comentario, pregunta, crítica, o incluso algún mensaje de apoyo, para los duros meses que se avecinan, en mi blog "El día más largo de mi vida": <http://www.eldiamaslargodemivida.com>.

¡Un saludo muy fuerte desde el Polo Sur para todos los miembros de la Facultad de Ciencias!

Carlos Pobes
Proyecto ICE CUBE
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

un esfuerzo monumental para decidir qué enviar, a parte de pedir consejo a Sven que iba a por su segundo invierno.

Lo primero en lo que uno piensa es en productos de aseo y botiquín. Uno intenta hacer una estimación de cantidades, pero luego hay cosas que te faltan y otras que te sobran. También es importante comprar tu propia capa interior de ropa. Aunque te dan cosas en Nueva Zelanda, la primera capa es más cómoda si la compras tú mismo. Después uno piensa en cosas de ocio. Libros, música, etc. Aunque se puede pasar sin ello, porque en la base hay bastantes libros y películas, no me hubiera importado poder enviar más cosas. Además, está el tema de electrónica y cámaras. Quieres sacar muchas fotos, así que necesitas tarjetas de memoria, baterías (a -60C se pueden agotar en pocos minutos), discos extra (te asustan bastante con el hecho de que la escasa humedad provoca con frecuencia electricidad estática que se carga los equipos). Otra cosa en la que no había pensado fueron chucherías, así que siguiendo el consejo de Sven envié unas cuantas. Pero la verdad es que tampoco las hubiera echado mucho de menos.

Al llegar descubres que, como te habían indicado antiguos Winter Over, la mayoría de las cosas te sobran. Y descubres también una especie de cofre de los tesoros llamado 'Skua', es decir, ¡las cosas de segunda mano! Esto te salva de algunos apuros. Yo he conseguido unos zuecos que uso a diario, porque no había enviado calzado cómodo de andar por casa.



Una Aurora Austral sobre la estación Amundsen-Scot.

Patrick Cullis/NSF.

Construyendo...

*...el Espacio Europeo
de Educación Superior*

Grado en Biotecnología

Grado en Física

Grado en Geología

Grado en Matemáticas

Grado en Óptica y Optometría

Grado en Química

GRADOS



Máster en Biología Molecular y Celular

Máster en Física y Tecnologías Físicas

Máster en Iniciación a la Investigación en Geología

Máster en Iniciación a la Investigación en Matemáticas

Máster en Investigación Química

Máster en Materiales Nanoestructurados para

Aplicaciones Nanotecnológicas

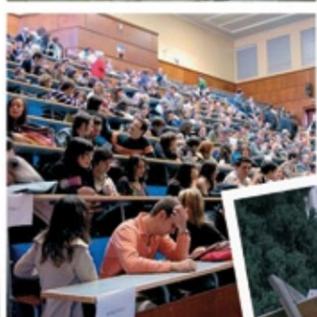
Máster en Modelización Matemática,

Estadística y Computación

Máster en Química Sostenible

Máster en Ingeniería de Membranas

MÁSTERES



¡matricúlate!

<http://ciencias.unizar.es/web/>



ZARAGOZA MATEMÁTICA

POR JOSÉ MARÍA SORANDO

“Seguramente haré nuevos hallazgos en mis paseos ciudadanos, como espero que los hagan quienes, tras leer este artículo, hayan podido sentir la misma curiosidad.”

Hay múltiples formas de recorrer y observar la ciudad, tantas como distintos intereses pueden movernos a ello. Si queremos conocer la historia y el arte locales, recorreremos sus museos y monumentos. Si el nuestro es un interés gastronómico, iremos a los restaurantes y a las barras de los bares. En este artículo será la búsqueda de la presencia matemática en la ciudad la que guiará nuestros pasos. Un buen punto de partida, donde esa presencia se hace evidente, es la fachada de la antigua Facultad de Medicina y Ciencias (hoy Paraninfo de la Universidad de Zaragoza), en cuyo extremo colindante con la Calle Dr. Cerrada luce un medallón con la alegoría de las Matemáticas. El motivo escogido es la propiedad matemática más universalmente conocida, el Teorema de Pitágoras, en su enunciado geométrico: un triángulo rectángulo sobre cuyos lados se han levantado sendos cuadrados y la igualdad que recuerda la equivalencia de áreas.

Aunque no pensemos que las mencionadas rutas histórico-artística, gastronómica o matemática son excluyentes entre sí. Baste citar que, en las salas dedicadas a la Caesaraugusta romana en el Museo de Zaragoza (Plaza de Los Sitios), vamos a encontrar un magnífico mosaico geo-

Entrada principal de la antigua Facultad de Medicina y Ciencias de Zaragoza, y detalle del medallón dedicado a las Matemáticas.

Fotografía por Víctor Sola (abajo) y por el autor (arriba).



métrico del siglo I formado por triángulos curvos entre circunferencias concéntricas que suscita al observador múltiples cuestiones matemáticas; y no se trata de un caso aislado en nuestro patrimonio. Más singular es la existencia en la ciudad de un dulce tan matemático como es el pastel de la Cincomarzada, un "cinco" hojaldrado relleno de nata. En la ciudad hay matemáticas que admirar, que pensar... hasta que comer.

¿Qué partes de las Matemáticas podremos encontrar en ese recorrido ciudadano? Las mismas que en cualquier texto escolar, aunque dimensionadas de forma diferente: hay mucha Geometría; también, pero menos, Aritmética; de forma esporádica, Álgebra, Funciones, Estadística, Historia de las Matemáticas; y en todas partes, aunque sin que se haga explícita la matemática subyacente, la resolución de problemas. Vayamos en su busca.

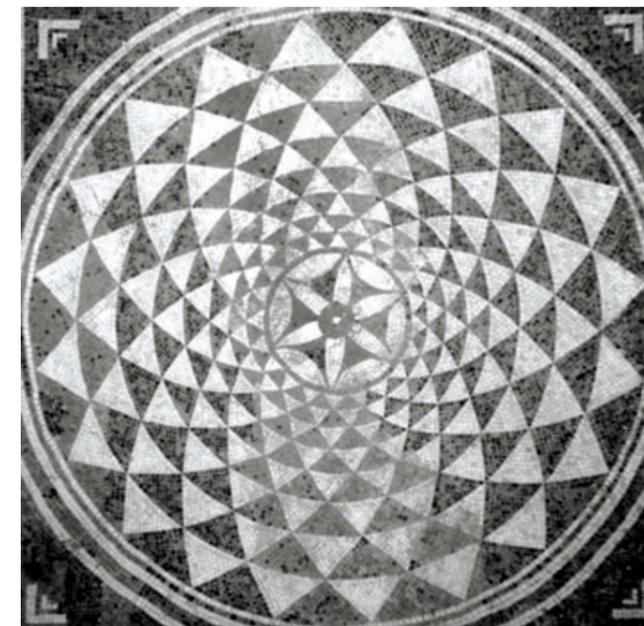
HISTORIA DE LAS MATEMÁTICAS

Los reconocimientos a insignes matemáticos, a través de estatuas, monumentos y dedicatorias de calles ya se citaban en un anterior artículo de conCIENCIAS¹, pero es obligado recordarlos en este.

Volvamos junto al medallón pitagórico del soberbio edificio universitario de la Plaza de Basilio Paraíso. En las fachadas norte y oeste encontraremos además, entre otros, doce medallones dedicados a matemáticos o científicos que realizaron aportaciones a las Matemáticas. Según su orden de colocación desde la puerta principal: Euclides; Hiparco; Johannes Kepler; Isaac Newton; René Descartes; Galileo Galilei;

Mosaico geométrico del siglo I. Museo de Zaragoza.

Fotografía cedida por el autor.



Jorge Juan y Antonio Ulloa; Abul Cassen; Gabriel Ciscar; José Rodríguez González y José Chaix; Pedro Sánchez Ciruelo, nacido en Daroca; y Francisco Artiga, nacido en Huesca. En el interior del mismo edificio se encuentran la estatua de Arquímedes y un medallón dedicado a Pedro Núñez.

Como "tributos ocultos" a las Matemáticas que florecieron en la Saraugusta musulmana: en el Parque de La Almozara, sin identificación, está el monumento a Al Mutamán; y en la zona de Universitas, tampoco rotulados, los jardines de Avempace, cuyo nombre además ostenta un instituto de Educación Secundaria en Zalfonada.

Once son las calles zaragozanas dedicadas a matemáticos. En el Barrio Oliver: Arquímedes, Nicolás Copérnico e Isaac Newton. En el Polígono de Cogullada: Claudio Tolomeo

1. Sorando J.M. Homenajes a la Ciencia en Zaragoza. ConCienias nº 9, pp. 84 a 103. Mayo 2012. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.



Vista aérea de Manhattan, Nueva York (EEUU).

www.wikipedia.org

y Johanes Kepler. La zaragozana Andrea Casamayor en Las Fuentes. Adoración Ruíz Tapiador, zaragozano de adopción, en Torrero. Martín Cortés, nacido en Bujaraloz, y José Echegaray en Delicias. Cerca de la Puerta del Carmen, Zoel García Galdeano, otro zaragozano de adopción. Y José Luis Rubio de Francia, zaragozano de Miedes, en Picarral-Zalfonada.

En las anteriores relaciones se encuentran 9 matemáticos de esta tierra o muy relacionados con ella. Para saber más acerca suya, se recomienda la interesante exposición "Matemáticos Aragoneses" desarrollada por el Instituto Universitario de Matemáticas y Aplicaciones (IUMA) que es accesible en línea en el portal Divulgamat (www.divulgamat.net) en su sección "Exposiciones virtuales".

Y aunque no haya voluntad de referencia matemática en su denominación, el paseante matemático no deja de encontrar en otras calles evocaciones que le son familiares, como: El límite (Casetas), Las once esquinas (Casco Viejo), Puente de La Unión (Las Fuentes – Vadorrey), Maestre Racional (Casablanca) y Mayor (Casco Viejo).

CALLES Y NÚMEROS

El trazado de las calles de Zaragoza no se distingue por seguir un orden geométrico. Se puede identificar la planta casi rectangular de la ciudad romana cruzada por las dos calles principales, trazadas sobre sus ejes de simetría², pero poco más. La onda urbanizadora racionalista que recorrió España tras el pionero *Ensanche*

barcelonés no llegó a esta ciudad como plan integral y apenas se aprecian algunas zonas inconexas donde las calles siguen la pauta ortogonal.

El hecho de que las calles tengan dos únicas direcciones, perpendiculares entre sí, ha permitido en Manhattan su numeración correlativa, tan conocida por el cine. Así que, al saber que en el Parque Tecnológico del Reciclado "López Soriano", próximo al barrio rural de La Cartuja, hay calles numeradas, supuse que en esa reciente zona del extrarradio zaragozano encontraría el conocido plano en damero. Nada de eso. En su plano vemos, por ejemplo, que las calles Dieciseis, Diecinueve y Veintiocho son paralelas y consecutivas, estando atravesadas por la Calle Cinco; al igual que se suceden las calles Trece y Veinticinco, cortadas por la Calle Catorce. En este polígono industrial, la función ordenadora de los números ha desaparecido.

