

CRISIS. ¿QUÉ CRISIS? LA CIENCIA ANTE EL NUEVO MILENIO

Redacción

DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Enrique Manuel Artal Bartolo
- Blanca Bauluz Lázaro
- Javier Fernández López
- Ángel Francés Román
- 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: Gráficas LEMA, Zaragoza.

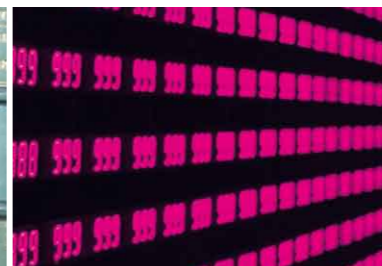
DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08

ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.

Portada: fotocomposición a partir de imágenes libres en la red.

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



Editorial	4
<u>Los glaciares del Pirineo Aragonés: una singularidad de gran valor</u> Javier del Valle	6
<u>2010: Año Internacional de la Biodiversidad</u> Juan Pablo Martínez Rica	16
<u>Geometría de la ciudad</u> José María Sorando	30
<u>El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva</u> José Manuel Vicente	40
<u>¿Error o incertidumbre?</u> Rafael Núñez-Lagos	54
<u>Biología olímpica</u> Rubén Peña	68
<u>Formación para el empleo y encuentro con la empresa</u> María Luisa Sarsa	78
<u>El reto que viene: sociedad, ciencia y periodismo</u> Miguel Ángel Sabadell	84
<u>Historia de unos libros viajados</u> Ana Isabel Elduque	94
<u>El LHC llega a Zaragoza</u> Alberto Virto	98
Noticias	110
Actividades	128
Artículos publicados	134
Colaboradores	136

¿Crisis? ¿Qué crisis?. La Ciencia ante el nuevo milenio.

Parafraseando al viejo grupo de los 70, hoy, después de varios meses, mejor dicho, trimestres, como les gusta decir a los macroeconomistas, de crisis nos preguntamos qué es y qué significa crisis para la Ciencia.

Es cierto que en los últimos dos años ha habido un retroceso en las dotaciones presupuestarias gubernamentales para el inicio y desarrollo de programas y proyectos científicos. También es cierto que los fondos de origen altruista o filantrópico no han aparecido en escena. Pero también cabe preguntarnos si en el desarrollo de la Ciencia con mayúsculas, las crisis de origen financiero, como la actual, no son sino meros vaivenes cuyo efecto, a largo plazo, es prácticamente despreciable.

Lo realmente peligroso no es que no haya una dotación particular de fondos, sino que la vocación científica de los ciudadanos y el predicamento de la Ciencia en la sociedad sean cada vez menores. Lo que lleva al marasmo científico, y por añadidura a un parón en la generación de conocimiento mismo, es la falta de acicate intelectual por la actividad investigadora e innovadora. Que la sociedad promocióne como más rentable, tanto en lo crematístico como en lo social, cualquier actividad antes que la creación de nuevo conocimiento, incluyendo la exposición pública de las miserias personales en los realities televisivos, es lo que, en mi opinión, debe preocuparnos por encima de todo.

Para apoyar esta afirmación, sólo me gustaría que el lector se intentara retrotraer a los años 1915-1916. En aquel momento, Europa estaba inmersa en la más terrible guerra conocida hasta la fecha, y ya se había desarrollado lo suficiente como para que ello fuera público. Los combatientes morían en los frentes asfixiados por gases letales enterrados en el fango de las trincheras. En esa situación, todo el esfuerzo de los estados en conflicto signifi-

caba esfuerzo bélico. Las dotaciones para investigación científica desaparecieron. Y aún así, el desarrollo científico técnico fue ingente. Los descubrimientos y aplicaciones gestadas a raíz de la guerra son bastante numerosos (os recomiendo el artículo sobre "El uso letal de la Ciencia"). Pero lo que destaca por encima de todo es que, en medio de esa vorágine, surge una de las obras cumbres de la Ciencia. Einstein publica entre 1915 y 1916 la Teoría de la Relatividad General. Y apenas seis meses después del final del conflicto, el 29 de mayo de 1919, un británico, Eddington, hace la primera comprobación experimental de la teoría con la que un súbdito alemán, Einstein, destronaba a otro británico, Newton, como el mayor científico de la Historia. Este es el espíritu que hace avanzar la Ciencia.

Este trabajo nuestro es prolongado en el tiempo, cooperativo en su desarrollo, no doctrinario ni dogmático en sus conclusiones y, sobre todo, racional. Y racional procede de raciocinio, es decir, del uso de la razón para conocer y juzgar. Que los medios materiales son absolutamente necesarios es innegable, pero que sólo con ellos lograremos el avance de la Ciencia demuestra una ignorancia total sobre qué es nuestro trabajo. En estos momentos es cuando más necesario se hace aplicar la máxima ácrata de mayo del 68: la imaginación al poder.

Si no conseguimos que nuestro trabajo se divulgue, especialmente la necesidad y utilidad del mismo, no vamos a conseguir que ese espíritu que antes he nombrado vuelva a cohabitar entre nosotros. No podemos dedicarnos a justificar el poco interés social logrado porque, durante uno o dos ejercicios, se nos redujeron las dotaciones de fondos. Debemos, y podemos, realizar una labor divulgativa mucho más intensa que la que hacemos habitualmente, y esta tarea no suele precisar de grandes necesidades financieras. Si lo fiamos todo a que la sociedad será capaz de apreciar por sí misma



la necesidad de la Ciencia, vamos a tener unos próximos años realmente duros, mucho más que los actuales, a pesar del recorte presupuestario.

Hoy en día la sociedad está siendo bombardeada literalmente de películas, exposiciones, series televisivas, realidades virtuales, etc. muchas de ellas relacionadas con sucedáneos científicos. Las series policiacas ya no son dos bravos y valientes agentes que desmontan los entramados más complejos del sindicato del crimen con sus armas cortas o, muchas veces, sus puños. Hoy en día, toda serie que se precie debe contar con su sección científica, donde esforzados investigadores escudriñan el más insignificante cabello y resto orgánico o mineral para deducir la naturaleza del crimen en cuestión. Hemos pasado del investigador racionalista, desde Sherlock Holmes hasta el entrañable Colombo, pasando por el inspector Poirot, a los investigadores científicos, cuyos laboratorios son dignos de estar ubicados en el Enterprise de Star Trek. Pero este marketing gratuito ofrecido por la industria del entretenimiento no va a lograr que aumenten las vocaciones científicas. La industria del entretenimiento sabe mejor que nadie que lo que más atrae para el divertimento inmediato es lo desconocido. Por lo tanto, no veamos en la aparición sistemática de "cerebritos" en el cine y la televisión otra cosa que la señal inequívoca de que lo que hacen (análisis, cálculos, deducciones y predicciones de apariencia científica) es absolutamente desconocido por el gran público.

Quiero acabar señalando un ejemplo de que tenemos mucho trabajo divulgativo por delan-

te. Estas semanas se ha mostrado en el Paseo de Independencia la exposición "El CERN a través de los ojos de Peter Ginter: la visión de un poeta" sobre el LHC. Si hiciéramos una encuesta, ¿cuántas personas podrían decir algo, sólo algo, sobre la H de hadrones? Y no será porque los fondos del LHC, y los diferentes experimentos que conlleva, no son abundantes. Podríamos completar la frase de que "el dinero no da la felicidad", con el corolario "ni él solo es capaz de hacer Ciencia". La enorme variedad que habita nuestro planeta y la grandeza de nuestra Naturaleza (os recomiendo leer "El Año Internacional de la Biodiversidad", "Los glaciares del Pirineo Aragonés" y otros artículos de este número) no necesitan más que un buen par de botas de trekking, tiempo libre y ojos curiosos deseosos de observar.

Trabajo y divulgación son las claves para que la Ciencia supere las crisis económicas. Si la sociedad nos percibe como necesarios, seremos necesarios. En caso contrario, ni tan siquiera contingentes. Simplemente prescindibles. Por eso, después de dos años, seguimos con la misma ilusión y ganas de trabajar que al principio. Porque nosotros, desde conCIENCIAS, estamos convencidos de... ¿crisis? ¿qué crisis?.

Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS



POR JAVIER DEL VALLE

¿QUÉ SON LOS GLACIARES Y LOS HELEROS?

Los glaciares son masas de hielo permanente que, por lo tanto, no desaparecen en verano y que presentan un movimiento lento, pero continuo, a favor de la pendiente de la ladera sobre la que se localizan. Este movimiento determina la aparición en su superficie de grietas de tracción, que pueden llegar a tener un tamaño y una profundidad considerable, y explica que sean elementos muy activos en la erosión del sustrato sobre el que se asienta, transporte del material arrancado y sedimentación del mismo en la zona de ablación (fusión) del hielo. Estos procesos han supuesto la generación de numerosas formas de relieve características de las zonas afectadas por glaciarios pasado o presente, perfectamente apreciables en amplias zonas de la cordillera pirenaica.

**LOS GLACIARES DEL PIRINEO ARAGONÉS:
UNA SINGULARIDAD DE GRAN VALOR**

Ibón de Marboré y glaciares de Monte Perdido.

*Fotografía por Javier del Valle

Los glaciares del Pirineo Aragonés: una singularidad de gran valor natural

En los macizos montañosos más elevados del sector aragonés de los Pirineos (Picos del Infierno, Monte Perdido, Posets y Aneto-Maladeta) se localizan los únicos glaciares existentes actualmente en España, que también son los más meridionales del continente Europeo. Además, en sus proximidades, también existen algunos heleros, masas de hielo también permanente, pero de menor masa y extensión, y que no presentan movimiento.

La superficie glaciada existente en la actualidad es resto de un glaciario mucho más extenso que ocupó grandes áreas de la Cordillera durante las glaciaciones cuaternarias. A lo largo del siglo XX se ha observado una notable disminución, pasando de las 1205 ha en el máximo de la Pequeña Edad del Hielo (1820-30) calculadas por Chueca (2002) hasta las 200.4 de principios del XXI (Datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas, 2008). En once masas de hielo localizadas en los tres macizos montañosos señalados se aprecia movimiento de las mismas, por lo que son verdaderos glaciares.

La presencia de estos aparatos en el Pirineo Aragonés representa una singularidad natural de primer orden, reconocida oficialmente mediante su declaración como Monumento Natural de los Glaciares Pirenaicos (Ley 2/1990 de 21 de marzo de las Cortes Aragonesas). A su propio valor natural, hemos de añadir el científico por su potencial como indicadores de los cambios climáticos que se producen en el Planeta, pues los glaciares tienen una dinámica dependiente de las condiciones térmicas y pluviométricas reinantes. También son testigo de la extensión e intensidad que los procesos glaciares alcanzaron en los Pirineos, donde en nuestros días son perfectamente visibles numerosas formas de relieve (circos, morrenas, ibones, etc.) generadas por los grandes glaciares que cubrieron la cordillera durante las glaciaciones cuaternarias. Por último, su valor hidrológico como reserva de agua regulada de forma natural, pues en ellos se acumula nieve durante muchos meses del año y funde poco a poco durante el verano, lo que contribuye a aumentar el caudal de algunos ríos pirenaicos durante los meses de estiaje.

SITUACIÓN ACTUAL

Glaciares en el Pirineo aragonés

En la última medición, realizada durante 2007, la situación de los glaciares aragoneses era la siguiente (Datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas, 2008):

- Macizo de los Picos del Infierno o Quijada de Pondiellos: glaciar de Infierno Occidental (6 ha).
- Macizo de Monte Perdido: glaciar superior (4 ha), glaciar inferior (28 ha).
- Macizo de Posets: glaciar de Llardana (9 ha), glaciar de La Paúl (6 ha).
- Macizo de Aneto – Maladeta: Glaciar de Maladeta Occidental, desgajado del de Maladeta a finales del siglo XX (5 ha), glaciar de Maladeta (28 ha), glaciar de Aneto (64 ha), glaciar de Barráncs (8 ha) y glaciar de Tempestades (10 ha).