Si, perplejos, regresamos del anterior caos numérico al casco urbano, respiraremos tranquilos al constatar que la numeración de las casas dentro de una misma calle conserva la pauta conocida: acera de los impares y acera de los pares. Pero algunos portales con doble numeración dan que pensar. Así: el nº 15 de la Calle Universidad es a la vez el nº 18 de la Calle Don Teobaldo, cercano a La Magdalena. También, el nº 23 de la Calle Prudencio es el nº 2 de la Calle Convertidos, cercano al Pilar. Está claro que se trata de casas situadas en el final común de dos calles, en el primer caso, o en el comienzo de una calle y final de otra, en el segundo caso. Pero, ¿por qué son sus numeraciones par e impar a la vez? La solución está en la pauta que se sigue en Zaragoza para la numeración de las casas de una calle. Se empieza por numerar desde el extremo de la ca-

lle más próximo a la Audiencia Provincial (Coso Alto) y, a partir de allí, la acera de la izquierda es la de los impares y la acera de la derecha es la de los pares. Así que los dos casos citados de doble numeración par-impar se explican por el particular trazado de las calles que concurren en dichas casas y la asignación de pares e impares según la norma referida.

Salgamos por un momento del ámbito zaragozano y veremos que esta pauta de numeración que nos es tan familiar no es la única posible ni aplicada en otros países.

En América, las casas alcanzan números muy altos porque en cada manzana o "cuadra" comienza una nueva centena, con los pares en una acera y los impares enfrente. En Argentina, además, el número tras la centena indica la distancia al inicio de la manzana, lo cual impone que el lado de una cuadra no exceda los 100 metros. Así, el número 385 se encuentra en la tercera manzana, a 85 metros de su comienzo.

En Japón las casas se numeran por orden de antigüedad. Puede ser que el número 1 no sea el primer edificio y que tenga al lado el 26... ¡pobres carteros! Tal vez para compensarles, no son las calles las que tienen nombre, sino las manzanas, lo cual puede ayudar mucho (o no) a localizar un edificio.

“El trazado de las calles de Zaragoza no se distingue por seguir un orden geométrico. La onda urbanizadora racionalista no llegó a esta ciudad como plan integral.”

2. Sorando J.M. Geometría de la ciudad. ConCiencias nº 5, pp. 30 a 39. Mayo 2010. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.



Melancholía, Durero (1514).

<http://blog.educastur.es>

“Célebre es el cuadrado mágico 4x4 que figura en la esquina superior derecha del grabado Melancholía de Alberto Durero.”

cuatro casillas, una de cada fila y de cada columna. De ese modo consiguió un nuevo cuadrado “casi mágico” de suma 33 (edad a la que fue crucificado Jesucristo según la tradición cristiana³). Es “casi mágico” porque incumple dos normas de los cuadrados mágicos puros: no debe haber números repetidos (en él lo están el 10 y el 14) y los números deben formar una serie de consecutivos (en él faltan el 12 y el 16). Figura esculpido en la Fachada de la Pasión del inconcluso templo barcelonés, pero también en detalles menores del interior, hasta sumar 33 apariciones.

¿Y qué tiene que ver ese cuadrado con Zaragoza? Paseando por la rehabilitada Calle de Las Armas, frente a la Escuela Municipal de Música y Danza, hay un solar donde, por iniciativa municipal⁴, tapias y fachadas han sido cubiertas por famo-

En Berlín, en las calles anteriores a 1929, se utiliza el sistema de herradura. Se comienza a numerar en una acera y cuando la calle termina se cruza de acera y la numeración continúa, regresando al extremo inicial.

NÚMEROS RELIGIOSOS

No es necesario advertir sobre la omnipresencia de los números en nuestro entorno urbano, aunque sí de algunas apariciones poco convencionales.

Un tema muy querido por matemáticos de todas las épocas, aunque también por esotéricos varios, es el de los cuadrados mágicos. En ellos, los números naturales situados en las casillas de cada fila, columna o diagonal de un cuadrado con n filas y n columnas siempre suman una misma cantidad (también en otras configuraciones). Especialmente célebre es el cuadrado mágico 4x4 que figura en la esquina superior derecha del grabado *Melancholía* (1514) de Alberto Durero, de suma 34. Josep Maria Subirachs, continuador de Antonio Gaudí en la construcción de la Catedral de la Sagrada Familia en Barcelona, modificó el cuadrado mágico de Durero, restando una unidad en

unos graffiteros con pinturas monumentales, en un gozoso derroche de colorido. En el medianil de un edificio se ha pintado un enorme árbol (autor: Popay). En su tronco encontramos, en gran tamaño, el cuadrado mágico de suma 33.

Veremos números romanos en las lápidas de datación de monumentos y en las señales que nos dirigen hacia ellos en el Casco Histórico. Hay otros números romanos de temporada, en Semana Santa y en algunos balcones, estaciones de vía crucis penitenciales.

También encontraremos números binarios, aunque no se piense que en un establecimiento informático, sino, sorprendentemente, en El Pilar. José Manuel Chamorro, estudioso de la simbología pi-

3. Según algunos estudiosos de la cronología del Imperio Romano, entre el censo llevado a cabo durante la primera Navidad y la llegada de Poncio Pilatos a la provincia de Palestina habrían pasado 40 años, lo cual supondría que Jesucristo habría sido crucificado pasados los cuarenta.
4. El sexto asalto. 25 al 30 septiembre 2011. Web: <http://asaltoproduccion.es/>



Graffiti que decora una fachada de la calle Las Armas de Zaragoza, y detalle de su cuadrado mágico.

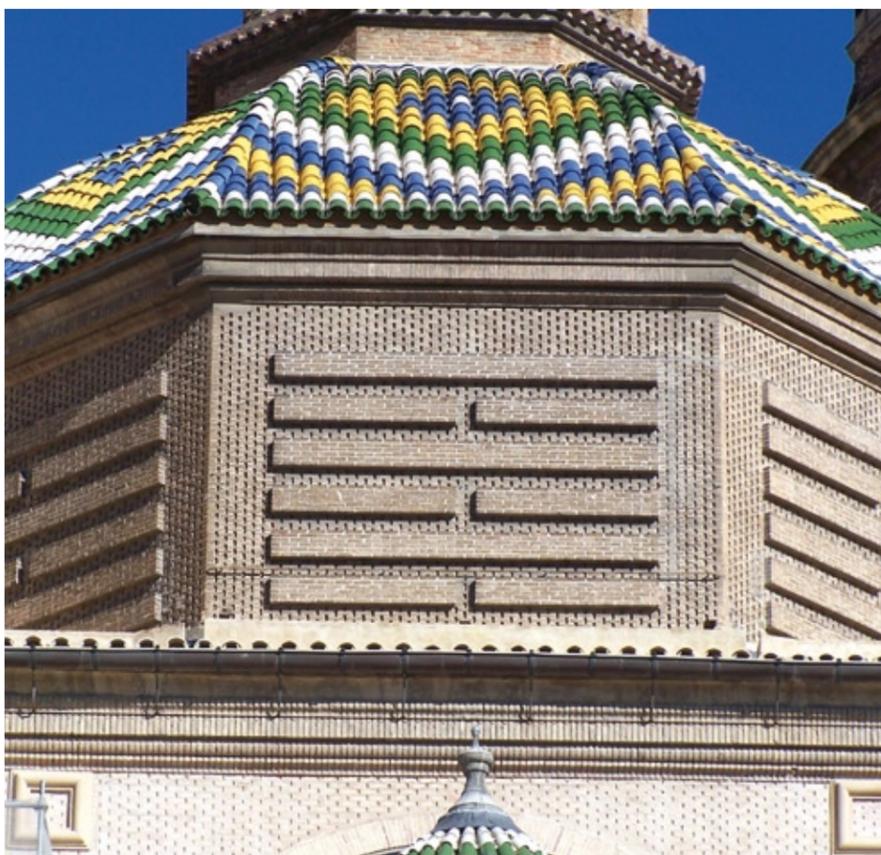
Fotografía cedida por el autor (arriba)
<http://rayotes.blogspot.com.es> (abajo)



Basilica de El Pilar (Zaragoza), y detalle de una de sus caras de sus cimborrios octogonales.

www.wikipedia.org (arriba)

Fotografía cedida por el autor (abajo)



larista ha descubierto⁵ varios motivos de la tradición china en la Basílica. En particular, en cada una de las caras de los 8 cimborrios octogonales se repiten seis líneas de ladrillos en sobrerrelieve, siempre con esta pauta: continua - discontinua - continua - discontinua - continua - discontinua. Se corresponden con el hexagrama *Wei-Chi* del antiguo tratado chino de adivinación *I Ching*, texto clásico confuciano. Simboliza la unión del Cielo y la Tierra

El sistema binario fue introducido en Occidente por G.W. Leibnitz, en su artículo *Explication de l'Arithmétique Binaire* (1703). En él menciona los símbolos binarios usados en la cultura china, citando *I Ching*. De modo que el hexagrama que aparece 64 veces en El Pilar es el número binario 101010. Si lo pasamos al sistema decimal, obtenemos:

$$1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 42$$

El 42 posee varios significados dentro de la tradición judeocristiana que explica el autor. No profundizaremos en ello por ser ése otro terreno, la Numerología, que no debe confundirse con la Matemática, pero sí ha parecido relevante señalar ese curioso hallazgo.

“También encontraremos números binarios, aunque no se piense que en un establecimiento informático, sino, sorprendentemente, en El Pilar.”

Escribe Chamorro: “Esta sorprendente presencia de estos signos chinos en El Pilar, pudiera ser debida a la influencia del Abad del Císter Juan Caramuel y la Orden Jesuítica, particularmente del P. J. Jacobo Kressa, catedrático de matemáticas del Colegio Imperial de Madrid, y que en el año 1696, a instancias del Conde de Perelada, desempeña la peritación de las obras de construcción de la Basílica. Advirtamos que de forma coetánea a la fecha de construcción del Pilar, siglo XVII - XVIII, (el día del Apóstol Santiago del año 1681 se puso la piedra fundacional del nuevo Templo), se despliega la influencia de la Compañía de Jesús en China, y sus intentos de traducción de los conceptos *Metafísicos, Religiosos, Cosmológicos, con los consiguientes intercambios culturales*”.⁶

Y para terminar este apartado, otra perplejidad a propósito de números y templos. La iglesia de Santa Engracia alberga el Santuario de los Innumerables Mártires. Es esta una denominación muy poco matemática. Un conjunto se dice numerable cuando se puede establecer una aplicación biyectiva entre sus elementos y los números naturales o una parte de ellos. No son numerables, innumerables por tanto, los conjuntos infinitos de orden mayor, como son los números reales. Pero sabido es que en el lenguaje común “innumerable” es sinónimo de muy numeroso, así que no pensemos en un imposible conjunto continuo de mártires. Y ¿cuántos eran esos innumerables mártires? La historia nos dice que dieciocho. Sin la precisión del lenguaje matemático, se ha caído en la devota exageración.

5. Chamorro J.M. Varios artículos en Monográfico sobre la Basílica del Pilar. Web de la DPZ. On line: <http://www.dpz.es/turismo/monograficos/pilar/pilar.asp>

6. Chamorro J.M. El Pilar o Axis Mundi en Monográfico sobre la Basílica del Pilar. Web de la DPZ. On line: <http://www.dpz.es/turismo/noticias/2005/img/axismundi.pdf>

ÁNGULOS Y ESTRELLAS

La arquitectura urbana está dominada por la ortogonalidad, con ángulos rectos por doquier. Cuando encontramos ángulos agudos u obtusos en las construcciones, dotan a estas de singularidad. Hay tres torres o mástiles que por razones diferentes se elevan al cielo desviándose de la habitual dirección vertical:

- La torre de la iglesia de San Juan de los Panetes (s. XVIII), cuya desviación sobrevenida es de 3° , la misma que tiene la Torre de Pisa.
- El mástil de la Pasarela del Voluntariado (2008), obra de Javier Manterola, que por decisión de diseño se desvía 30° de la vertical, contrapesando el tablero curvo que soportan sus 46 tirantes.

- El gran gnomon del reloj de sol de Vadorrey⁷ (2010), obra de Juan Antonio Ros, el más grande del mundo, cuya inclinación (necesaria para su función) es de $47^\circ 37' 48''$.

Un sencillo pasatiempo matemático para el paseante es la estimación de dichos ángulos *in situ*, mediante trazado de visuales y cálculo trigonométrico sencillo.

El paseo tranquilo y atento por la ciudad nos descubre, además del omnipresente rectángulo, otros polígonos en fuentes, iglesias, monumentos y edificios con estilo, siempre con una función ornamental. Un tipo especial son los polígonos estrellados.

Volviendo al Museo de Zaragoza, encontramos otro mosaico del s. I con dos cuadrados entrecruzados.



Mosaico del s. I con dos cuadrados entrecruzados. Museo de Zaragoza.

Fotografía cedida por el autor.



Cimborrio de la Catedral de La Seo, Zaragoza.

www.urbanity.es

cruzados, usual en las villas romanas. Se puede interpretar como el resultado de unir los vértices de un octógono regular de 2 en 2, por lo cual es llamado *estrella* (8, 2).

Si sentados frente al altar mayor de La Seo (s. XV) elevamos la vista al espléndido cimborrio gótico veremos una hermosa estrella dorada, obtenida al enlazar los vértices del octógono regular de 3 en 3, la *estrella* (8, 3). Al salir a la plaza frente a la catedral, miremos bajo nuestros pies: en su gran mosaico veremos la misma *estrella* (8, 3), repetida cinco veces en mármol negro.

Es fácil observar que coinciden las estrellas (8, 2) y (8, 6); asimismo coinciden las estrellas (8, 3) y (8, 5). ¿Encontraremos en la ciudad la *estrella* (8, 4)? No hay que ir muy lejos para ello. Está en las forjas de las puertas de El Pilar, aunque disimulada por símbolos marianos.

“Si sentados frente al altar mayor de La Seo (S. XV) elevamos la vista al espléndido cimborrio gótico veremos una hermosa estrella dorada.”

7. Reloj que tiene su propio blog: <http://relojvadorrey.blogspot.com.es/>



Forja en una de las puertas de El Pilar de Zaragoza.

Fotografía cedida por el autor.

Resulta curioso el aprovechamiento a través de los siglos de una sencilla idea geométrica con fines estéticos. Las estrellas citadas, aunque con un proceso constructivo similar, corresponden a figuras bien diferentes: polígonos o segmentos entrecruzados en unos casos, recorrido íntegro de los vértices del polígono en otro (8, 3). Propiamente, se llama polígonos estrellados a los de este último tipo, cuando se regresa al vértice de partida tras recorrer todos los demás. Es sencillo comprobar que en un polígono regular de n lados, la *estrella* (n, m) , con $1 < m < n-1$, es un polígono estrellado si y solo si n y m son primos entre sí.

MOVIMIENTOS Y TESELACIONES

Las decoraciones de fachadas, suelos y techados en los espacios y edificios más destacables de la ciudad se basan muy a menudo en la

repetición de uno o varios motivos mediante movimientos en el plano: traslaciones, giros y simetrías. Se pueden encontrar en materiales diversos: por ejemplo, en los yesos, ladrillos y azulejos de nuestras iglesias mudéjares (siglos XIV a XVII); o en las forjas de los balcones de las casas construidas por la burguesía acomodada, a finales del XIX y comienzos del XX.

El gusto por la simetría parece tener una base genética⁸ y se puede apreciar en la construcción de algunos entornos monumentales. Por ejemplo, en el Parque Grande "J. A. Laborde", al divisar el central Paseo de San Sebastián, tanto desde el Puente Trece de Septiembre sobre la Huerva como desde el Batallador, en el Cabezo de Buenavista. Árboles, fuentes, bancos, caminos, jardines... todo se dispone en simetría axial; mientras que en la Glorieta de Neptuno rige la simetría de giro hexagonal.

Sin embargo, en ocasiones topamos con alguna simetría fallida. Situémonos en el centro de la Calle Alfonso I, mirando hacia El Pilar. La mirada descuidada tiende a valorar esta como una simétrica panorámica "para turistas" (no faltarán algunos haciendo la obligada foto). Pero, con más atención, en seguida se observa que el blanco relieve "Venida de la Virgen" (1969) de Pablo Serrano está centrado con la calle, pero el tejadillo de la basílica sobre él está desplazado hacia nuestra izquierda y el gran cimborrio central todavía más.

Cuando los movimientos de una o varias figuras llenan el plano, estamos ante una teselación, objetivo geométrico y artesanal con larga tra-

dición. Si las losetas son poligonales, según su forma y variedad, así como la uniformidad o diversidad de tipos de vértices, las teselaciones pueden ser regulares (hay 3 tipos), semiregulares uniformes (8 tipos), semirregulares no uniformes (7 tipos) e irregulares (infinitos tipos).

Los grupos de transformaciones que dejan invariante una figura plana y permiten con ella llenar el plano infinito, son llamados grupos de simetría. En Zaragoza disfrutamos de algunos ejemplos magníficos en el Arte Mudéjar, por ejemplo: las celosías del ábside de la iglesia de San Miguel de los Navarros, la torre de La Magdalena o el esplendoroso muro de La Parroquieta de La Seo. Fedorov demostró

8. Pape Moller A. La Naturaleza prefiere la simetría. Mundo Científico 187, pp. 48 a 53. 1998.



Calle Alfonso I, Zaragoza.

Fotografía por Víctor Sola.

(1891) que los grupos de simetría posibles son 17. Los profesores Ramírez y Usón⁹ los han localizado todos en el mudéjar aragonés, 16 de ellos en la capital.

CURVAS

Cuando observamos curvas conocidas (circunferencias, elipses, sinusoides, etc.) en elementos arquitectónicos de la ciudad, estamos ante una presencia, además de geométrica, también algebraica. La Geometría Analítica permite estudiarlas no sólo como figuras con propiedades métricas, sino también como ecuaciones. De modo que en esos casos hay una presencia implícita del Álgebra.

Al cruzar un puente, bastantes veces lo estamos haciendo sobre o bajo una parábola... o casi.

Así ocurre en 5 de los 10 puentes sobre el Ebro a su paso por el casco urbano de Zaragoza. ¿Por qué "casi" una parábola? Porque en realidad la curva que tanto se repite en los puentes es la catenaria invertida, muy parecida a aquella.

Ambas curvas se corresponden con propiedades físicas. La parábola es la trayectoria que sigue un cuerpo sobre el que actúan una fuerza o impulso inicial y la acción constante de la gravedad (tiro parabólico), como es visible, por ejemplo, en la curva que traza el agua en los surtidores de nuestros parques. La catenaria es la curva que describe una cadena sostenida por sus extremos, también bajo la acción de la gravedad. La confusión entre ambas curvas es usual y explicable. El desarrollo en serie de Taylor para la catenaria nos da como aproximación polinómica de la misma en el entorno

del cero, una función cuadrática (parábola) más un infinitésimo de orden 4. Realmente la diferencia entre ambas es pequeña.

La razón que justifica la elección de la catenaria para soportar el peso del tablero de los puentes es que minimiza las tensiones, distribuyendo el peso uniformemente y evitando esfuerzos tangenciales por tracción o compresión. Así ocurre, por ejemplo, en los arcos bajo el Puente de Santiago o sobre el Puente de Hierro. Y es esa propiedad la que explica que se impusiera dicha curva como forma de la espina dorsal de los dinosaurios, pues repartía el peso de sus enormes cuerpos sin quebrarla.

No es la utilidad, sino el simbolismo lo que explica la repetida presencia de espirales en las iglesias, ya que se asocian con la Resurrección. El matemático suizo Jakob Bernoulli hizo grabar en su tumba una espiral con la leyenda "*Eadem mutata resurgo*" ("aunque transformada, resucito"). En la espiral arquimediana, el radio va creciendo de giro en giro siguiendo una progresión aritmética; mientras que en la espiral logarítmica sigue una progresión geométrica.

Se puede construir una espiral con cuadrantes de circunferencia cuyos radios siguen la Sucesión de Fibonacci (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13...). El cociente entre cada término y el anterior tiene como límite el "número de oro" phi (1,61803398...), de modo que dicha espiral se va aproximando a una espiral logarítmica con razón phi. Es la espiral áurea.

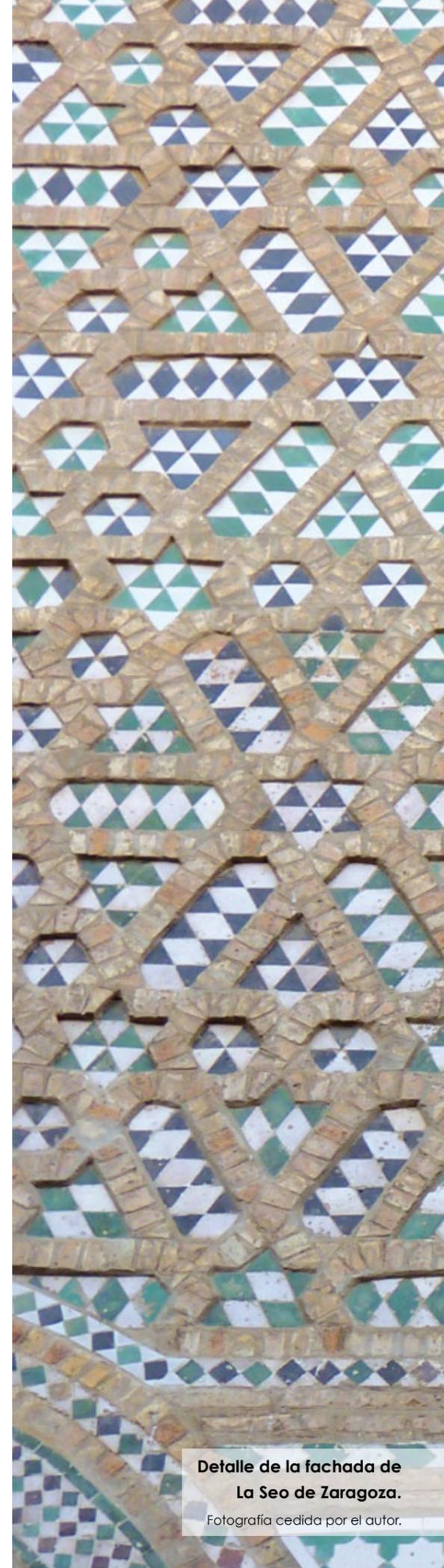
La iglesia zaragozana que muestra mayor abundancia de espirales es la de Santa Isabel de Portugal (s. XVIII), cuyo nombre más popular es San Cayetano. En su barroca fachada de mármol y alabastro encontramos dos grandes espirales arquimedianas, a ambos lados de la estatua dominante de la santa, y muchas espirales áureas de menor tamaño, repartidas por la fachada.