Son en total 168 ha cubiertas por glaciares estrictamente, a las que hemos de añadir 11.4 ha cubiertas por he-

“En los macizos montañosos más elevados del Pirineo Aragonés se localizan los únicos glaciares existentes actualmente en España.”

ros y 21 por glaciares rocosos, masas de hielo dinámicas (con desplazamiento) que están cubiertas por una capa de roca, lo que impide apreciar la presencia del hielo. Se encuentran repartidas entre las 13 ha del glaciar rocoso de Argualas (macizo de los Picos del Infierno) y las 8 ha del de Los Gemelos (macizo de Posets).

La situación descrita significa una superficie glaciada total de 200.4 ha en sus diferentes morfologías (glaciares, heleros y glaciares rocosos), notablemente menor que las 438.8 ha identificadas en 1992 (Chueca y Lampre, 1994).

La huella glaciar

Hemos hecho referencia, hasta el momento, de las morfologías en las que existe presencia de masa de hielo permanente en la actualidad. Como ya hemos señalado, el glaciario del

Pirineo Aragonés es resto de unas superficies cubiertas por hielo mucho mayores durante las glaciaciones. De las cuatro glaciaciones identificadas en el cuaternario, es la última la que ha dejado huellas más abundantes en el relieve actual, debido a su proximidad en el tiempo y a que los efectos de una glaciación normalmente borran o desdibujan las morfologías generadas por la anterior. Esta glaciación tuvo su desarrollo en los Pirineos durante el Pleistoceno Superior, alcanzando su máximo hace 45.000 a 50.000 años. Su finalización se data hace unos 10.000 años, comenzando entonces la fase postglaciar (Lampre, 2003). De este periodo frío en el que los aparatos glaciares tuvieron un gran desarrollo en la Cordillera, tanto en extensión como en espesor, datan la mayoría de las formas de relieve que vamos a describir a continuación:



Glaciar inferior de Monte Perdido.

*Fotografía por Javier del Valle

Los glaciares del Pirineo Aragonés: una singularidad de gran valor natural

- **Los lagos de alta montaña:** se denominan ibones en el Pirineo Aragonés, y se generan como consecuencia de la mayor presión ejercida por el hielo en lugares donde disminuye la pendiente, lo que produce una sobreexcavación que genera una depresión. En la posterior etapa interglaciar, con el retroceso de las masas de hielo se produce la fusión del manto glaciar, y estas cubetas se transforman en áreas lacustres receptoras de aguas procedentes del deshielo. Existen un total de 197 ibones inventariados en Aragón, distribuidos mayoritariamente en tres grandes zonas: los macizos de Panticosa, Posets y Maladeta, (Del Valle y Rodríguez, 2004).

Frecuentemente se localizan agrupados en número variable y escalonados a diferentes alturas. En ellos se desarrollan ecosistemas muy particulares, adaptados a la altitud y a la dureza de las condiciones climáticas, debido a los que permanecen helados durante buena parte del año. Algunos de ellos se han transformado en diferentes grados, especialmente mediante su recrecimiento para aprovechamiento hidroeléctrico, con la consiguiente desnaturalización, pero muchos otros permanecen en estado prácticamente inalterado.

Desde su generación, un ibón sufre un proceso progresivo de colmatación por la llegada de sedimentos, lo que causa su progresiva pérdida de superficie y de profundidad. Este proceso explica que, en las orillas de algunos, se aprecien formaciones deltaicas de mayor o menor desarrollo y que, una vez terminado el proceso de colmatación, desaparezcan como lagos y se conviertan en turberas, es decir, zonas llanas encharcadizas con vegetación hidrófila en las que las aguas de escorrentía con frecuencia se estancan o forman pe-

queños regueros de discurrir divagante y meandriforme, las llamadas "aguas tuer-tas". Por ello hoy encontramos ibones de muy diferentes características: algunos ya convertidos en turberas, otros con escasa profundidad debido al avanzado proceso de colmatación (caso del superior de Anayet), mientras otros, según las batimetrías señaladas, alcanzan casi los 100 m de profundidad, como el de Cregüeña.

- **Los circos glaciares:** son anfiteatros montañosos, normalmente rodeados de paredes y cumbres, en los que se producía la alimentación de los glaciares. Frecuentemente presentan una disposición con varios escalones en los que pueden instalarse cascadas (caso de los de Soaso o Pineta). Son el comienzo de otra forma de relieve muy representativa descrita a continuación.
- **Los valles glaciares:** se caracterizan por tener paredes de gran pendiente, próxima a la verticalidad, y fondos planos. Por ellos discurrían lenguas de hielo, en los tramos altos de gran espesor: unos 500 m donde hoy se asientan localidades como Benasque o Biescas (Lampre, 2003), que erosionaban las paredes ensanchando así el valle, y arrastraban sedimentos, generando morrenas de fondo, laterales y frontales.

Hay casos de valles glaciares laterales cuyo fondo se sitúa a mayor altura que el valle principal, son los valles colgados que corresponden con antiguas lenguas de hielo afluentes a la lengua principal, de menor espesor y capacidad erosiva. Algunos ejemplos muy significativos son Ordesa, con el valle colgado de Cotatuero, Pineta, con el de Lalarri o Benasque con los de Estós y Vallivierna.

“Existen un total de 197 ibones inventariados en Aragón, distribuidos mayoritariamente en tres grandes zonas: los macizos de Panticosa, Posets y Maladeta.”

- **Morrenas:** son formas de acumulación frecuentes en los fondos y zonas laterales de los valles glaciares pero que, en muchas ocasiones, son difíciles de apreciar en el terreno, con la excepción de la morrena frontal del valle del Gállego sobre la que se asienta el pueblo de Senegüé. En ella se observa fácilmente la forma de media luna con la parte cóncava orientada hacia aguas arriba. Esta morfología se debe a que se trata del depósito terminal de la lengua glaciar, que descendía por el citado valle, y que no ha sido borrado por ninguna glaciación posterior.

Además de las morfologías mencionadas, relacionadas con las glaciaciones cuaternarias, en el Pirineo Aragonés es posible ver algunas formas de acumulación generadas en un periodo frío reciente denominado "Pequeña Edad del Hielo" que tuvo lugar entre los siglos XVI y principios del XIX. El mencionado periodo frío está perfectamente documentado en la Cordillera, pues contamos con grabados y fotografías de finales del siglo XIX o principios del XX que muestran unos aparatos glaciares de mucha mayor extensión y potencia que los actuales.



*Fotografía por Javier del Valle

Glaciar de La Maladeta desde el Portillón de Benasque.

Los glaciares del Pirineo Aragonés: una singularidad de gran valor natural

Hoy es posible observar perfectamente morrenas laterales de la "Pequeña Edad del Hielo" en casi todos nuestros glaciares. Incluso en alguno de ellos es visible el arco completo e ininterrumpido constituido por las morrenas laterales y la frontal unidas (caso del antiguo glaciar de Coronas, hoy convertido en helero, situado en la cara S del Aneto). Debido a que se trata de formas recientes, el material que las constituye está escasamente asentado y sin colonización vegetal (proceso dificultado también por la altura a la que se localizan), mostrándose como acumulaciones de cantos y bloques heterogéneos de gran inestabilidad.

Valor educativo y científico

El valor educativo y científico de los glaciares responde a varias razones, como a continuación se desarrolla:

- Su propia singularidad. Ya hemos mencionado que son los únicos existentes en territorio español y los más meridionales de Europa, lo que les da un valor natural excepcional. El glaciario también se extendió por amplias zonas de otras montañas españolas (Cordillera Cantábrica, sector N del Sistema Ibérico, Sistema Central e incluso Sierra Nevada), pero en ellas los aparatos glaciares se extinguieron, quedando sólo las morfologías derivadas.
- Al ser aparatos glaciares dinámicos y activos, aunque de tamaño modesto, facilitan la comprensión del glaciario de grandes dimensiones que ocupó amplias zonas de Los Pirineos. Son, por lo tanto, testigos de épocas en las que las condiciones climáticas y ambientales del Planeta eran muy diferentes a las actuales, periodos no muy lejanos en el tiempo en el caso de la última glaciación, cuyo final coincide aproximadamente con algunas representaciones artísticas del arte paleolítico del Norte de España y Francia.

- Indicadores de las variaciones térmicas que se observan en el Planeta. Su pequeño tamaño les hace especialmente sensibles a las alteraciones climáticas, por lo que responden de forma rápida creciendo durante periodos fríos de importante acumulación de nieve y menor fusión, y disminuyen su extensión y potencia también en un plazo relativamente corto en periodos cálidos de mayor fusión, como el observado a lo largo del último cuarto del siglo XX.
- Debido a sus propias características y a su localización, son zonas de escasa antropización. Sus condiciones son, por lo tanto, de alta naturalidad, con un entorno también en estado prácticamente inalterado, salvo la existencia de rutas montaÑeras en sus proximidades.
- Se trata de un espacio natural protegido denominado "Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos" (Ley 2/1990 de 21 de Marzo de las Cortes de Aragón) que abarca una superficie de 399 ha. Los Monumentos Naturales "son espacios o elementos de la naturaleza constituidos básicamente por formaciones de notoria singularidad, rareza o belleza, que merecen ser objeto de una protección especial" (Ley 4/1989 de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres).
- La localización de los glaciares en alta montaña (por encima de 2700 m de altitud), y la inexistencia de vías de comunicación para vehículos en sus proximidades, hace que su visita y observación requiera realizar itinerarios caminando bastante exigentes físicamente, pero que nos permiten apreciar los valores naturales y paisajísticos del entorno de los glaciares y muchas formas de erosión y sedimentación creadas por ellos. Es muy gratificante realizar estas rutas pero, en cualquier caso, hay que lle-



1.- Ibón Azul superior.

2.- Plan de Aiguallut y sus aguas tuertas.

var el equipo adecuado y contar con cierta experiencia en montaña, o en su defecto ir acompañado de guías.

Se proponen, a continuación, algunas rutas que permiten observar alguno de los glaciares y sus formas de relieve asociadas:

- Balneario de Panticosa – Collado de Tebarray. Sigue la ruta GR-11 desde el mencionado Balneario hasta los ibones de Bachimaña, recrecidos para su aprovechamiento hidroeléctrico. Desde el final del ibón superior de Bachimaña la ruta gira hacia la izquierda, alcanza el ibón Azul Inferior (también recrecido) y, poco después, el ibón Azul Superior, en estado natural. Desde él se aprecia el glaciar de Infiernos sin necesidad de llegar al Collado de Tebarray. La duración de la ruta hasta el ibón Azul

Superior es de unas tres horas y el desnivel de unos 800 m.

- Circo de Pineta – Ibón de Marboré. Da comienzo en una espectacular forma glaciar, como es el circo de Pineta, en el que se desploman las cascadas del Cinca. Desde aquí, en dirección al ibón de Marboré, la ruta asciende por una marcada pendiente. A medida que gana altura, permite apreciar la morfología en "U", típicamente glaciar del valle de Pineta. Sin descansos prácticamente, la senda alcanza el umbral superior del circo. Desde aquí hay una magnífica vista de los glaciares superior e inferior de la cara norte de Monte Perdido. Es posible desde aquí ir al ibón de Marboré, tramo con escasa pendiente a lo largo del que se siguen teniendo magníficas perspectivas de los glaciares. La duración de la ruta hasta

Los glaciares del Pirineo Aragonés: una singularidad de gran valor natural

el ibón es de unas cuatro horas y media, con un desnivel de 1200 m.