Espiral en la Iglesia de Santa Isabel de Portugal, Zaragoza.

Fotografía cedida por el autor.

9. Ramírez A. y Usón C. Rutas matemáticas III. El Mudéjar. Servicio de Educación. Ayuntamiento de Zaragoza. En línea: <http://www.zaragoza.es/cont/paginas/educacion/pdf/rutasmudejarprof.pdf>



Detalle de la fachada de La Seo de Zaragoza.

Fotografía cedida por el autor.

Diríase que la hélice es el paso de la espiral a las tres dimensiones. En realidad, es una curva tridimensional cuyas tangentes forman un ángulo constante con una dirección fija. En las columnas salomónicas a la entrada de la Iglesia de San Felipe vemos dos hélices cilíndricas. En la Plaza de la Atalaya del Parque Lineal de Plaza se encuentra un moderno zigurat metálico cuya barandilla dibuja una gran hélice cónica.

El puente sobre el Ebro más reciente y menos conocido, por ser el más alejado del centro urbano, es la Pasarela del Bicentenario (2008), con diseño de Luis Javier Sanz Balduz, que une el barrio rural de La Cartuja y el término de La Alfranca en Pastriz. Su estructura es matemática: circunferencias iguales en planos paralelos, entrelazadas por hélices cilíndricas. Cruzar la pasarela nos introduce en el

cilindro imaginario sobre el que discurren esas curvas y nos envuelve en un juego múltiple de intersecciones.

SUPERFICIES Y CUERPOS

Cuando una recta generatriz se desplaza apoyándose sobre una recta o curva directriz, perpendicular al plano que contiene a esta, se genera una superficie reglada. Si se apoya sobre dos directrices, es una superficie doblemente reglada. Los arquitectos aprecian y utilizan este

“En la Plaza de la Atalaya del Parque Lineal de Plaza se encuentra un moderno zigurat metálico cuya barandilla dibuja una gran hélice cónica.”



Zigurat en el Parque Lineal de Plaza, Zaragoza.

Fotografía cedida por el autor.



Pasarela del Bicentenario, Zaragoza.

Fotografía cedida por el autor.

tipo de superficies porque con ellas es posible lograr airoas cubiertas y fachadas curvas construidas, fácilmente, con vigas. Fueron exploradas por Gaudí y en su construcción con hormigón destacaron Eduardo Torroja y Félix Candela. En Zaragoza podemos ver varias: la Torre del Agua, el cilindro parabólico en un ático del Paseo Sagasta o la cubierta de la Estación de Cercanías de Goya (doblemente reglada). Pero la más vistosa y repetida de todas ellas es el paraboloides hiperbólico o silla de montar.

Vemos paraboloides hiperbólicos, por ejemplo: en la cubierta de la Iglesia de Marianistas, obra de J. Yarza García y J. Yarza Nordmak (1967); en las pérgolas de los merenderos en las riberas del Ebro; o también en el Parque del Tío Jorge. Se pueden generar de dos formas: cuando una

recta generatriz se desliza sobre dos rectas directrices que están en planos paralelos y tienen pendientes opuestas; también, cuando una parábola generatriz se desliza sobre otra parábola directriz, teniendo ambas distintos sentidos de concavidad-convexidad.

El ortoedro es el cuerpo geométrico que domina la ciudad. Esa uniformidad solo es rota por otros poliedros y cuerpos de revolución presentes en plazas y monumentos, rara vez en edificios. Algunos ejemplos: el Monumento a la Constitución con su esfera y tres pirámides oblicuas, el edificio cilíndrico de la Plaza de San Blas o las construcciones poliédricas del Edificio Aramón en el Parque del Agua, del Museo IAACC o del grupo escultórico bajo el Puente de la Unión.

Cuando todas las dimensiones del ortoedro son coincidentes, tenemos un hexaedro o cubo, bastante presente en la ciudad: en la Avenida de Ranillas, en la Plaza Eduardo Ibarra, en la Glorieta de IberCaja, etc. Dos son los más famosos "cubos" de la ciudad: los supuestos cubos de La Seo y de Urbanismo.

La primera mirada al edificio de entrada al Foro Romano en la Plaza de La Seo revela la inexactitud de esa obstinación de los periodistas (fue polémica su construcción) en llamarlo "cubo"; es un prisma cuyas bases son rombos.

El otro "cubo" está vecino a La Romareda y despierta dudas. Sus caras acristaladas presentan 8 celdas de anchura y 9 de altura, lo cual lleva a una primera conclusión: no son cuadradas y

no estamos ante un cubo. Pero al razonar así estamos asumiendo que esas celdas son cuadradas. ¿Y si no lo fueran? La forma de salir de dudas es tomar medidas (mejor sobre la foto, si no amamos el deporte de riesgo). Al hacerlo, descubrimos que esa fachada sí es cuadrada. Y entonces, ¿las medidas 8×9 ? La explicación es que las celdas no son cuadradas y que su anchura mide $9/8$ de su altura. De ese modo, si tomamos como unidad la altura de una celda, las dimensiones de la fachada son: 9 de altura y $8 \times 9/8 = 9$ de anchura.

El poliedro más hermoso de la ciudad domina la Plaza de Europa desde las tres grandes torres de iluminación, pero también en las doce pequeñas columnas que alrededor del obelisco recuerdan la bandera de la Unión Europea.

Se trata de la Stella Octangula que fascinara a Kepler, composición en macla de dos tetraedros invertidos, cuyas caras son triángulos equiláteros iguales. A la vista de su perfección, nos preguntamos cómo no forma parte de la conocida serie de los sólidos platónicos o poliedros regulares. La razón es que en estos todos los vértices deben recibir iguales números de aristas y de caras. En la Stella Octangula los hay de dos tipos.

¿Es posible con poliedros cubrir el espacio como vimos que lo es con polígonos teselar el plano? En los parques infantiles y almacenes de la ciudad veremos la solución más simple: el apilamiento de cubos o de ortoedros. En otras estructuras (tejadillo en la entrada de la Delegación de Hacienda, por ejemplo) se consigue combinando tetraedros con pirámides cuadrangulares.

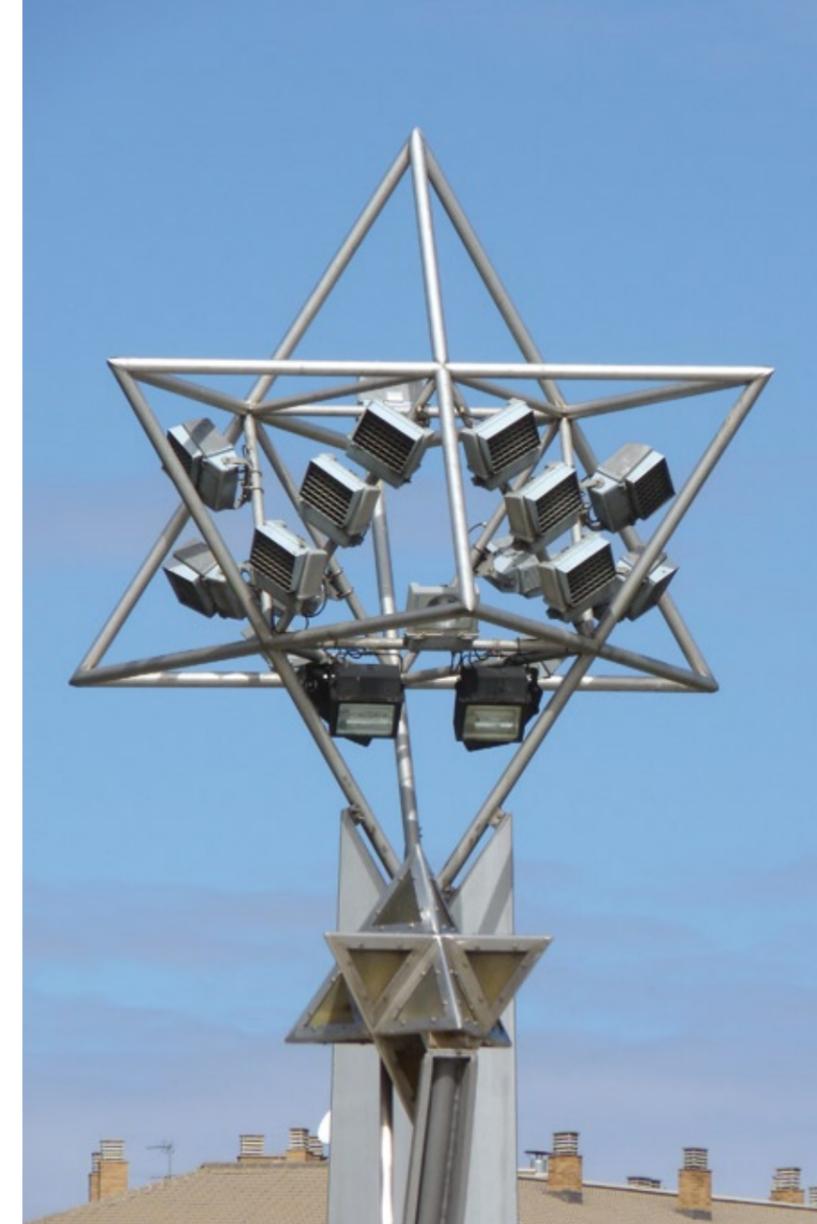
OTRAS PRESENCIAS

La resolución de problemas ciudadanos, aunque no visible, tiene sin duda una base matemática. Por ejemplo: en la coordinación y priorización de semáforos; en la logística del servicio de bicicletas municipales; en la elección de la forma de los contenedores maximizando volumen sin ocupar más superficie, etc.

A los amantes de la Estadística les recomiendo un paseo por la orilla izquierda del Ebro, desde el azud hacia la desembocadura del Río Gállego. Encontrarán un grupo escultórico con varias campanas de Gauss.

También la Topología hace aparición en el grupo escultórico *Creación* de John Robinson, frente al Edificio de Matemáticas en el Campus de San Francisco, del que ya se habló en un artículo anterior¹. Habíamos empezado el paseo en un rincón universitario y lo terminamos en otro.

Escribía Descartes en el epílogo a su tratado *La Geometría* (1637): "Espero que los lectores me estarán agradecidos, no solamente por las cosas que he explicado aquí, sino también por las que he omitido intencionalmente a fin de dejarles el placer de descubrirlas". Quedan muchas más matemáticas que descubrir en nuestra Zaragoza, pero no puedo decir como Descartes que las haya omitido a conciencia. Seguramente haré nuevos hallazgos en mis paseos ciudadanos, como espero que los hagan quienes tras leer este artículo hayan podido sentir la misma curiosidad. Esa habrá sido, ojalá, la verdadera aportación realizada.



Uno de los tres poliedros que dominan la Plaza de Europa, en Zaragoza.

Fotografía cedida por el autor.

José María Sorando

Dpto. de Matemáticas
IES Elaios, Zaragoza

jmsorando@ono.com

http://catedu.es/matematicas_mundo

"El Cubo" anexo al Estadio de La Romareda, Zaragoza.

LA RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LA INFORMACIÓN (BIO)QUÍMICA

“El concepto de Responsabilidad Social nació en el ámbito empresarial. En los últimos años se ha ido extendiendo a otras facetas del comportamiento humano.”

POR MIGUEL VALCÁRCEL



La Responsabilidad Social de la información (bio)química

LA RESPONSABILIDAD SOCIAL

La Responsabilidad Social (RS) nace como reacción a las consecuencias negativas de los espectaculares logros de las actividades humanas en los últimos siglos y décadas gracias a los avances científicos y tecnológicos, que han alterado el balance social y medioambiental, y propiciado pobreza, desigualdad de oportunidades, emigración, falta de respeto a los derechos humanos, cambio climático, degradación de la biodiversidad, deforestación, etc.

La RS puede definirse de forma simplificada como la combinación de una serie de palabras

clave tales como "responsabilidad", "partes interesadas", "calidad de vida" (bienestar social), y "sostenibilidad", entre otras. Se han desarrollado más de cincuenta definiciones de RS, que hacen énfasis en diferentes aspectos. He aquí solo dos significativas:

"La RS de las organizaciones/actividades humanas implica la integración plena en sus actuaciones de preocupaciones sociales y medioambientales que propicia tanto el desarrollo de buenas prácticas como el establecimiento de nuevas relaciones internas y externas entre las partes interesadas" ¹.

La nueva guía ISO 26000:2010 ² define a la RS como "La responsabilidad de una organiza-

ción/actividad humana ante el impacto que sus acciones y decisiones ocasionan en la sociedad en general y en el medio ambiente en particular, a través de un comportamiento ético y transparente que:

a) Contribuya al bienestar social y al desarrollo sostenible; b) Tome en consideración las expectativas de todas las partes interesadas (internas, externas y mixtas); c) Cumpla con la legislación vigente y coherente con la normativa internacional de comportamiento y d) Esté integrada en toda la organización y se lleve a la práctica en todas sus relaciones internas y externas".

La RS puede definirse también a través del círculo concatenado de sus características básicas tal como se muestra en el gráfico de la figura.

El concepto de RS nació y se desarrolló inicialmente en el ámbito empresarial -de ahí la denominación inicial de Responsabilidad Social Corporativa- ³. En los últimos años el concepto de RS se ha ido extendiendo y aplicando a otras facetas del comportamiento humano tanto individual como colectivo. Así, ya es frecuente encontrar referencias a la RS de la Ciencia & Tecnología (C&T), entre otras áreas de actividad humana.

El desarrollo previo y consolidación de la RS en el ámbito empresarial ha propiciado la disponibilidad de documentos internacionales ampliamente reconocidos y aceptados, siendo cuatro los más relevantes:

- El "Pacto global" de la ONU con 10 principios básicos de RS ⁴;
- Las "Líneas Directrices de la OCDE sobre RS" ⁵;



Edificio de la ONU, Nueva York (EEUU).
www.guerrasionista.com



Características básicas de la Responsabilidad Social relacionadas entre sí mediante un círculo concatenado.

1. de la Cuesta M. "La Responsabilidad Social Corporativa o de la Empresa" en "Jornadas de Economía Alternativa y Solidaria". 2005.
<http://www.hegoa.ehu.es/congreso/bilbo/doku/bat/responsabilidadsocialcorporativa.pdf>.
2. Guía ISO 26000:2010 "Guía de Responsabilidad Social". Ediciones AENOR, Madrid, 2010.
3. Olcese A. "La Responsabilidad Social de la Empresa (RSE)". Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Madrid, 2007.
4. United Nations Global Compact: www.unglobalcompact.org. Ver también Red Española del Pacto Mundial: www.pactomundial.org
5. Líneas directrices de la OCDE sobre RS : www.oecd.org



www.emobili.es

“La Responsabilidad Social nace como reacción a las consecuencias negativas de los espectaculares logros de las actividades humanas.”

- Los “Principios de la OIT sobre la RS”⁶ y
- La guía ISO 26000:2010² sobre RS, que contiene en su apartado 4º los siete principios básicos de la misma que se muestran esquemáticamente en la figura y que son representativos de las connotaciones que comporta.

LA RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LA CIENCIA & TECNOLOGÍA

De la aproximación genérica a la RS, puede inferirse que, en el contexto de la Ciencia y Tecnología, puede definirse complementariamente como⁷:

“LA RS de la C&T está directamente relacionada con la honestidad y las connotaciones éticas de los investigadores y responsables de I+D+I así como de la sociedad receptora de sus resultados”.

“La RS de la C&T es la reflexión/concienciación del impacto de las actividades y resultados de

I+D+I en la calidad de vida de los ciudadanos y del medio ambiente”.

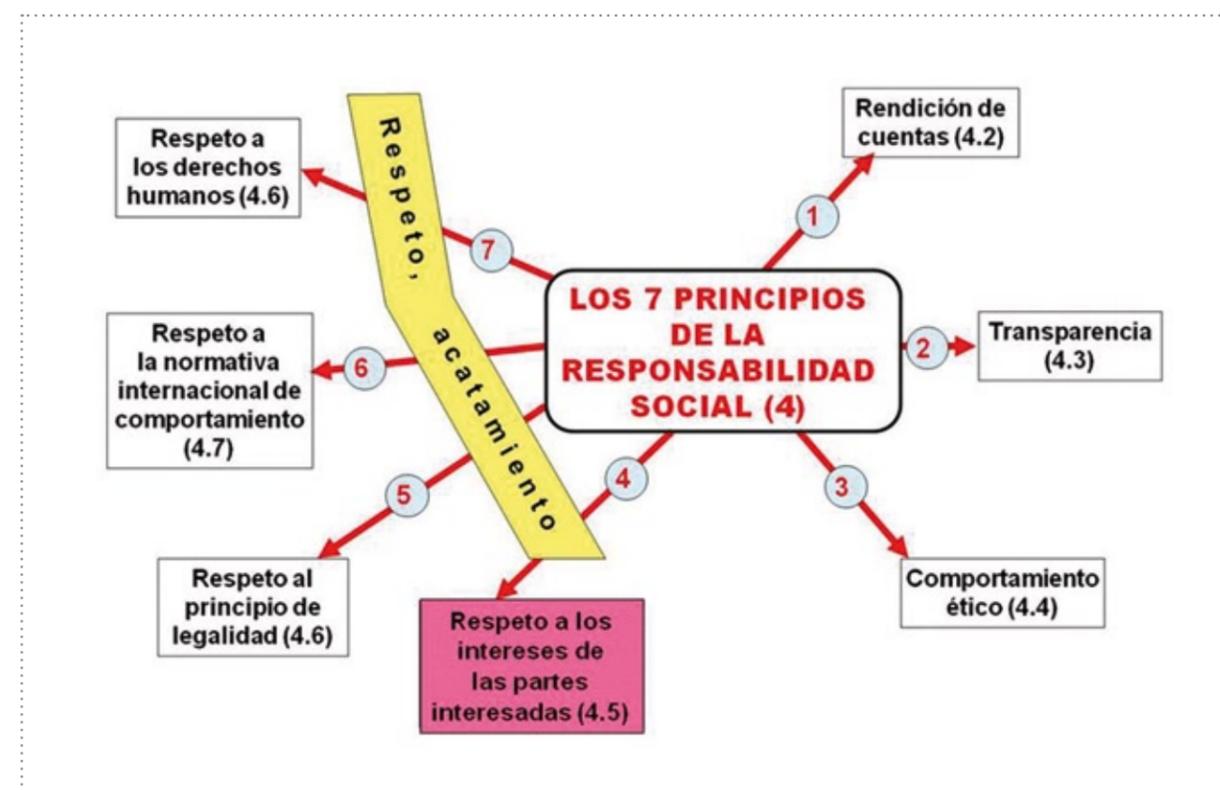
De manera más amplia, Larsen et al.⁸ han definido la RS de la C&T como: “La concienciación de las personas y/o colectivos relacionados con la C&T para situar y definir las actividades de I+D+I en un contexto adecuado y apto para contribuir tanto a la mejora continua de la sociedad y el medio ambiente como superar los denominados Retos de la Humanidad en salud, sanidad universalmente asequible, cambio climático, suministro universal de agua y alimentos, envejecimiento de la sociedad, etc. en coherencia con la Declaración de Lund de julio de 2009”.⁹

Estas aproximaciones genéricas enmarcan la RS en áreas específicas de la C&T tales como la Física, la Química, la Biotecnología, la Energía Nuclear, la Medicina, la Nanotecnología, etc. El tema abordado en este artículo se enmarca en la RS de la C&T en general y de la Química en particular.

LA RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LA INFORMACIÓN (BIO)QUÍMICA

La RS de la información (bio)química o analítica¹⁰ puede definirse como “el impacto en la sociedad, y en la salud, medio ambiente, agroalimentación, etc. del conocimiento (bio)químico derivado del análisis de objetos y sistemas naturales y artificiales que implica: a) Producción de la información con fiabilidad y sostenibilidad; y b) Aseguramiento que esta es coherente con la realidad, para no levantar falsas expectativas y no provocar alarmas injustificadas” Nótese que esta de-

6. Principios de RS de la OIT sobre RS: www.ilo.org
7. Valcárcel M., Lucena R. “La responsabilidad Social de la Ciencia y Tecnología”. Anales de Química, 2012, 108, 156-159.
8. Krogsgaard-Larsen P., Thostrup P., Besenbacher F. “Scientific Social Responsibility: A Call to Arms”. Angew. Chem. Int. Ed. 2011, 50, 10738-10740.
9. Lund Declaration. “Europe must focus on the Grand Challenges of our time”. July 2009: http://www.se2009.eu/polopoly_fs/1.8460!menu/standard/file/lund_declaration_final_version_9_july.pdf
10. Valcárcel M., Lucena R. “Social Responsibility in Analytical Chemistry”. Trends Anal. Chem., 2012, 31, 1-7.



Los principios de la Responsabilidad Social según la Guía ISO 26000:2010 (2).