- Llano de la Besurta – Portillón de Benasque. El llano de la Besurta se sitúa en el alto valle del Ésera, de clara morfología glaciar. Desde él surge una senda que conduce al Portillón de Benasque, paso que comunica con Francia. Antes de alcanzarlo se llega a una hombrera glaciar en la que hay una pequeña zona semiencharcada. Desde aquí, sin necesidad de llegar al Portillón, se aprecia una magnífica vista de los Montes Malditos, donde se localizan los mayores glaciares de los Pirineos. Su localización es privilegiada para observar el glaciar de la Maladeta y su lengua todavía definida. La duración de la ruta hasta el Portillón es de unas dos horas, con un desnivel de 600 m. No obstante, a una hora de marcha y tras unos 350 m de desnivel, ya se aprecia perfectamente el glaciar.
- Llano de la Besurta – Plan de Aiguallut. Desde el lugar donde termina la carretera asfaltada, que recorre el alto valle del Ésera, es necesario seguir la senda hacia el SE. Recorre el fondo del mencionado valle, de clara morfología glaciar. Tras algunos desniveles de escasa relevancia, alcanza el "Forau de Aiguallut", dolina en la que se precipitan las aguas de fusión del glaciar de Aneto, para, tras una circulación sub-

terránea, aflorar en la cuenca del Garona. Continuar por la senda permite alcanzar el Plan de Aiguallut, llano en el que las mencionadas aguas se dividen en varios cauces y se quiebran en numerosos recodos y meandros, formando unas "aguas tuertas" desde donde se obtiene una buena vista del glaciar de Aneto.

CONCLUSIONES

- La presencia de glaciares en Los Pirineos es un hecho de un gran valor natural por su singularidad en el contexto español y su localización meridional en el europeo.
- Son numerosas las huellas glaciares de los periodos en los que el glaciario fue muy extenso en la Cordillera. Muchas de ellas son perfectamente apreciables en la actualidad y tienen un gran potencial educativo y docente como geoformas específicas generadas, exclusivamente, en ambientes glaciares diferentes a los actualmente existentes en los Pirineos.
- El glaciario actual es de pequeña entidad y, a pesar de su singularidad, ha sido escasamente conocido en Aragón y en el resto de España, salvo en sectores sociales directamente relacionados con la alta montaña o en ciertos medios científicos. En los

últimos años se ha realizado un esfuerzo de divulgación a través de tres centros de interpretación, artículos, conferencias, etc.

- La dinámica recesiva, que han tenido desde principios del siglo XX, hace pensar que pudieran desaparecer a medio plazo o que, si no se llega a ese extremo, los glaciares puedan convertirse en formas menores, como heleros. Por ello, consideramos especialmente importante su conocimiento científico y la divulgación social de éste.

BIBLIOGRAFÍA

- Chueca J., Lampre F., 1994. Cuadernos altoaragoneses de trabajo, Nº 21. Ed. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Diputación de Huesca.
- Chueca J., Peña J. L., Julián A. y Blanchard, 2002. Comparación de la situación de los glaciares del Pirineo español entre el final de la Pequeña Edad del Hielo y la actualidad. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 3, pp. 13-41.
- del Valle J., Rodríguez C., 2004. Análisis de la calidad ambiental y paisajística del entorno de los ibones del Pirineo aragonés.

Actas del VII Congreso Nacional de Medio Ambiente. Madrid.

- López Moreno J. I., 2000. *Los glaciares del alto valle del Gállego (Pirineo central) desde la Pequeña Edad de Hielo. Implicaciones en la evolución de la temperatura*, Geoforma Ediciones, Logroño, 77 p.
- Martí C., García J. M. eds. 1994. El Glaciario subpirenaico: nuevas aportaciones. Geoforma Ediciones, Logroño.
- Pedraza J., 1996. *Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones*, Editorial Rueda, Madrid.
- VV.AA (2008). Datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas. El programa Erhin (1984-2008). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

Javier del Valle

Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio
Facultad de Filosofía y Letras
Universidad de Zaragoza



Glaciares superior e inferior de Monte Perdido.

*Fotografía por Javier del Valle



2010: AÑO INTERNACIONAL DE LA BIODIVERSIDAD



Desde 1959 la Organización de las Naciones Unidas ha ido designando cada año a un tema determinado, a menudo a más de uno. En cinco ocasiones, antes de 2010, se han designado temas de tipo medioambiental, y en el presente año el tema elegido ha sido la biodiversidad. De manera que el año en que estamos es el Año Internacional de la Biodiversidad.

POR JUAN PABLO MARTÍNEZ RICA



Algunas especies de mariposa poseen alas transparentes para camuflarse de sus depredadores.



La eficacia de estas designaciones puede ser discutida, pero no cabe duda de que la ONU cumple con su misión al designar los Años Internacionales. Como organización planetaria que es, tiene que promover el conocimiento de la importancia de algunos elementos ambientales o culturales para el progreso, la estabilidad o la simple supervivencia de la humanidad. Si no otra cosa, por lo menos consigue que proliferen durante doce meses los actos centrados en el tema elegido y, así, no es de extrañar que, en este año 2010, se desarrollen multitud de conferencias, simposios y proyectos centrados en la biodiversidad, y se escriban todavía más artículos sobre el tema.

El mensaje que la ONU pretende difundir este año es muy simple: las vidas humanas dependen de la existencia y buen funcionamiento de una biosfera saludable. Las actividades industriales o comerciales de la humanidad han llegado a representar una amenaza para el buen funcionamiento de la red de la vida, y se requiere una acción coordinada para reducir esta amenaza. El campo de acción es amplio, y va desde la protección a las especies amenazadas a la búsqueda de energías alternativas que disminuyan el daño causado a la biosfera. Es decir, se trata de una manifestación más del programa medioambiental amparado por la ONU. Pero, naturalmente, destacan las iniciativas directamente dedicadas a frenar la pérdida de biodiversidad, muchas de las cuales se enmarcan en el Convenio Global sobre Biodiversidad, vigente desde hace más de una década.

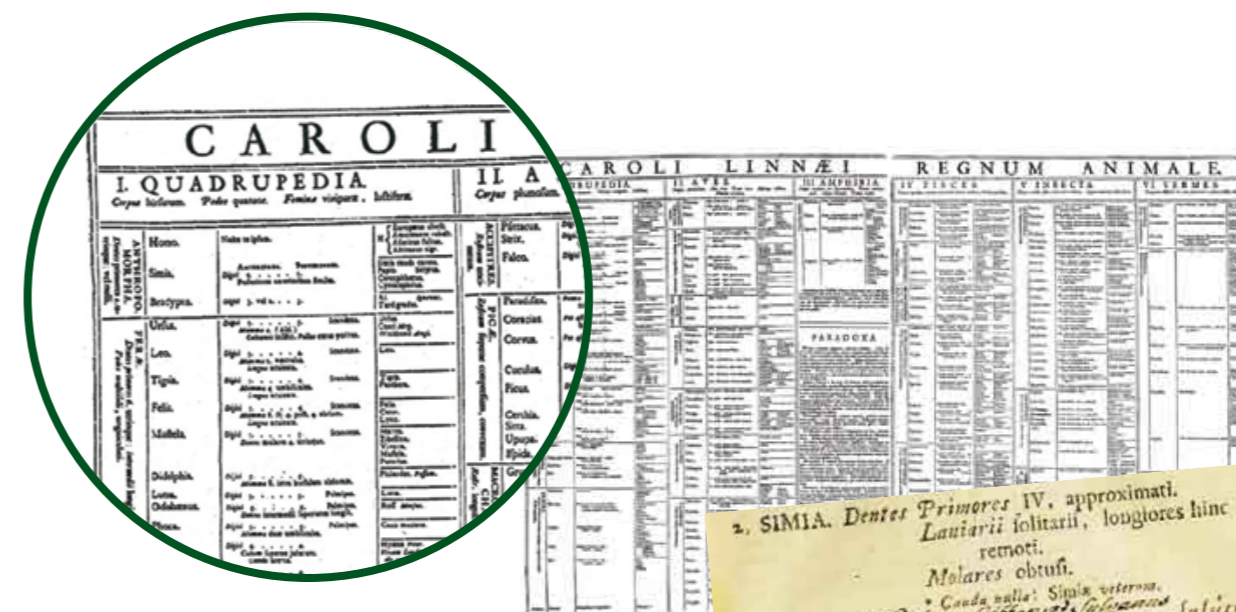
¿QUÉ ES LA BIODIVERSIDAD?

La biodiversidad es una característica esencial de la vida, y corresponde a la variedad de los sistemas vivos. En el mismo comienzo de la vida en la Tierra, cuando los protoorganismos se reducían a simples gotas de líquido ricas en compuestos orgánicos y rodeadas de

una membrana molecular más o menos estable, ya se daba una diferenciación inicial de los distintos corpúsculos, debida a variaciones en su densidad o en su distancia a los bordes del recipiente que los albergaba. Al fin y al cabo la selección natural, que es el motor de la evolución, se basa en la selección de las diferencias, de modo que si no hay diferencias no hay evolución.

El concepto de biodiversidad es relativamente reciente. Suele atribuirse a O. Wilson, quien lo popularizó en los años 80, aunque la verdad es que es muy anterior. Como tantos otros conceptos difíciles de captar, ha sido muy discutido, e incluso se ha propuesto su supresión al considerarlo una idea vacía, que no contaba con una definición adecuada y no era susceptible de medida. Lo cierto es que, una vez conseguida su clarificación y cuantificación, se ha convertido en una herramienta muy útil para calibrar el estado de salud de la biosfera. Hoy la definición "oficial" que dan las Naciones Unidas es la siguiente: "Biodiversidad, o diversidad biológica, es la variedad existente entre los organismos vivos a todos los niveles, incluyendo, entre otros, los ecosistemas terrestres y acuáticos, y los complejos ecológicos de que estos ecosistemas forman parte: esto incluye la diversidad dentro de y entre las distintas especies, así como dentro de y entre los distintos ecosistemas".