La Responsabilidad Social de la información (bio)química

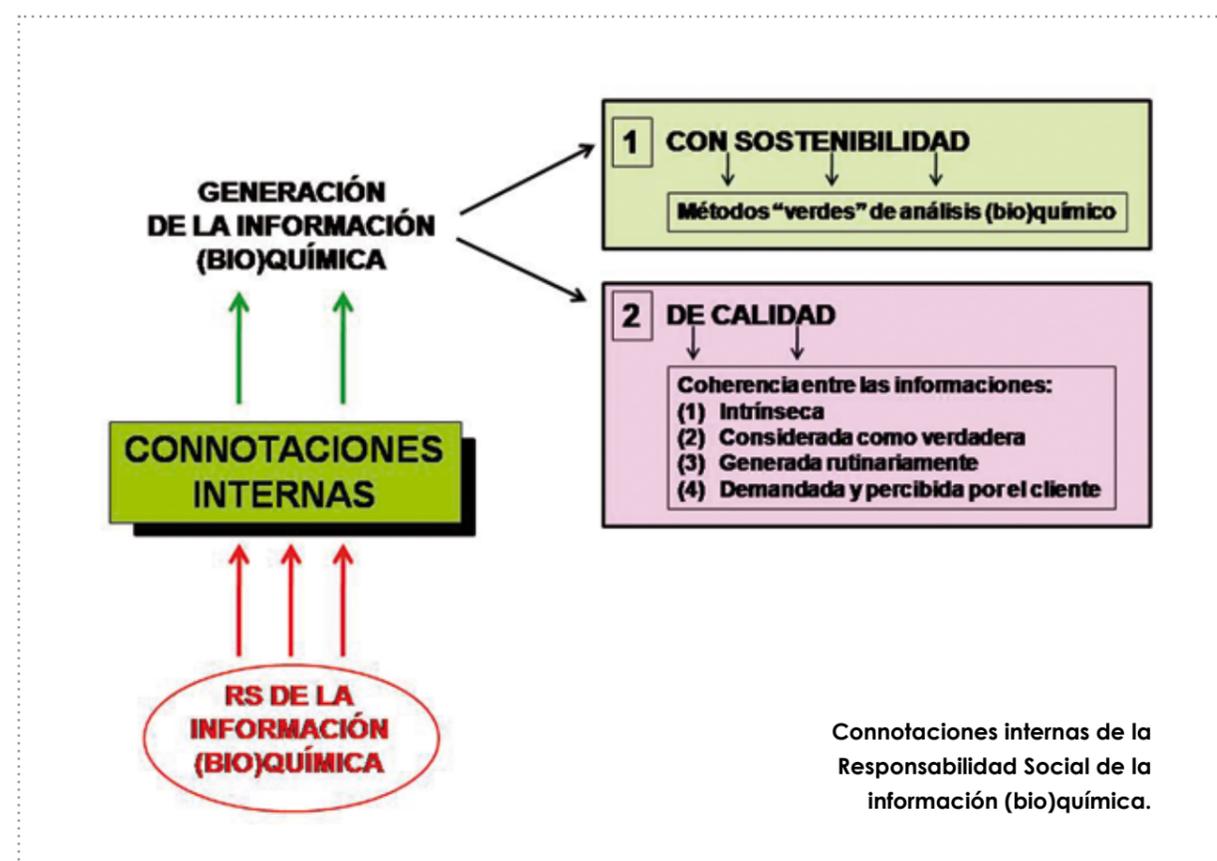
finición se basa en la jerarquía datos-información-conocimiento¹¹. Se emplea directamente el conocimiento (materializado en informes), que procede de la contextualización e interpretación de la información (resultados), que es fruto de la compilación y tratamiento de los datos primarios (señales instrumentales). Esta jerarquía sirve de base para diferenciar entre las connotaciones internas y externas que comporta la RS de la información (bio)química, que se expresan gráficamente en la figura de abajo y que se comentan, a continuación.

Como puede observarse, existen enfoques correctos e incorrectos al transmitir la información a los agentes sociales.

Connotaciones internas

Las connotaciones internas de la RS de la información (bio)química están relacionadas con la producción de la misma. Son dos las más relevantes, que se materializan en la siguiente figura:

- a) *Generación con sostenibilidad*, lo que conlleva el desarrollo de los denominados "métodos verdes de análisis (bio)químico"¹² que tienen como objetivo minimizar la contaminación de aire, aguas y suelos originada por las operaciones llevadas a cabo en los laboratorios analíticos. Recientemente, se ha propuesto un baremo cuantitativo del impacto medioambiental de los procesos analíticos¹³ y



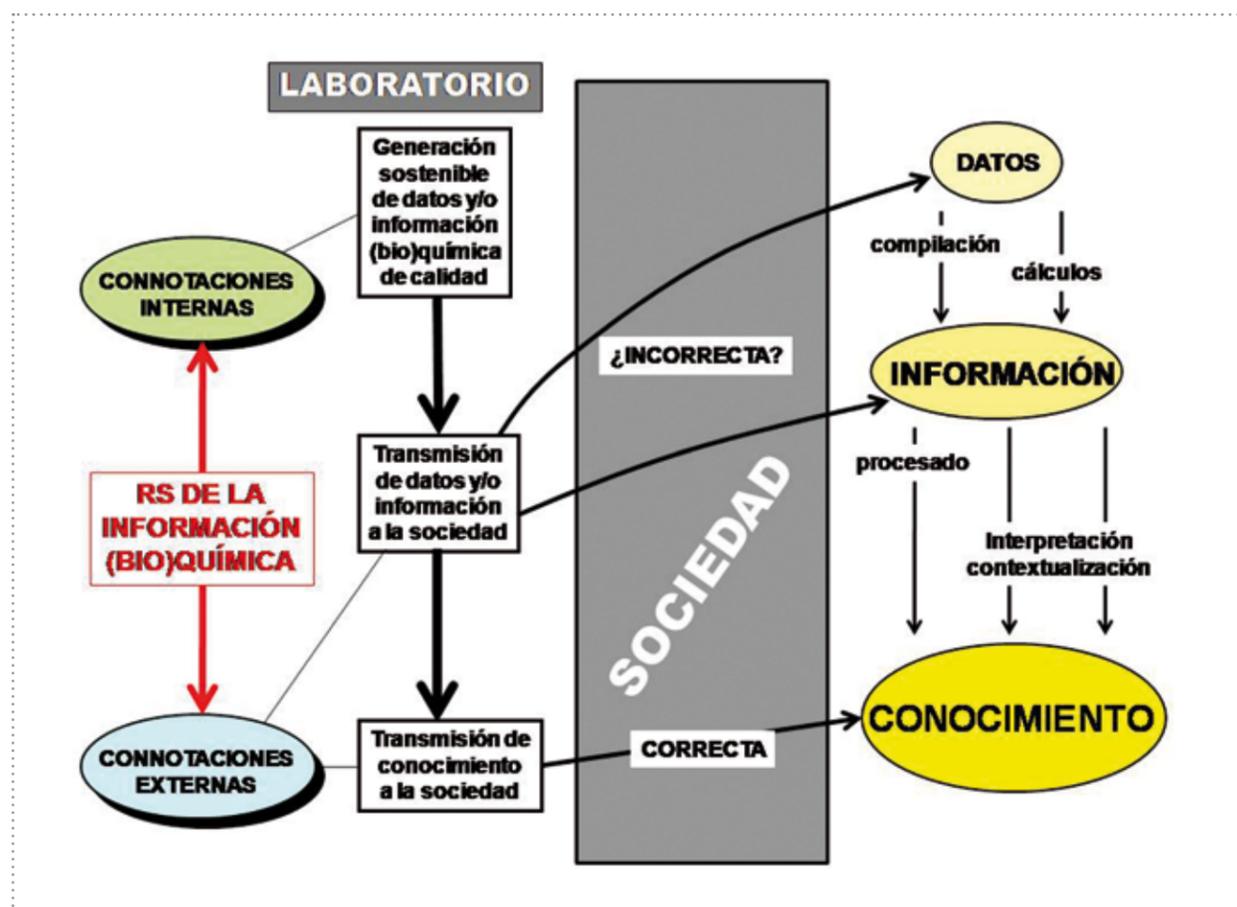
Connotaciones internas de la Responsabilidad Social de la información (bio)química.

- b) *Obtención de mayor nivel posible de calidad* de la información generada, lo que implica alcanzar la coherencia entre los diversos tipos de información (bio)química que pueden existir: la ideal o intrínseca, la considerada como verdadera (ej. la asociada a un material de referencia certificado), la que se genera por el laboratorio de forma rutinaria y la demandada y/o percibida por el cliente. Desde el punto de vista metrológico, la calidad se consigue al minimizar las diferencias entre la información intrínseca o la considerada como

verdadera con la generada por el laboratorio. Desde un punto de vista pragmático, la calidad se basa en la satisfacción de las demandas informativas. Encontrar el equilibrio entre estas tendencias contradictorias debe materializarse en los denominados "compromisos de calidad" en cada caso.

Connotaciones externas

Tal como puede verse en la figura, las connotaciones externas de la RS de la información (bio)química están relacionadas con la trans-



Connotaciones de la Responsabilidad Social de la información (bio)química contextualizadas en la jerarquía datos-información-conocimiento.

11. Valcárcel M., Aguilera-Herrador E. "La información (bio)química de calidad". Anales de Química, 2011, 107, 58-68.

12. "Ciencias para el Mundo Contemporáneo. Aproximaciones Didácticas". FECyT. Madrid, 2008.

13. Armenta S., Garrigues S., de la Guardia M. "Green Analytical Chemistry". Trends Anal. Chem., 2008, 27, 497-511.

La Responsabilidad Social de la información (bio)química



misión de datos, información (lo que puede ser no correcto) y conocimiento a los agentes sociales que los requieren para tomar decisiones fundamentadas y a tiempo.

En la figura anexa se muestran esquemáticamente los potenciales errores que pueden cometerse en el suministro de la información (bio)química a la sociedad.

En *primer lugar*, el fracaso se origina por el divorcio entre la información solicitada y sus características y la que se genera en el laboratorio. La información demandada es el tercer estándar básico de la Química Analítica (además de los patrones y estándares escritos). Debe seleccionarse la metodología analítica en función de esta referencia. Debe promoverse la exactitud

si se trata de determinar la pureza de una partida de oro, mientras que esta se sacrifica en aras a la comodidad y rapidez en la determinación de glucosa en sangre mediante los glucosímetros portátiles.

En *segundo lugar*, el problema puede originarse si se suministran datos o información o conocimiento. El suministro se hace más fiable y es plenamente correcto si se transmite conocimiento y menos fiable si se transmiten datos primarios. En definitiva, el nivel de fiabilidad depende de dónde se ubique la contextualización e interpretación de los datos; es decir, si se realiza en el ámbito científico-técnico, y no por la sociedad, la fiabilidad es mucho mayor. Tal es el caso del presunto doping del ciclista Alberto Contador; al transmitirse el dato (50

pg/mL de clenbuterol en sangre) la conclusión social errónea es que fue culpable de dopaje, lo que ha sido corroborado por una sentencia muy poco fundamentada del Tribunal de Arbitraje Deportivo (TAS), con una clara intencionalidad de ejemplarizar. Si se hubiese transmitido conocimiento (dato y sus circunstancias: nivel aceptable por el COI, controles negativos en días anteriores y posteriores, errores asociados a pequeñas concentraciones -trompeta de Horwitz-, etc.) es indudable que el ciclista no habría sido sancionado.

En *tercer lugar*, el fallo se origina cuando el nivel de información demandado no se correspon-

de con el generado por el laboratorio. Puede generarse información excesiva no necesaria. Tal es el caso del suministro de un listado de la concentración e incertidumbre de hidrocarburos aromáticos y alifáticos en aguas, mediante el empleo de un tratamiento exhaustivo y tedioso de la muestra, y uso de un cromatógrafo líquido acoplado a un espectrómetro de masas, cuando lo que se requiere es un índice total de hidrocarburos que puede conseguirse con una simple extracción líquido-líquido con un disolvente orgánico no hidrogenado y medidas espectrométricas de absorción en la zona infrarroja. Pero, también, se puede dar el caso contrario: generación de información in-



Posibles errores en el suministro de información (bio)química del laboratorio a la sociedad. Para detalles, ver texto.

La Responsabilidad Social de la información (bio)química

completa. Así, cuando se proporciona la concentración total de mercurio del agua de un estuario, esta no es válida para dictaminar la toxicidad, ya que la especiación (discriminación entre especies de mercurio de toxicidad muy diferente) sería la información requerida.

En *cuarto lugar*, el fracaso de la transmisión puede atribuirse al grado de experiencia del agente social receptor de la información (bio)química. Las posibilidades de éxito centradas en una comunicación biunívoca transparente y eficiente crecen a medida que aumenta la experiencia del agente. Desde un químico, que es experto en la temática específica, hasta un responsable (político, economista) sin formación científico-técnica, crece el grado de dificultad en este contexto.