Una de las estimas, habitualmente usadas de la biodiversidad de un territorio, es la llamada riqueza específica, o número de especies de un determinado grupo que habitan en el mismo. No es lo mismo que la biodiversidad, pero está claramente relacionada con ella. Referida a la totalidad del planeta, es el número de especies vivientes hoy conocidas, y ni siquiera este número, que es básico para la gestión de la biodiversidad y para evaluar la tasa de pérdida de la misma, puede establecerse con precisión. El número de especies hoy catalogadas por la Ciencia se sitúa en poco más de un millón y

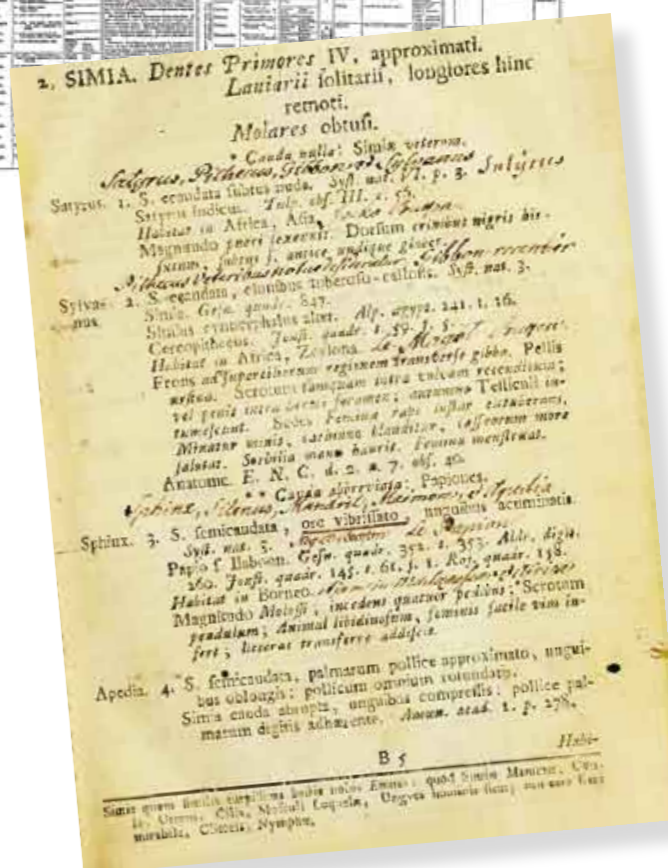


El primer intento de catalogar metódicamente la biodiversidad existente en la Tierra se debe a Carlos Linneo, el gran botánico sueco. Aquí aparecen partes de la edición primera (1735) y décima (1758) de su obra "Systema Naturae", con sendos fragmentos dedicados a los mamíferos primates. Se presenta sólo una página de la décima edición, que dedica 11 a este grupo. (Real Jardín Botánico de Madrid).

medio, pero se sabe que una gran parte de las especies existentes nos son aún desconocidas. Las hipótesis acerca de este número lo sitúan entre dos y cien millones, con un valor más probable de entre 10 y 15 millones. Eso significa que conocemos poco más de la décima parte de la riqueza específica con que cuenta nuestro planeta. Y de la décima parte que conocemos hay que descontar sus nueve décimas partes de cuyas especies sabemos, únicamente, que existen.

¿QUÉ SE CONOCE DE LA BIODIVERSIDAD?

No siempre ha sido así. Hace siglos el panorama era más simple: se conocían todas las especies, o al menos así se creía. En el siglo IV a.C. Teofrasto describe 576 especies de plantas, que suponía eran la totalidad de las existentes. Este número se fue haciendo mayor a



lo largo de los siglos y, a comienzos del siglo XVIII cuando nació Carlos Linneo, el número de especies conocidas era de unas 12000, entre plantas y animales.

Cuando tenía 28 años, Linneo publicó en Holanda la primera edición de una obra que se haría famosa, su "Systema Naturae", una especie de cuadro de ordenación de la naturaleza, en el que se recogían las especies de los tres reinos entonces reconocidos, animal, vegetal y mineral. En realidad, era un resumen modesto, que el autor sueco iría ampliando y perfeccionando a lo largo de su vida. Para cuando alcanzó

la décima edición, en 1758, el número de especies consignadas era de unas 13000. Esta edición se considera todavía como el punto de partida de la nomenclatura científica oficial de los seres vivos, y como la primera clasificación ordenada de los mismos. El progreso entre las dos ediciones indicadas es evidente.

Las numerosas especies aportadas por distintos autores de los siglos XVIII y XIX fueron redondeando el catálogo de la biodiversidad del mundo. Hacia mediados del siglo XIX, cuando Darwin enunció su teoría de la evolución, el número de especies conocidas se había elevado hasta casi 400.000, y la pretensión de que dicho catálogo era completo se había abandonado hacía tiempo. Todavía persistían los intentos de desarrollar una fauna y una flora de alcan-

ce mundiales, pero también estos intentos se fueron abandonando a medida que crecía el número de especies catalogadas, y sobre todo a medida que crecía la estima del número de especies aún desconocidas.

La situación ha cambiado recientemente gracias a las posibilidades ofrecidas por los modernos medios informáticos. Evidentemente, la tarea de descubrimiento y descripción de nuevas especies continúa, al tiempo que cambian los conceptos de especie y los métodos de diferenciación de las mismas. Las técnicas de secuenciación de ADN y el desciframiento de los distintos genomas ha revolucionado el sistema de clasificación que hasta ahora se ha usado. Pero, por lo menos, existe ya un horizonte que contempla la catalogación de todos los seres

vivos existentes (ver, por ejemplo, <http://www.catalogueoflife.org>, una página web que en estos momentos cuenta ya con 1.200.000 organismos catalogados). Diversas universidades y centros de investigación de nuestro país participan en este esfuerzo.

¿CÓMO SE MIDE LA BIODIVERSIDAD?

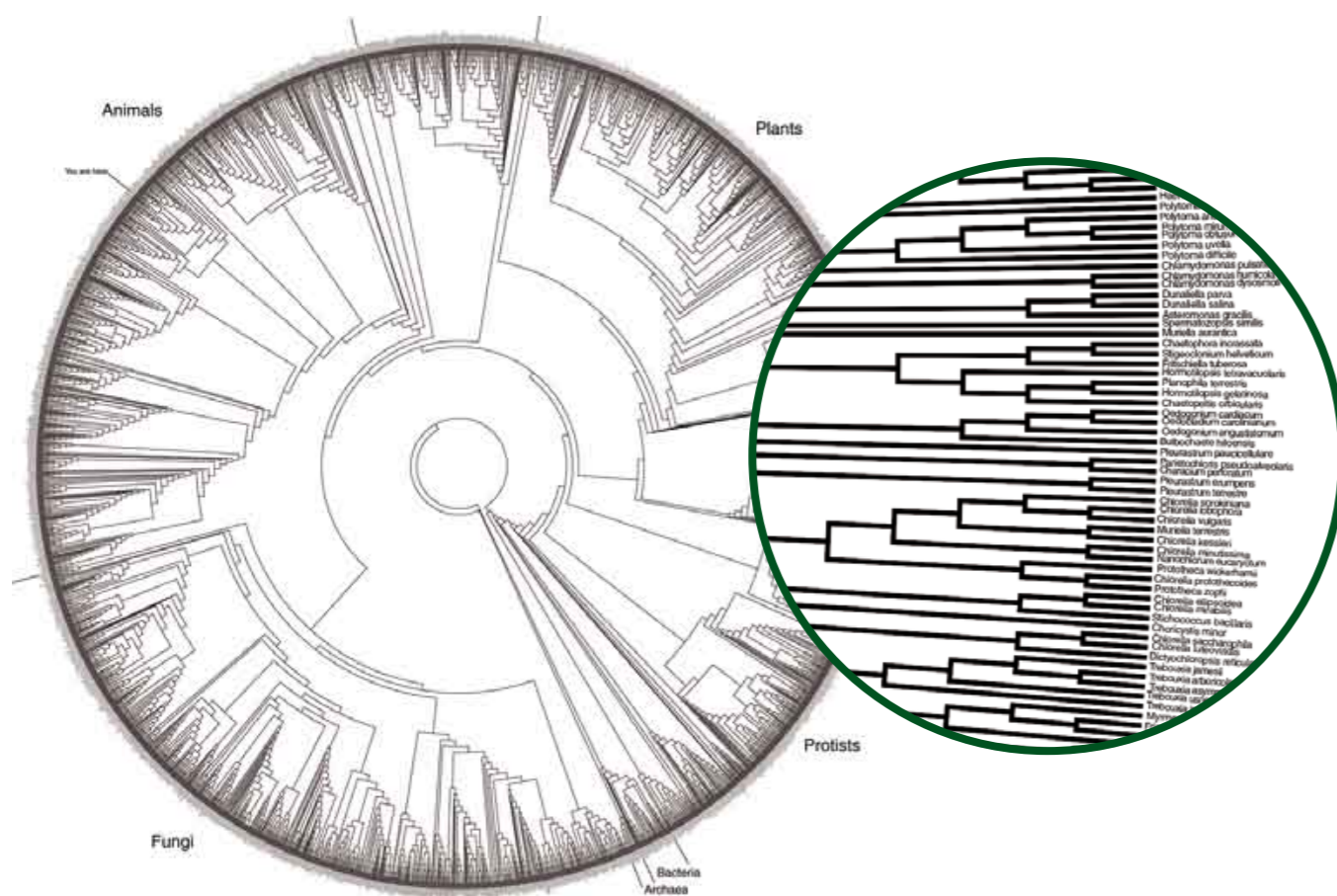
Cuando Claude Shannon publicó en 1948 su libro "La Teoría Matemática de la Comunicación" se abrió un nuevo enfoque para el estudio de la biodiversidad. En ese libro, y en los trabajos precedentes, Shannon creó la llamada "teoría de la Información" que, entre otras cosas, permite cuantificar la información contenida en un sistema evaluando su variedad. Pronto se aplicó el método a los sistemas biológicos, sustituyendo a otros métodos precedentes que se habían empleado para calcular la diversidad biológica. Un ecólogo español, Ramón Margalef, presentó ya en 1956 un trabajo sobre el cálculo de la diversidad biológica de un sistema natural, y continuó investigando sobre este tema durante toda su vida. También desarrolló un índice para cuantificar la biodiversidad existente en un área, que se añadió a los varios que ya existían con el mismo propósito.

Hoy estamos muy familiarizados con la cantidad de información que manejamos con los ordenadores, y sabemos que se mide en bits

“Como se ve, la biodiversidad constituye un concepto multidimensional, y por eso es difícil de definir. No es que no tenga definición, sino que tiene demasiadas.”

o en múltiplos de esta unidad (como el byte, el kilobyte o el megabyte). La biodiversidad de un área puede compararse a la información de un mensaje, en el que cada especie fuera una letra distinta, que se repite tantas veces como individuos de esa especie se encuentran en el área. En ello se basa el índice de Shannon y otros más, que son matemáticamente equivalentes al mismo. La ventaja del uso de tales índices es que miden una entidad más compleja que la simple riqueza específica. En efecto, no sólo dan el número de especies, sino también un valor que pondera las proporciones en que éstas se hallan presentes y que permite la comparación con otras áreas.

El uso de los índices de diversidad ha permitido la cuantificación de esta variable, y también ha permitido distinguir diversos tipos de biodiversidad. Así, los ecólogos hablan de biodiversidad alfa, que es la medida de la variedad de especies en un punto concreto. De biodiversidad beta, que mide el cambio de diversidad entre distintos puntos, o de biodiversidad gamma, que no se aplica a puntos concretos sino a regiones extensas, y que tiene una gran importancia en biogeografía. También distinguen algunos entre diversidad biológica, que sería la biodiversidad potencial de una zona, y biodiversidad, propiamente dicha, que sería el valor real y expresado de la diversidad biológica. Aunque para muchos autores am-



Una representación moderna de la clasificación de los seres vivos, basada en el análisis del ARN mitocondrial de las células. (De D. Hillis, Universidad de Austin, Texas).

SHANNON	$D = -\sum p_i \ln_2 p_i$
MARGALEF	$D = \frac{S-1}{\ln N}$
WILLIAMS	$D = \alpha \ln \frac{N+1}{\alpha}$

Algunos de los índices comunmente empleados en la medida de la biodiversidad. Casi todos los índices se basan en la frecuencia relativa de las distintas especies de la muestra. (Del autor).

Los conceptos son totalmente sinónimos. Y por supuesto, no hay que perder de vista que la biodiversidad puede estudiarse en distintos objetos y, así, hay que distinguir la biodiversidad taxonómica que es la considerada usualmente, la biodiversidad genética, la ecológica, la molecular, la cultural, etc. Como se ve, la biodiversidad constituye un concepto multidimensional, y por eso es difícil de definir. No es que no tenga definición, sino que tiene demasiadas.

¿QUÉ IMPORTANCIA TIENE LA BIODIVERSIDAD?

Mantener, en los ecosistemas de nuestro planeta, un nivel elevado de biodiversidad no es importante porque lo digan las Naciones Unidas, ni debe limitarse al presente año. Una región con alta biodiversidad es como una red con mallas múltiples, en la que la rotura de

un hilo no tiene consecuencias graves porque existen otros hilos paralelos que mantienen la malla unida. En la naturaleza, los hilos de conexión son las vías por las que circula la materia y la energía, y que permiten el mantenimiento de la estructura. Hay pues una relación directa entre la diversidad y la estabilidad de un ecosistema, y esta relación se ha demostrado experimentalmente en muchos casos.

La pérdida de una especie repercute normalmente en otras especies. Si desaparece una planta desaparecen, también, los animales que se alimentan exclusivamente de ella. Si desaparece una especie de insecto polinizador, a menudo, las flores que dependen del mismo no pueden ser fecundadas, y la especie se extingue también. Algunas especies tienen un papel clave en los ecosistemas, son como la piedra angular de un arco. Si estas especies se extinguen, o incluso si sus poblaciones disminuyen

fuertemente, las consecuencias para el ecosistema en que se insertan son catastróficas. Así ha sucedido, por ejemplo, con la nutria marina en las costas americanas del Pacífico Norte, o con el conejo, en los ecosistemas mediterráneos españoles.

Otras especies no son esenciales para el funcionamiento de un ecosistema, pero su presencia es una señal de que el mismo goza de buena salud. Por ejemplo, los bosques pirenaicos funcionarían muy bien sin osos pardos pero la presencia del oso, que requiere amplios espacios forestados, con árboles maduros y con poca intervención humana, indica que tales bosques existen y que tienen una extensión suficiente. Esto, claro está, si la presencia de la especie

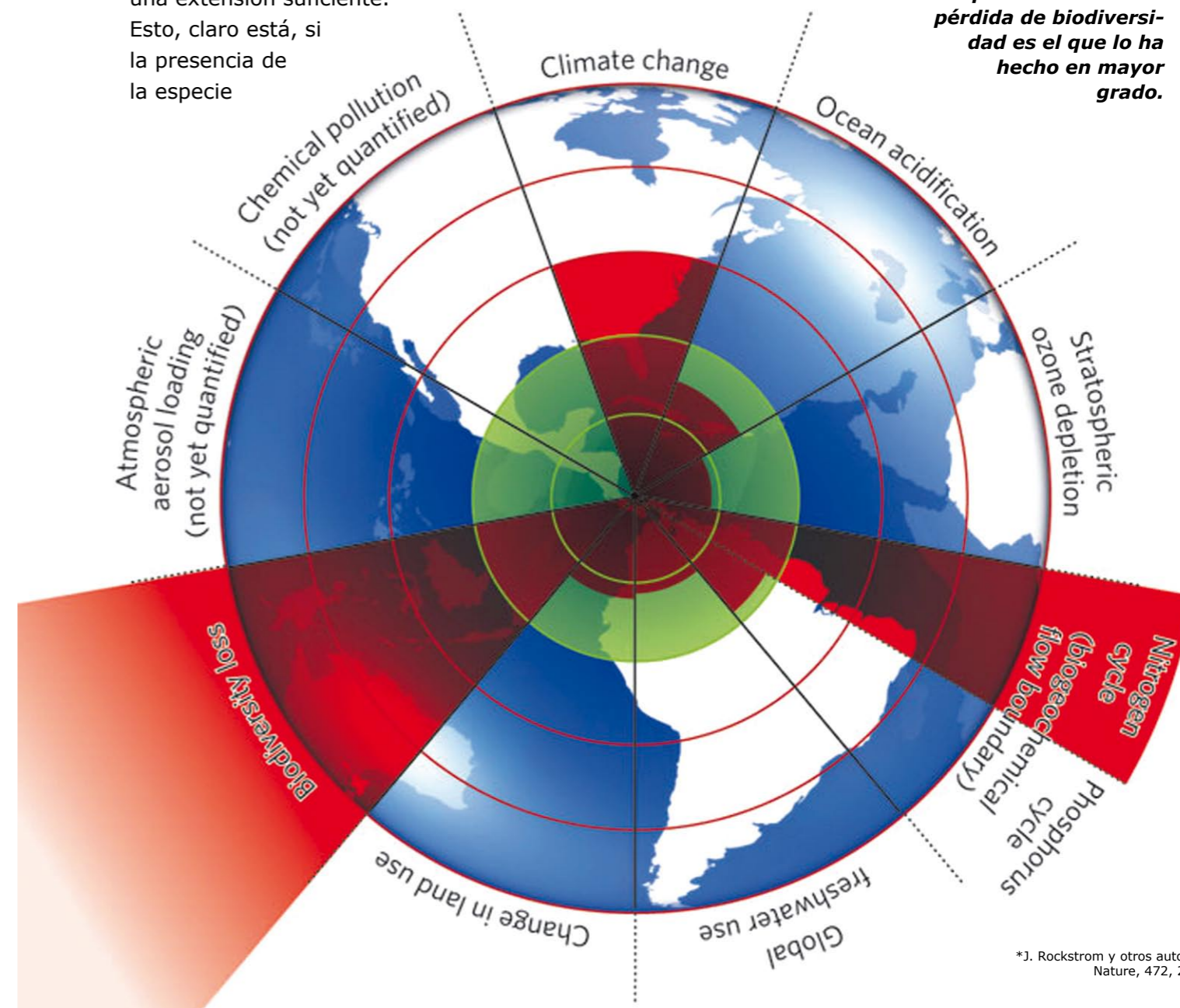
no se debe a una reintroducción artificial y forzada. En este último caso, la especie emblemática puede mantenerse en un ecosistema que ya no reúne las condiciones adecuadas para ello.

Por éste y otros motivos, una elevada biodiversidad es un indicador de que el área considerada goza de buena salud ecológica. Y también por este motivo, la pérdida de biodiversidad

Algunos indicadores básicos de la salud del planeta. Tres de ellos han sobrepasado ya el límite de seguridad, y el que corresponde a la tasa de pérdida de biodiversidad es el que lo ha hecho en mayor grado.



Las especies clave son aquellas de las que depende en gran parte el funcionamiento de un ecosistema, y cuya disminución puede llevar al colapso del mismo. Las especies emblemáticas son adecuados indicadores del estado saludable de un ecosistema. (Del autor).



*J. Rockstrom y otros autores; Nature, 472, 2009

es uno de los indicadores más empleados para evaluar el deterioro de la biosfera. Precisamente, en uno de los últimos números de la revista "Nature", aparece un artículo muy revelador en el que se recoge la situación de nueve indicadores sobre el estado del planeta. Estos nueve indicadores han sido elegidos por consenso entre numerosos especialistas en distintas disciplinas. Algunos de ellos, tres en concreto, parecen haber llegado a, o sobrepasado, un punto crítico, es decir, han cruzado el umbral que marca el comienzo de una situación catastrófica, quizás irreversible. Y de estos tres, el que ha sobrepasado en mayor grado el límite de seguridad es la tasa global de pérdida de biodiversidad. Esta tasa oscilaba, en la época preindustrial, entre 0.1 y una especie por millón extinguidas cada año, cuando el límite de seguridad se sitúa en unas 10 especies extinguidas por millón y año ya que se considera que ésta es la tasa media de formación de nuevas especies. Pues bien, su valor actual es de 100 especies extinguidas por millón y año, es decir, una tasa diez veces superior a la del límite de seguridad.

¿CÓMO SE DISTRIBUYE LA BIODIVERSIDAD?

La biodiversidad no se distribuye regularmente ni en el espacio, ni en el tiempo, ni en los distintos grupos taxonómicos. Existen puntos, épocas o grupos con una biodiversidad muy elevada y otros que la tienen escasa, y explicar estas diferencias constituye hoy uno de los problemas básicos de la ecología. Comencemos indicando algo sobre la distribución de la biodiversidad en los diferentes grupos de animales y vegetales.

Se dice que Thomas Huxley, el amigo de Charles Darwin y ferviente propagador de las ideas de éste, preguntado en una ocasión por su idea de Dios respondió: "No puedo decir mucho de Él, pero estoy seguro de que le gustan bastante

los escarabajos". Con esto quería dar a entender que, entre los seres vivos, son los insectos los que cuentan con mayor número de especies y que, dentro de los insectos, el grupo con mayor variedad es el de los escarabajos o coleópteros. En efecto, los artrópodos, grupo en el que se integran los insectos, albergan más del 80% de todas las especies conocidas, y el orden de los coleópteros incluye unas 350000 de ellas. Por el contrario, existen numerosos grupos de gran entidad que no cuentan más que con una especie, de manera que ella es la única especie del orden (caso, p. ej., del cerdo hormiguero que forma, por si solo, el orden de los mamíferos tubulidentados), de la clase (caso del ginkgo, la sola especie de la clase ginkgoadas) o incluso del tipo o phylum, (como el pequeño invertebrado *Limnognathia maerski* que es el único miembro del tipo micrognatozoos).

Otros grupos, además de los insectos, comprenden multitud de especies y, al menos, otros tantos contienen sólo unas pocas. Claro está que la pérdida de una de las pocas especies de estos grupos raros conlleva un perjuicio mucho mayor que si ocurre en un grupo muy variado. Y del mismo modo, el hallazgo de una especie nueva en un grupo pequeño comporta un incremento notable del valor de la biodiversidad en el grupo. A pesar de su escasa frecuencia, estos descubrimientos ocasionales de organismos adscritos a grupos minúsculos son extraordinariamente valiosos, y aclaran muchos aspectos de la evolución de los organismos. Algunos se han producido en tiempos recientes, como el mencionado grupo de los micrognatozoos descubierto en Groenlandia el año 2000.

La distribución de la biodiversidad en el espacio también muestra patrones interesantes. Es un hecho bien conocido que las regiones tropicales presentan una biodiversidad mucho más elevada que las zonas templadas o frías, lo cual lleva a suponer una relación entre la tempera-



En esta figura, la extensión de cada rectángulo es proporcional al número de especies probables que albergan los principales grupos: Artrópodos (salvo ácaros), Bacterias, Ácaros, Nematodos, Algas, Hongos, Fanerógamas, Moluscos, y Protozoos. (Del autor).

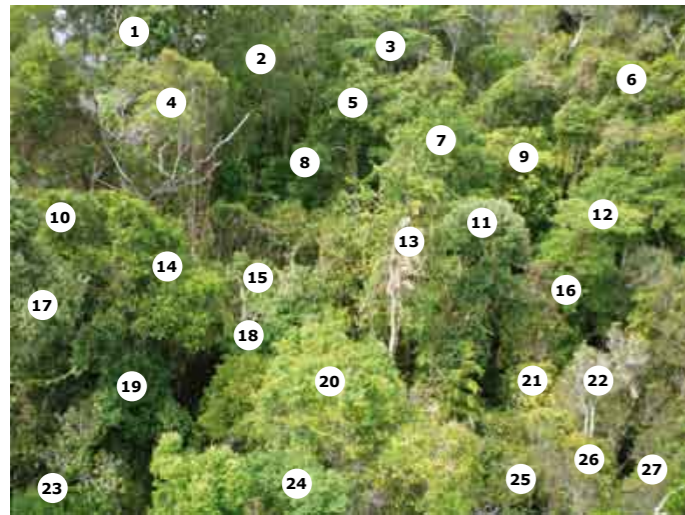


tura media de un territorio y su biodiversidad. En realidad la cosa no es tan sencilla, pues algunos desiertos, que son muy cálidos, mantienen una biodiversidad escasa. Pero no puede negarse que la comparación entre una selva tropical y un bosque templado revela cuanto más variada es la primera que el segundo, y lo mismo puede decirse de los arrecifes coralinos comparados con las costas de las regiones templadas o frías.