En *quinto lugar*, el problema puede originarse en la existencia o no de un órgano responsable de la comunicación (ej. gabinete de prensa) del organismo del que depende el laboratorio o centro, que pueden jugar un papel trascendental en la transmisión de la información generada por el laboratorio. Se pueden producir deformaciones bien intencionadas buscando indebidamente el impacto informativo, pero que pueden levantar falsas expectativas o provocar alarmas injustificadas.

En *sexto lugar*, el fracaso puede producirse por la desconsideración de grado de impacto o importancia de la información en la sociedad, que puede considerarse como una variante de la causa comentada en primer lugar. Hay que diseñar el proceso analítico en función del impacto informativo. Así, en el análisis de una partida importada de frutos secos, el inmunoensayo para determinar aflatoxinas totales debe originar un 0,0% de falsos negativos. En los accidentes de tráfico, unas décimas en la concentración de etanol en sangre pueden suponer años de cárcel; por lo que el análisis en el laboratorio debe ser lo más exacto posible.

En *séptimo lugar*, los problemas pueden originarse en la manipulación externa de las muestras y, por ende, de la información bio(química). Caben dos posibilidades: a) Que se añada fraudulentamente el analito para cualificar incorrectamente la muestra y el objeto; tal es el caso de la adición intencionada de hidrocarburos a un manantial para que se descarte como fuente de suministro de agua o para acusar de contaminación al potencial causante (ej. un aeropuerto) y b) Que se añada fraudulentamente una sustancia inocua pero que interacciona bien con el objeto, bien con el analito y así se enmascara indebidamente la presencia/concentración del mismo. Este es el caso del empleo de sustancias que enmascaran a las drogas de abuso en el deporte y que están en el listado de sustancias prohibidas por el COI o la UCI. Estas sustancias pueden interferir indebidamente en la detección, o bien por provocar la eliminación rápida de las drogas del organismo de los atletas (ej. diuréticos), o bien interferir en el proceso analítico (ej. impidiendo la retención de las drogas en el material sorbente preconcentrador en la etapa de preparación de la muestra).

EPÍLOGO

La Responsabilidad Social (RS) es una aproximación inherente a cualquier actividad humana. Aunque nació en el ámbito empresarial, donde tiene diversos soportes documentales internacionales³, cada vez es más frecuente su aplicación transversal a otras áreas de actividad humana como puede ser la Ciencia y la Tecnología^{7,8}.

La Responsabilidad Social de la información (bio)química está asociada a la Responsabilidad de la Química Analítica¹⁰. Se trata de una faceta básica inherente a un comportamiento ético tanto del que genera como del que demanda/recibe esta información. Se trata de un enfoque relativamente nuevo en la Química



Analítica, que puede aprovecharse de los desarrollos previos en la gestión de la RS en las empresas. La consideración de las connotaciones internas y externas en que se ha basado este artículo parece una estructuración adecuada para definir integralmente la RS del Análisis, tercer componente básico de la Química, además de la Teoría y la Síntesis.

“La Responsabilidad Social es una aproximación inherente a cualquier actividad humana.”

Miguel Valcárcel

Dpto. de Química Analítica
Facultad de Ciencias
Universidad de Córdoba

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

qalvacam@uco.es

UN ANIVERSARIO PARA MEDITAR

“Es en momentos como este cuando debemos mostrar, y demostrar, que la Ciencia tiene respuestas.”

POR ANA ISABEL ELDUQUE



Edificio de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza (1962).

Fotografía de la Facultad de Ciencias.

Un aniversario para meditar

Este año hemos celebrado el 150 aniversario de la inauguración del edificio A de la Facultad de Ciencias. Para aquellos que no estén familiarizados, el edificio A es el edificio clásico, como suele decirse en español de la calle, *el de toda la vida*.

En los días actuales, cuando la inversión en nuevas infraestructuras en nuestra Universidad ha sufrido un drástico parón en su ejecución, es paradójico que debamos, y podamos, celebrar la existencia de nuestro vetusto edificio durante medio siglo. Tal y como las autoridades económicas nos están gobernando, parece

que debiéramos mostrar nuestra alegría por la existencia y razonable buen estado de este viejo caserón de la Ciencia en Zaragoza. Y si nos fijamos con más atención en otras facultades hermanas del campus, podría parecer que fuéramos hasta privilegiados por disponer de unas instalaciones ya entradas en años, pero todavía en buen estado de salud para la labor que tienen encomendada.

La Facultad de Ciencias no nació con este edificio del que celebramos ahora su aniversario. Según distintas fórmulas y modelos administrativos, las titulaciones de Ciencias se impartían en Zaragoza desde el segundo tercio del siglo XIX.

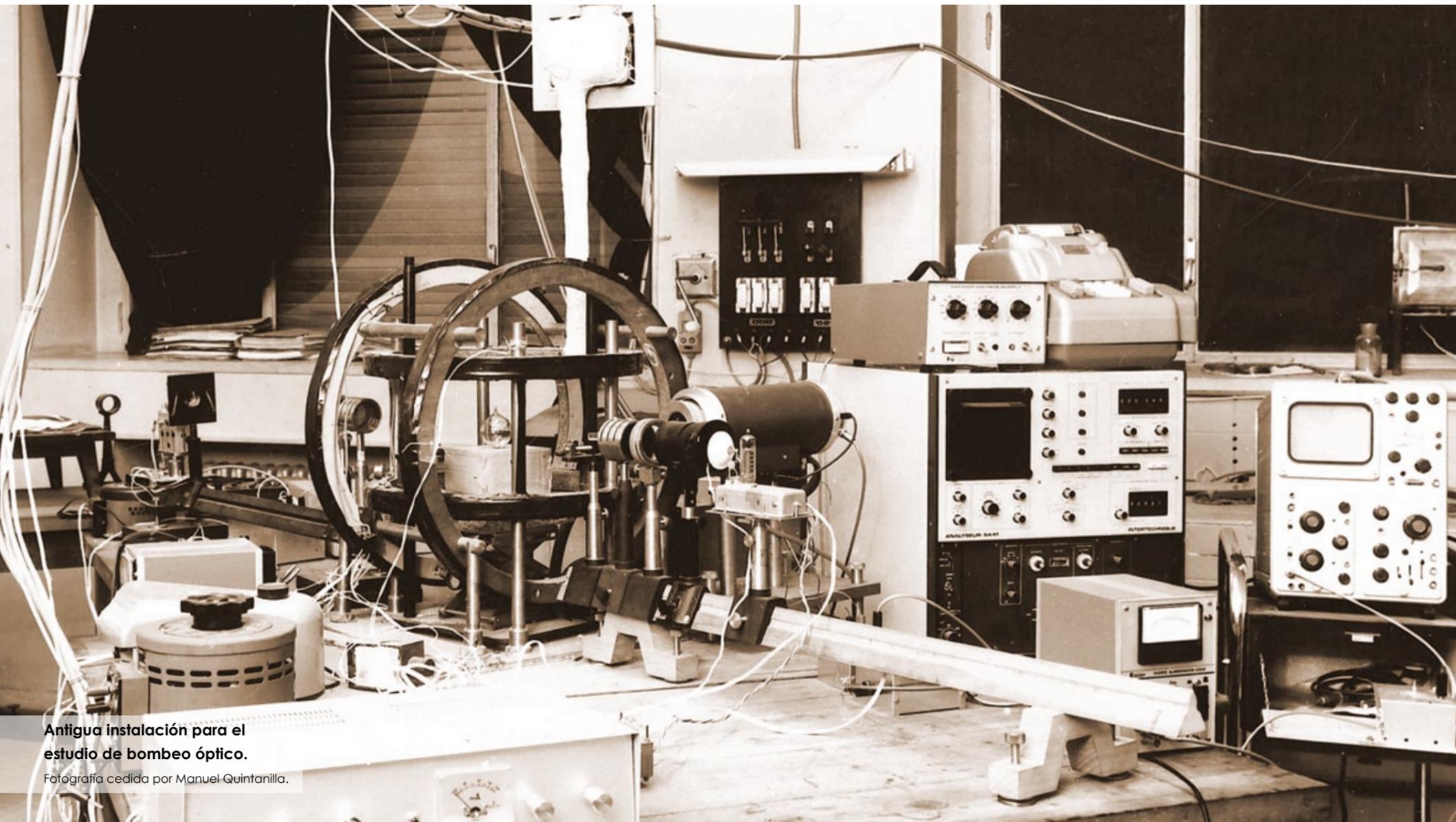
“Con gran valor y osadía comenzaron a construir nuevos laboratorios. Y he dicho construir porque en muchos casos hicieron los equipos con sus propias manos.”

Como Facultad, entidad propia y asimilable a la estructura organizativa que hoy tenemos, se constituyó en 1868. Y desde entonces no dejó de crecer, siendo, en el periodo de entreguerras, una de las Facultades de Ciencias punteras en España. No es de extrañar, pues, que uno de los antecedentes que sirvieron de germen para la creación del Colegio de Químicos de España estuviera aquí, en Zaragoza.

Pero esos años siempre transcurrieron de una forma peculiar. La compartición de las instalaciones del Paraninfo con los estudios de Medicina suponía una pérdida de la identidad de la Facultad en el entorno social de la época. Solo hay que recordar que en el imaginario colectivo, especialmente de los más mayores, el Paraninfo es recordado como *la Facultad vieja de Medicina*, olvidándose lo que el propio rótulo de la entrada principal dice, *Facultades de Medicina y Ciencias*.

Por eso, la inauguración en 1962 de este edificio supuso una clara puesta de largo, fundamentalmente social, de los estudios científicos en nuestra ciudad. Al campus de San Francisco se añadía una nueva instalación, del mismo estilo academicista de la época, similar a los existentes y próximos edificios de Filosofía y Derecho, y al de la lejana Veterinaria. Sería el último de este estilo arquitectónico tan clásico en la universidad española, ya que las siguientes construcciones lo fueron siguiendo los patrones de una edificación más moderna y acorde con el gusto de su tiempo (Edificio Interfacultades, Facultad de Medicina, Campus Río Ebro, etc...).

Como ya he dicho, para esta Facultad supuso una puesta de largo. Todos los viejos profesores, dicho esto con todo el cariño que suele asignarse a la expresión *viejo profesor*, nos recuerdan los heroicos momentos de entonces. Escasos medios, incomprensión administrativa, dificultades en la formación en centros punteros mundiales y, como siempre, una escasez galopante de recursos económicos. No eran tiempos de Ciencia en España (¿lo son hoy?) y el imperio valoraba todavía más a soldados y monjes que a profesores y científicos.



Antigua instalación para el estudio de bombeo óptico.

Fotografía cedida por Manuel Quintanilla.



Edificio de Geología, Facultad de Ciencias.