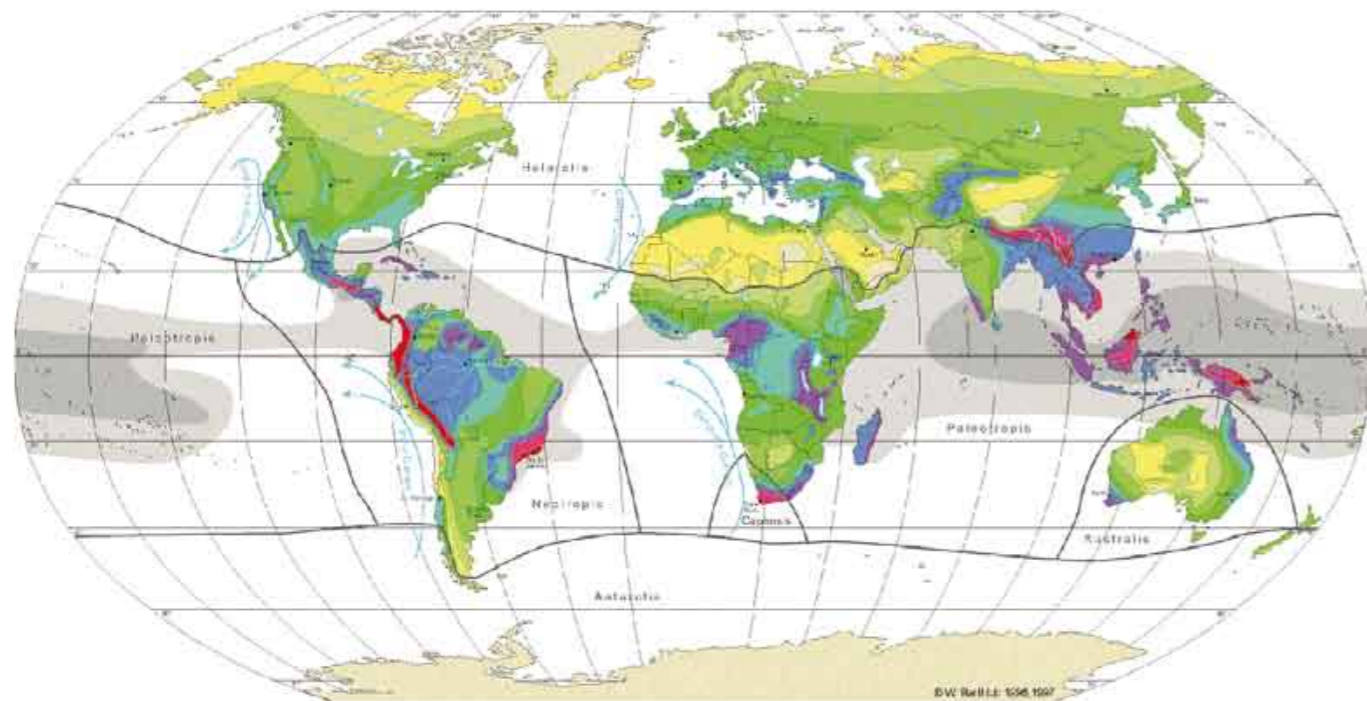
Los puntos donde la biodiversidad alcanza valores más elevados se califican de "hot spots" o puntos calientes. Las Naciones Unidas, y muchas otras organizaciones, han señalado los principales de estos puntos y regiones, unas tres docenas, donde se acumula la mayor parte de la biodiversidad del planeta. Tales zonas deben ser especialmente protegidas y algunas gozan ya, al menos sobre el papel, de unas medidas protectoras eficaces, pero la mayoría sufren una presión desmedida por parte del hombre y se deterioran rápidamente. La mayor parte de estas regiones se sitúan, como se aprecia en la figura, en áreas tropicales. Pero la Cuenca Mediterránea, incluyendo gran parte de nuestro país, es también una de dichas regiones. Y dentro de España, son las Cordilleras Béticas y los Pirineos las áreas privilegiadas en cuanto a biodiversidad.



Comparación entre un bosque boreal, en Alaska, y una selva tropical, en el norte de Australia. En las fotografías se han señalado las especies arbóreas diferentes que pueden distinguirse. En el caso de la selva australiana la estimación es a la baja, ya que se han considerado como idénticas varias especies que probablemente son distintas. (Del autor).



Abajo, distribución de la diversidad de plantas con flor en el mundo. La vertiente oriental de los Andes, la meridional del Himalaya y el norte de Borneo son las áreas con mayor variedad.



Los principales núcleos de alta biodiversidad en el mundo. Obsérvese que uno de ellos es la Cuenca Mediterránea.

¿CÓMO CAMBIA LA BIODIVERSIDAD?

A lo largo de la historia de la vida, el número de especies ha ido aumentando global y localmente a medida que las especies primitivas se han ido diversificando, y sus descendientes han ido ocupando nuevos nichos ecológicos. La tasa de formación de nuevas especies no es uniforme, de manera que existen épocas en las que apenas se dan cambios, y otras en que aparecen rápidamente numerosas especies nuevas. Desde luego, las especies también se extinguen naturalmente pero la tasa de aparición de nuevas especies es, en conjunto, superior a la tasa de extinción y, de ahí, la tendencia al aumento general del número de especies. Esta tendencia, sin embargo, se ve interrumpida a veces por retrocesos en los que el número de especies disminuye bruscamente y, en ocasiones, intensamente. Son las llamadas "crisis de biodiversidad", de las cuales se han registrado cinco principales desde la aparición de los primeros organismos que han dejado restos fósiles.

La más conocida de estas crisis de biodiversidad es la que tuvo lugar al final de la Era Mesozoica, cuando un asteroide de unos 10 km de diámetro impactó contra la Tierra con una energía 250 veces superior a la de la explosión combinada de todas las armas nucleares existentes hoy en nuestro planeta. Como consecuencia del choque, desaparecieron muchas formas de vida, incluyendo los grandes reptiles, y se remodeló toda la biosfera, al menos en el hemisferio norte. Pero esta crisis no ha sido la más grave. Al final de la Era Paleozoica, tuvo lugar otra más importante, la crisis permotriásica que entrañó la desaparición de gran parte de las especies existentes, hasta el 95 % en algunos grupos marinos.

Las pérdidas de biodiversidad ocasionadas por estas crisis son pronto compensadas (pronto en términos geológicos, es decir, en unos cuantos millones de años) por el subsiguiente incremento en la tasa, de formación de nuevas especies. Al menos éste ha sido el patrón que



se ha dado hasta ahora, cuando nos hallamos en la llamada sexta crisis de la biodiversidad debida, casi exclusivamente, a la acción humana.

Ya se ha aludido anteriormente al enorme aumento de la tasa de pérdida de biodiversidad en nuestros días. Las consecuencias negativas de esta crisis son negadas por algunos, quienes sostienen que la presente no es más intensa ni más rápida que alguna de las crisis anteriores. Es verdad que las catástrofes debidas a impactos asteroidales son prácticamente instantáneas, y por ello la tasa de desaparición de especies que comportan es elevadísima. Pero en esos casos, la causa de la crisis desaparece en cuanto ésta se ha producido, y la naturaleza cuenta con un tiempo suficiente de calma para su recuperación, aunque sea en unos millones de años. En el caso de la crisis que vivimos no es así, la acción de los factores causantes de la crisis es más intensa y rápida que en las crisis precedentes, salvo en las derivadas de impactos meteóricos pero, además, es persistente y acumulativa. Si bien no ha alcanzado todavía las dimensiones de estas crisis pretéritas, no se puede descartar que las supere en unos pocos siglos, un tiempo que en términos geológicos es un parpadeo.

Esta previsión puede ser tildada de catastrófica, aunque la comparten la mayoría de los expertos, que se suponen realistas y objetivos. Quizás un optimismo desmedido e injustificado nos pueda llevar a ignorar este aviso o a quitarle importancia. Pero es difícil evitar un sentimiento de angustia cuando se ven las señales de la degradación de nuestro mundo, señales

El retroceso de la selva por talas masivas en la Amazonia alcanza ya proporciones dramáticas, como se aprecia en estas fotografías del sueste de Brasil. (A partir de mapas de Google Earth).

que ya han alcanzado dimensiones planetarias. Así se están perdiendo los depósitos de biodiversidad, como son los manglares o los arrecifes coralinos. Así, las grandes selvas tropicales y, especialmente, la cuenca del Amazonas, que no sólo es un pulmón del planeta sino también la mayor reserva de biodiversidad, se pierden también a pasos agigantados. Las fotografías de satélite permiten hoy percibir la magnitud de la pérdida forestal en esas áreas, y son realmente escalofriantes. Y no es ésta una alusión improcedente para terminar este artículo pues, transcurrido este Año Internacional de la Biodiversidad, se iniciará el año 2011 que las Naciones Unidas han declarado Año Internacional de los Bosques.

Juan Pablo Martínez Rica

Miembro de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza

GEOMETRÍA DE LA CIUDAD



Barcelona, barrio del Eixample.

*Foto por atelier/Ed Brodzinsky (www.flickr.com)

"Alegraos compañeros, que veo huellas humanas"

Palabras de Aristipo (s. IV a.C.), discípulo de Sócrates, tras naufragar en una playa perdida y encontrar figuras geométricas marcadas en la arena – citadas por Vitrubio.

El siete de junio de 1859 se aprobaba el Plan de Reforma y Ensanche (Eixample) de Barcelona, obra de Ildefonso Cerdá y Sunyer (1815–1876). Aquel diseño urbano ortogonal de cuadrícula perfecta fue decisivo para el progreso de la ciudad y es emblemático de cómo el racionalismo geométrico puede incidir en la calidad de vida de sus habitantes. En reconocimiento a su visión preclara, 150 años después, de junio de 2009 a junio de 2010, se celebra el "Año Cerdá". Como veremos, la Geometría puede ser instrumento tanto para una ideología de transformación social como para preservar los intereses opuestos. A lo largo de la historia, Geometría y urbanización van unidas.

ANTIGÜEDAD Y EDAD MEDIA

El historiador griego Herodoto (484 – 425 a.C.) describe Babilonia como una ciudad de plano cuadrado de 21 km de lado, con calles rectas que se cortaban en ángulos rectos. Egipcios y romanos aplicaron también este modelo. El Imperio Romano, para consolidar sus conquistas, construía ciudades amuralladas sobre los campamentos de sus legiones (*castrum*). De forma más o menos rectangular, estaban orientadas, por sus dos ejes de simetría las dos calles principales: el *cardo*, de Norte a Sur, y el *decumanus*, de Este a Oeste. En la intersección de ambas estaba el Foro o lugar de encuentro, ámbito de la vida pública. Las calles se alineaban paralelas a los ejes, formando manzanas rectangulares. A lo largo de la muralla, por su interior, se dejaba una franja de terreno de 9 m de anchura (*pomerium*), que delimitaba el territorio de la ciudad protegido por los dioses.

Esta estructura aún se aprecia en el plano del centro histórico de Zaragoza, la *Caesaraugusta* romana. Fue fundada en el año 14 a.C. por el César Augusto en la confluencia de los ríos Ebro, Gállego y Huerva, lo cual aseguraba agua y comunicaciones, ocupando casi un rectángulo de 895 m x 513 m. Con esas dimensiones, la ciudad podía albergar hasta unas 50.000 personas. Algunas vías actuales siguen aquel trazado romano, con el Coso (muralla), la Calle Don Jaime (*cardo*) y el eje formado por las calles Mayor, Espoz y Mina y Manifestación (*decumanus*).