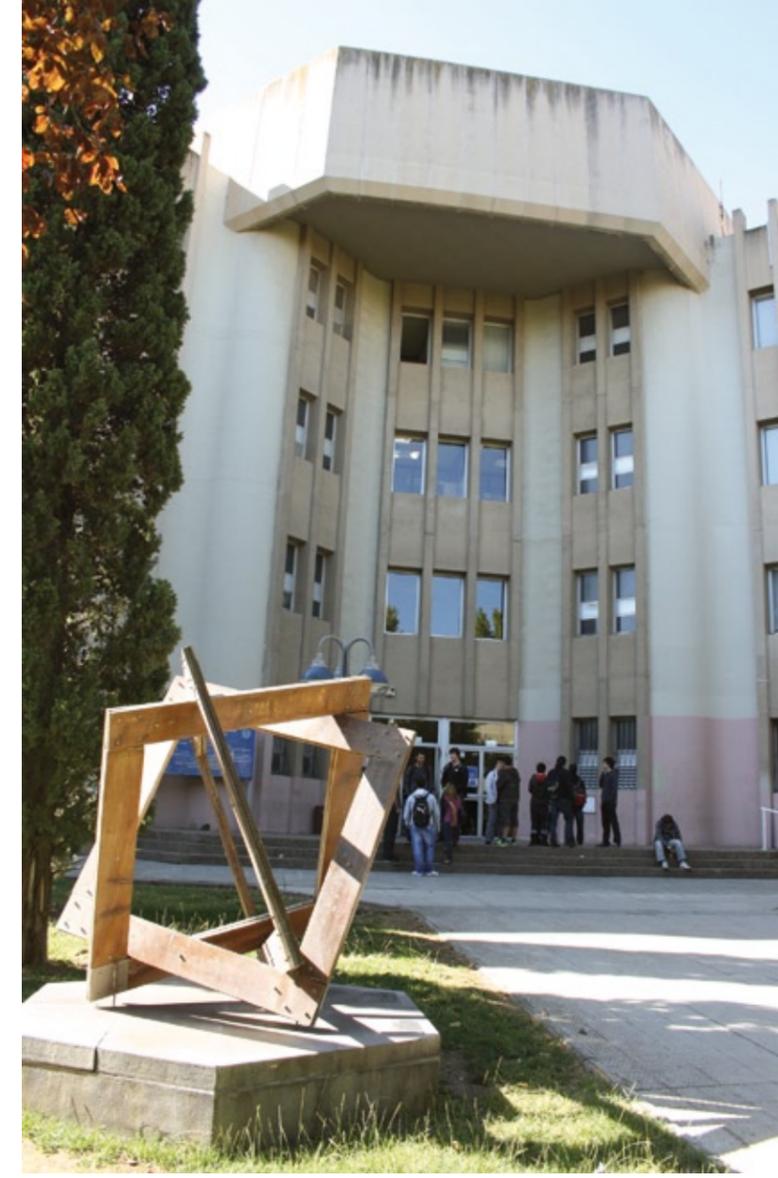
Fotografía de la Facultad de Ciencias.

“Somos científicos por propia elección. No elegimos nuestra profesión para aprender lo conocido. Muy al contrario, la elegimos para descubrir lo desconocido.”

Pero, como España misma, la Facultad comenzaba una nueva andadura de modernidad. Quizá lenta al principio. Tímidamente o, quizá mejor dicho, de forma timorata, nuestro país se lanzó a crear unas nuevas estructuras sociales que nos permitieran salir y, recuperar en parte un atraso social y económico inaceptable. Y en esto, la Facultad, no sé si apoyándose en estas, por aquel entonces, nuevas instalaciones, aportó también su labor. Se crearon nuevas cátedras y líneas de trabajo e investigación. Los que hoy todavía recorren los pasillos y los laboratorios, tuvieron su tiempo de formación por aquel entonces. Con gran valor y osadía, seguro que en algún caso también temeridad, comenzaron a construir nuevos laboratorios, nuevo equipamiento. Y he dicho construir porque en muchos casos hicieron los equipos con sus propias manos. No deja de extrañar hoy en día escuchar cómo se hicieron con equipos básicos para construir una

variada pléyade de instrumentos que paliaran la falta de fondos para la adquisición de equipamiento nuevo.

En poco tiempo, la Facultad de Ciencias, todo un clásico en nuestra Universidad, creció y añadió los estudios de Geología. Y con ellos la necesidad de nuevos edificios, donde se pudieran albergar aulas, bibliotecas, laboratorios y todo lo necesario para hacer *Ciencia en condiciones*. Pero no todo fueron buenas noticias. El que debía ser segundo edificio de la Facultad, que actualmente alberga a los compañeros geólogos, tuvo su tiempo de *recorte*, estando su estructura construida, pero sin finalizar, durante bastantes años. Parece ser que hay muy pocas cosas nuevas bajo el sol, y que esto de detener la construcción de infraestructuras a medio realizar no es ninguna novedad en nuestra Historia.



Edificio de Matemáticas (arriba) y edificio de Químicas (abajo), Facultad de Ciencias.

Fotografías de la Facultad de Ciencias.

Un aniversario para meditar

No quiero olvidarme de que este edificio recogió en su seno la primera implantación de las nuevas tecnologías en la institución. En nuestro hall de entrada se ubicó durante algún tiempo el Centro de Cálculo, cuyas instalaciones y equipos de entonces poco tienen que ver con lo que actualmente disponemos. Pero la Facultad supo albergar dentro de sí aquellas nuevas tecnologías que muy pocos podían prever que se iban a convertir en algo absolutamente familiar en nuestras vidas.

Prácticamente, todos los que hoy conformamos el claustro de profesores nos hemos formado en exclusiva en este viejo edificio. Lo consi-

deramos un poco nuestra casa. Aquí pasamos muchas horas, alegrías y tristezas, alguna emoción y muchos anhelos. Pero si preguntamos a aquellos que desarrollan su trabajo fuera del entorno universitario, la vieja facultad ha dejado en ellos cierta impronta y no son insensibles a la misma cuando cruzan sus puertas. Ya no son aquellas viejas y peligrosas puertas giratorias del inicio, ni los visitantes son recibidos en el hall con el característico olor procedente de los laboratorios de química del ala izquierda, ni nadie se sorprende al ver aquella enorme placa de mármol en las escaleras donde se podía leer *Francisco Franco Imperante*. Pero la Facultad sigue estando en un rincón del corazón de todos ellos y, de vez en cuando, vibra y les hace recordar.

Ahora, parece ser la opinión generalizada, son otros tiempos. Ese aire romántico que se respiraba ha desaparecido. Pero también cabe preguntarse si no será solo un mecanismo de nuestra memoria, ese que nos permite recordar solo los momentos felices y edulcora los demás. El ser humano no es feliz viviendo en la infelicidad. Solo genera desazón y deprime nuestro ánimo. Quiero decir que aquellos tiempos también debieron ser duros, más si cabe que los actuales. Se superaron y sirvieron para dejar este legado. Hagámoslo también nosotros en el momento que nos ha tocado vivir y dejemos, a los que ahora son estudiantes, un recuerdo que permanezca vívido durante toda su existencia.

Sí, los tiempos actuales son muy complejos. Especialmente por la incertidumbre en la que nos está tocando vivir. No sabemos a ciencia cierta cómo va a ser nuestro futuro inmediato. Pero, al fin y a la postre, somos científicos por propia elección.



Sala de estudio,
Facultad de Ciencias.

Fotografía de la Facultad de Ciencias.



Entrada del edificio A de la Facultad de Ciencias.

Fotografía de la Facultad de Ciencias.

No elegimos nuestra profesión para aprender lo conocido. Muy al contrario, la elegimos para descubrir lo desconocido. Es en momentos como este cuando debemos mostrar, y demostrar, que la Ciencia tiene respuestas. Nuestra vieja Facultad nos debe recordar que la capacidad de transformación de una sociedad es ilimitada.

“Aquí pasamos muchas horas, alegrías y tristezas, alguna emoción y muchos anhelos.”

Ana Isabel Elduque

Decana de la Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

LA EDUCACIÓN...

...UN PROYECTO GLOBAL DESDE LA FACULTAD DE CIENCIAS

Con los estudiantes de Secundaria y Bachillerato.

Jornadas de Puertas Abiertas

Visita de Profesores a Centros de Secundaria

Semana de Inmersión

Campamentos Científicos (FECYT)



SEMANA DE
INMERSIÓN EN CIENCIAS
2 0 1 2



JORNADAS DE PUERTAS ABIERTAS EN LA FACULTAD DE CIENCIAS:
Dos jornadas de cada mes comenzando el 22 de noviembre y hasta el 23 de mayo (incluidos diciembre y enero). Para más información consultar:
<http://ciencias.unizar.es/web/puertasAbiertas.do>

CICLOS DE CONFERENCIAS/EXPOSICIONES:
De enero de 2012 a octubre de 2013.

VISITAS DE PROFESORES DE LA FACULTAD A CENTROS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA:
De enero a mayo de 2013.

CICLO DE SALIDAS PROFESIONALES DE CIENCIAS:
De marzo a junio de 2013.

SEMANA DE INMERSIÓN EN CIENCIAS:
La actividad se llevará a cabo al final del curso 2012/2013.

EDUCACIÓN SECUNDARIA
Programa de Actividades 2012/2013
Para alumnos de 4º de ESO, 1º y 2º de Bachillerato

Más información:
<http://ciencias.unizar.es>
C/ Pedro Carbona, 12
Campus San Francisco
50009 Zaragoza
976 76 12 95

Con nuestros estudiantes.

Jornadas de Acogida

Cursos Cero

Plan Tutor

Cursos de Formación

Ciclo de Salidas Profesionales

CURSOS CERO 2012
Facultad de Ciencias

BOLETÍN DE INSCRIPCIÓN EN LOS CURSOS CERO

Apellidos y nombre: _____
Matrícula que no se a curso: _____

Cursos en los que desea inscribirse (marcar con un signo):
 Matemáticas Física Química Geología Instrumentación Informática

Fecha: _____
Seis Cursos Cero: 30€
Diez Cursos Cero: 40€
Trece Cursos Cero: 50€
Cinco Cursos Cero: 18€
Cinco Cursos Cero: 18€

SOLICITUD DE TUTOR PERSONAL

Nombre de la Facultad de Ciencias: _____
Nombre del alumno: _____
Matrícula: _____
Cursos de la titulación en el que se matricula en el año 2012-2013: _____
SOLICITO LA ASIGNACIÓN DE UN TUTOR PERSONAL:
Nombre: _____ Puesto: _____
Si desisto de la tutor personal a un Área de Conocimiento concreta, reintegro aquí el Área de Conocimiento.
Puedo encontrar la información en la guía Académica y en la web <http://www.unizar.es>

Para más información, pueden ponerse en contacto con el "Servicio de Estudiantes".

PLAN TUTOR

MESA DEBATE SOBRE LAS SALIDAS PROFESIONALES PARA TITULADOS EN BIOQUÍMICA/BIOLOGÍA
12 de abril, 12 horas
AULA MAONA

7º CICLO DE SALIDAS PROFESIONALES DE CIENCIAS

Jorge Abad
Ángel García de Jalón
Pilar Modero
Cristina Muñoz
Susana Palacios
Pedro Ruzján
Manuel Vilacampo
Módulo Alberto Anel (Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular y Celular)

Colegio Profesional de Biólogos de Aragón
Servicio de Biogenética del Hospital Miguel Servet
Centro de Análisis Genéticos
Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud
Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra
BIO-INSUMATEC, S.L.
GPERON, S.A.

<http://ciencias.unizar.es/web/ciclossalidasprofesionales.do>
Con el patrocinio del proyecto de innovación docente PND0-11-1-000

Con nuestros titulados.

Ciclo de Salidas Profesionales

Ciclos de Conferencias

Bolsa de Empleo

Puentes de Comunicación con nuestros Antiguos Alumnos