POR JOSÉ MARÍA SORANDO

Geometría de la ciudad



La ciudad medieval estaba amurallada y su trazado era sinuoso e irregular. Llegaba a ser laberíntico en la ciudad islámica (medina). No había una planificación según cánones geométricos. Pero en ese aparente desorden había una estructura: en el centro estaba la plaza del mercado con los edificios más representativos y de ella salían calles estrechas y tortuosas, formando barrios que agrupaban a la gente por oficios (orfebres, carpinteros, teñidores, etc.), religión (cristianos, judíos o musulmanes) o procedencia. Las casas servían a la vez de vivienda y taller a los artesanos. Los oficios no deseados dentro de la ciudad, como los curtidores por los malos olores, se ubicaban fuera de la muralla (extramuros). Las murallas tenían, además de su original función defensiva, una función recaudatoria: las mercancías que cruzaban sus puertas debían pagar un tributo.

La estructura medieval se conserva, por ejemplo, en los centros históricos de las ciudades marroquíes (islámica), de Carcasonne en Francia (cristiana), de Gerona (judía) o de Toledo (tres culturas).

LA CIUDAD MODERNA

En la Edad Moderna, con el surgimiento de los estados nación pierde poder político la ciudad y, con la excepción de las ciudades fronterizas, las murallas son cada vez menos necesari-

as por razones defensivas. En España surge la Plaza Mayor, rodeada de soportales. A partir del Renacimiento se extiende el espíritu racionalista que lleva a diseñar ciudades ideales, según patrones geométricos.

Con la Revolución Industrial del s. XIX las ciudades acogen a las masas de campesinos que acuden como mano de obra para las fábricas. Los recintos amurallados ya no son suficientes para albergar esa expansión y se deben superar los límites de la ciudad antigua. En España, la Ley del Ensanche (1864) permite derribar las murallas, pese a la oposición del ejército, autoriza las expropiaciones para trazar vías públicas y establece los requisitos de procedimiento (presentación de una memoria, planos, presupuesto), etc. Se trazan avenidas rectas, paseos con arboledas, servicios de alcantarillado, etc. Sobre los restos de la ordenada ciudad romana y de la irregular ciudad medieval, la ciudad moderna regulariza y ensancha calles, y va más allá: *salta las murallas*. Crece según tres tipos de diseños geométricos ideales: radioconcéntrico, ortogonal o lineal; con un cuarto, el estrellado, que según los casos participa de los anteriores. En cada ciudad observamos la agregación de unos y otros, reflejo de las sucesivas expansiones habidas en su historia. Veamos esos modelos, que tienen en común el estar orientados en cada caso por la plasmación geométrica de una idea motriz.

CIUDAD RADIOCONCÉNTRICA

Se caracteriza por estar centrada en una plaza, rodeada de calles en círculos concéntricos. La idea básica es que la centralidad geométrica sea representativa de una primacía: allí se ubican las sedes de los poderes político y religioso. Al mismo tiempo, se busca la fácil y rápida circulación entre el centro y la periferia. Para ello, del centro salen avenidas rectas que unen las calles concéntricas; son los radios de esa trama circular. Se forman cruces de 120°.

Son escasas las ciudades donde se puede ver la plasmación integral de este modelo. Una clásica es la ciudad italiana de Palmanova que, en realidad, no es

Ciudad italiana de Palmanova, ejemplo de ciudad fortificada con forma de estrella.

un círculo sino un polígono regular de 9 lados (eneágono regular) y que es, además, ejemplo de las ciudades fortificadas con forma de estrella.

Hay ciudades donde se aplicó ese modelo de forma parcial. Así, en el centro histórico de Vitoria encontramos un trazado de calles concéntricas, aunque no circulares sino con forma de almen-



Geometría de la ciudad

dra. En la famosa Place de l'Étoile en París confluyen doce avenidas, en un diseño radial, pero no hay calles concéntricas. Ya en el s. XX, en Arizona (EE.UU.) la ciudad de Sun City presenta una urbanización radioconcéntrica totalmente circular.

CIUDAD ESTRELLADA

En el s. XVII se construyeron ciudades amuralladas en las zonas fronterizas de los reinos europeos. Buscando optimizar la defensa, se adoptaron formas de polígonos estrellados con bastiones en los vértices. Sus entrantes y salientes estaban pensados para que unos cubrieran a otros del fuego enemigo, haciendo máxima su eficacia artillera y mínima su vulnerabilidad, en una aplicación práctica de la Trigonometría y de la ecuación del tiro parabólico formulada por Galileo Galilei (1564 -1642) en el *Diálogo sobre los Sistemas del Mundo*. En esa época, matemáticos al servicio de los reyes aplicaban sus conocimientos a la ingeniería militar. Fue famoso el ingeniero francés Marqués de Vauban (1633-1707), del cual se conserva intacta la fortaleza de Neuf Brisach, estrella de ocho puntas en cuyo interior las calles siguen un trazado ortogonal.



CIUDAD ORTOGONAL

En el urbanismo ortogonal las calles se cortan en ángulos rectos: siguen dos únicas direcciones, perpendiculares entre si, y en cada dirección son paralelas. Esto produce manzanas rectangulares. Así se proyectó en 1811 sobre una isla Manhattan, uno de los cinco municipios de Nueva York, con 12 avenidas longitudinales y 155 calles transversales (el número de éstas ha ido aumentando posteriormente). Unas y otras van numeradas de forma correlativa gracias al diseño ortogonal. Las direcciones se dan habitualmente mediante esas dos coordenadas (*5ª Avenida con Calle 42*, por ejemplo).

Una forma particular de este modelo es aquella en la que las calles se cortan a distancias constantes, formando manzanas cuadradas; es el llamado plano en damero. Barcelona es la ciudad donde ese modelo fue aplicado de forma más innovadora y ambiciosa, con la urbanización de *l'Eixample* a partir de 1860, siguiendo el Plan Cerdá.

El auge industrial barcelonés obligaba a sobrepasar el antiguo recinto urbano y el Ayuntamiento convocó un concurso de proyectos. Cerdá quería una ciudad pensada para las personas, desde una voluntad igualitaria, donde fuera equivalente circular por una calle o por una paralela, pues no las habría privilegiadas, lo cual conduciría a la igualación del valor de las viviendas. Esto chocaba con el

Fortaleza francesa de Neuf Brisach.

deseo de distinción de los burgueses dominantes, quienes querían emular el esplendor parisino de un centro donde confluyeran grandes avenidas en las que se ubicarían las mansiones de los nuevos ricos, mientras el proletariado se alojaría en una periferia de rango inferior.

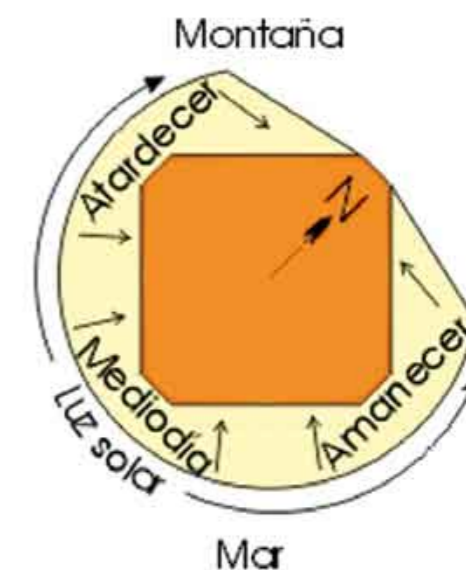
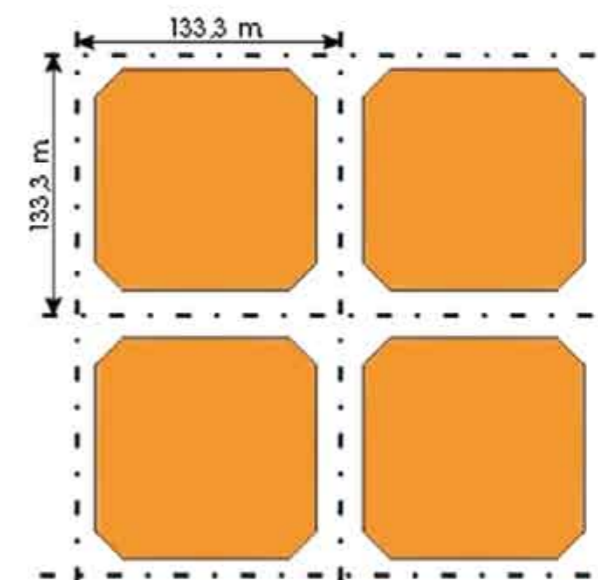
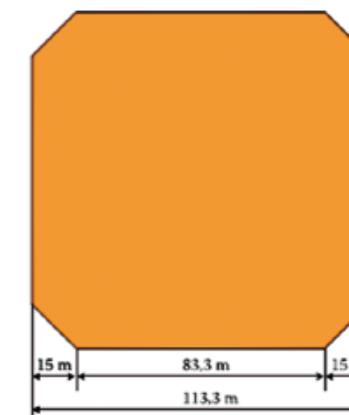
El Ayuntamiento de Barcelona rechazó el Plan Cerdá, pero éste fue después impuesto por el Gobierno Central de Madrid; cabe decir que afortunadamente pues, pese a las alteraciones que sufrió, sigue siendo válido 150 años después. Este modelo se quiso generalizar con la Ley del Ensanche y fue aplicado en otras poblaciones, como en La Carolina (Jaén).

En el Ensanche barcelonés las manzanas tienen 133 m de lado y, para mejorar la visibilidad en los cruces de 90°, Cerdá cortó 15 m de fachada a cada lado en cada esquina, formando chaflanes. Los vértices de cada manzana coinciden con los puntos cardinales y, gracias a ello, todos sus lados tienen luz directa del sol a lo largo del día. Ésta era una muestra más de la idea igualitaria que alentaba el Plan.

En el plano de Barcelona se observa, junto al puerto, la forma pentagonal irregular de la ciudad antigua. Fuera de ella, la ordenada cuadrícula del Ensanche sólo se ve alterada por el cruce de las Avenidas Diagonal y Meridiana. La Diagonal toma su nombre del hecho de unir dos vértices de la ciudad (noroeste y sudeste). La Meridiana se llama así por estar orientada en dirección Norte-Sur, siguiendo un meridiano terrestre. Por eso, la avenida perpendicular a la Meridiana, a los pies de la montaña de Montjuich, es la Avenida del Paralelo. Es una nomenclatura con lógicas geométrica y geográfica.

GEOMETRÍA DE LA ESPECULACIÓN

En el Plan Cerdá, las manzanas debían estar construidas sólo en dos de sus lados, dejando espacio para grandes zonas verdes: plazas



Dimensiones y orientación de las manzanas en el barcelonés barrio del Ensanche, según el Plan Cerdá.

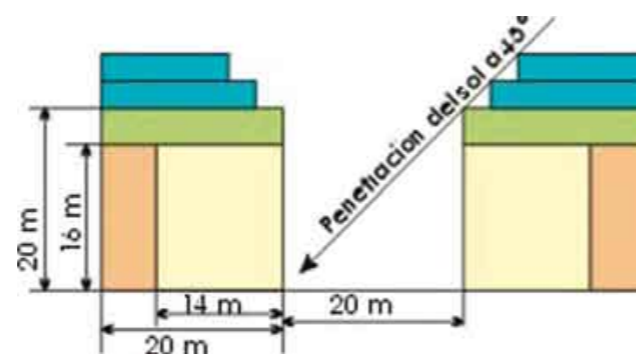
ajardinadas en el interior de cada cuatro manzanas, alternándose con amplios bulevares transversales.

La realidad posterior fue que los propietarios de los terrenos, buscando obtener el mayor beneficio económico posible, consiguieron concesiones del Ayuntamiento: primero construir en los cuatro lados de cada manzana, y después, en algunos casos, también la construcción en el patio interior de talleres, desapareciendo la mayoría de las zonas verdes proyectadas.

En el proyecto original, las casas no debían tener más de 16 m de altura y 14 m de anchura, siendo la anchura de las calles 20 m, y así el sol entraría en la calle durante buena parte del día. También en estos aspectos la especulación alteró el proyecto original. De los 16 m de altura prevista se subió hasta 20 m, argumentando que así con el sol a 45° toda la fachada era iluminada y que eso ya era suficiente (recordemos que $\text{tg } 45^\circ = 1 = 20/20$). Por una forzada e interesada analogía, como las casas tenían 20 m de altura, también se construyeron con 20 m de anchura.

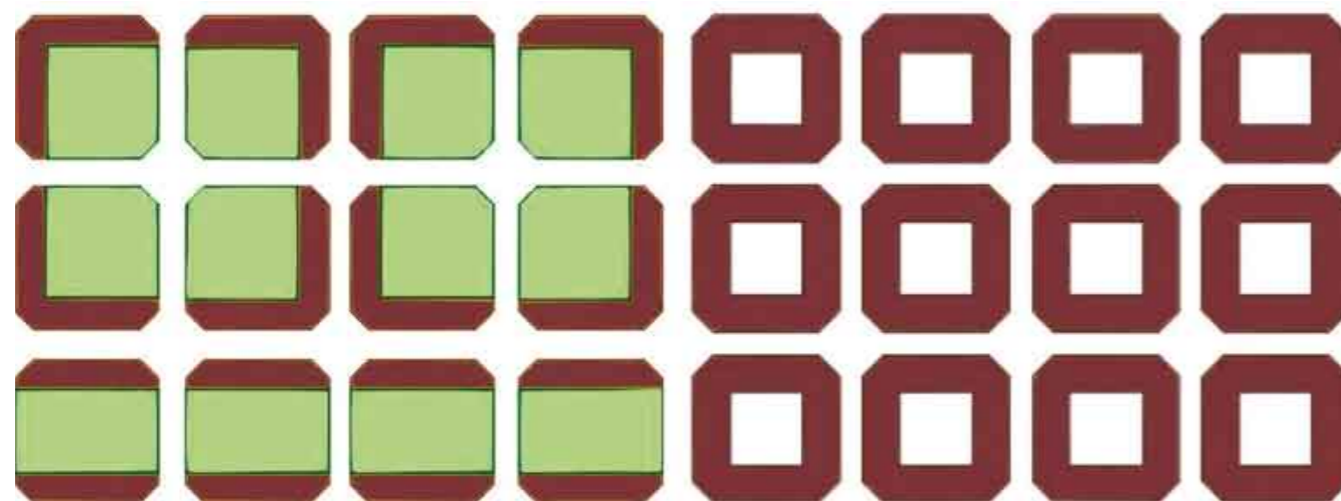
Todavía se rizó más el rizo para conseguir aumentar la construcción. Se pensó que, si se construyen áticos cuya altura sea igual a la an-

chura de su entrada respecto a la fachada, se mantiene el ángulo citado de 45° ; y aún más, lo mismo si se construyen sobreáticos, siempre con la norma de adentrarse una medida igual a la altura construida.



Dimensiones previstas de las casas y sucesivas ampliaciones.

Además de igualitario, Cerdá tenía un ideal higienista: conseguir una vida sana para el pueblo, algo que en el s. XIX suponía una gran transformación social. En la ciudad antigua la población vivía hacinada, sin luz, sin zonas de esparcimiento ni alcantarillado; lo cual era causa de muchas enfermedades y una alta mortalidad infantil. Así que proponer zonas verdes y viviendas separadas por amplios espacios, donde corra el aire y entre la luz natural para todos, era algo revolucionario.



El proyecto inicial del barrio del Ensanche y lo que luego se construyó.

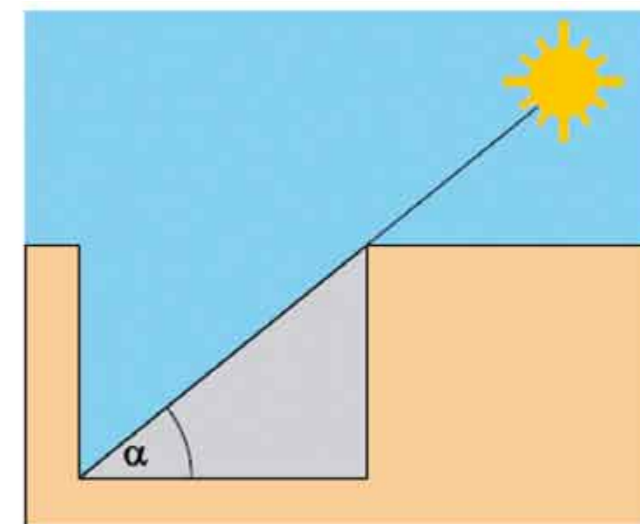
¿Qué consecuencias tuvieron las citadas alteraciones del proyecto? La Geometría elemental nos permite deducirlas. Un sencillo cálculo, por descomposición en prismas, revela que el volumen de construcción aumentó en cada manzana desde los 56.640 m^3 previstos hasta los 171.800 m^3 realizados (sin contar los áticos ni los talleres interiores); es decir, más de tres veces lo proyectado. Pese a ello, el diseño de Cerdá era de tal amplitud que siguió aportando una considerable mejora sobre la habitabilidad de la urbe antigua.

Para poner coto a esos abusos, hoy en día los planes de ordenación urbana establecen en cada zona cuál es el *volumen máximo edificable*; lo cual abre una nueva cuestión geométrica. Para un mismo volumen y sobre una misma base los cuerpos geométricos pueden tener distintas superficies. La Arquitectura puede jugar con ello para lograr una mayor iluminación natural de las viviendas, algo que aporta mayor calidad de vida. De hecho los "pisos exteriores" son más valorados.

EL SOL SALE PARA TODOS

Precisamente, otra consecuencia de las presiones sobre el Plan Cerdá tuvo que ver con la iluminación de las fachadas. De acuerdo con la anchura de las calles (20 m) y la altura proyectada para los edificios (16 m), el ángulo α de elevación solar con que se produciría la iluminación total de una fachada (en realidad de dos, recuérdese su orientación) venía dado por el $\text{arctg}(16/20) = 38^\circ 40'$.

Como ya dijimos, la elevación de los edificios redujo ese ángulo a 45° . ¿Qué importancia tiene esa diferencia de $6^\circ 20'$? Por ejemplo, en un día de 12 horas solares, la iluminación total se produciría en el primer caso durante un recorrido de $51^\circ 20'$, que equivale a 3 h 25 min; mientras que en el segundo se reduciría a 45° , es decir 3 h. En definitiva, 25 minutos menos



Iluminación solar de las fachadas.

de sol para dos fachadas antes de mediodía y otro tanto para sus opuestas por la tarde.

Una alternativa, también igualitaria en cuanto a la iluminación de las viviendas, son los inusuales edificios cilíndricos (hay uno en la zaragozana Plaza de San Antón, cercano a las Murallas Romanas); donde la ausencia de esquinas crea una fachada única y permite que el recorrido solar beneficie a todas las ventanas por igual. Además, para un perímetro de fachada fijo, se maximiza la superficie construida (aunque probablemente surjan otros problemas prácticos).

CIUDAD LINEAL

El modelo lineal es la urbanización a lo largo de una vía de comunicación (carretera, ferrocarril, río, etc). Así ha ocurrido en poblaciones españolas a lo largo del Camino de Santiago o en Volgogrado (antes Stalingrado) en Rusia, siguiendo el curso del Río Volga. A finales del s. XIX, este modelo fue teorizado por el arquitecto y urbanista español Arturo Soria y Mata (1844 – 1920) para resolver el nascente problema del transporte y superar la dicotomía entre el campo y la ciudad. Su diseño conseguía minimizar la suma de trayectos de todos los puntos entre

Geometría de la ciudad

sí, un propósito de formulación puramente matemática. También, descongestionar las ciudades y lograr el contacto de sus habitantes con la naturaleza.

Arturo Soria proponía unir las viejas ciudades con nuevas urbanizaciones alargadas de 500 m de ancho, con una vía central de 40 m de anchura por la que circulaba el tren. El crecimiento de la ciudad siempre debía ser longitudinal y paralelo a la vía principal. Con estos tramos lineales se formaría una trama triangular, con el campo en el interior junto a la ciudad. En su proyecto ideal esa trama cruzaría Europa, uniendo Cádiz con San Petersburgo.

De la superficie total de la ciudad, un quinto sería para viviendas y el resto en parte para la industria pero sobre todo para la agricultura. En cada parcela unifamiliar de 400 m² estaban previstos 80 m² para la casa y 320 m² para un huerto-jardín. Este modelo sólo se llevó a cabo en Madrid, con 700 casas unifamiliares a lo largo de 5 km que, en 1920, alojaban a 4.000 habitantes (actual Calle Arturo Soria). En la foto aérea del Madrid actual vemos qué queda de aquella Ciudad Lineal: se aprecia la urbanización a lo largo de la avenida serpenteante pero, fuera de ella, no está el campo sino casas y más casas.

SOLUCIONES NO EUCLÍDEAS

Algo interesante de estudiar desde las Matemáticas es cómo en esos trazados urbanos se alteran las reglas de la Geometría Euclídea del Plano. Por ejemplo, la distancia más corta en-

“En la foto aérea del Madrid actual vemos qué queda de aquella Ciudad Lineal: se aprecia la urbanización a lo largo de la avenida serpenteante pero, fuera de ella, no está el campo sino casas y más casas.”

tre dos puntos no siempre es la que da el segmento que los une, pues no podemos atravesar edificios. Tampoco suele ser única, puede haber recorridos alternativos equivalentes (lo saben bien taxistas y repartidores). La distribución de servicios en puntos equidistantes de uno dado (buzones de correos, sucursales bancarias, etc.) ya no viene dada por los puntos de una circunferencia. Y si mantenemos dicho nombre para el lugar geométrico caracterizado por esa propiedad, las circunferencias ya no son redondas y, además, ¿cuántos puntos tienen?

A modo de ejemplo del campo que se abre con estas cuestiones, trataremos la respuesta a la última pregunta. Si en un plano en damero (como Barcelona) consideramos como unidad la longitud de una manzana y tomamos como centro de la circunferencia la intersección de dos calles, se obtiene:

RADIO	1	2	3	4	...	$r \in \mathbf{N}$
Nº DE PUNTOS	4	8	12	16	...	$4 \cdot r$
RADIO	0,5	1,4	2,6	3,7	...	$r \in \mathbf{R}^+ - \mathbf{N}$
Nº DE PUNTOS	4	12	20	28	...	$4 \cdot [2 \cdot E(r) + 1]$



Solución adoptada por la ciudad de Brondy para resolver los problemas de logística.

¿Y si el centro estuviera en otro punto? ¿Y si...? La mediatriz, lugar geométrico de los puntos equidistantes de dos dados, tiene ahora también un número finito de puntos, ¿cuántos?. ¿Y qué pasa con la Desigualdad Triangular o con las cónicas (también lugares geométricos)?

NUEVOS MODELOS

La ciudad evoluciona y se renueva. En los modernos aeropuertos, el diseño fractal de las terminales optimiza la utilización del espacio y de los servicios compartidos por un mayor número de puntos de embarque, así como las posibilidades de ampliaciones futuras. Por motivos de seguridad y de logística, en Brondy, a las afueras de Copenhague, grupos de 24 parcelas con viviendas unifamiliares forman coronas circulares donde, desde la plaza central de cada corona, se pueden controlar y acceder a todas las parcelas minimizando desplazamientos. Cambian los modos de vida, surgen y surgirán nuevas necesidades y nuevas soluciones geométricas.


José María Sorando

Departamento de Matemáticas

IES Elaios, Zaragoza

jmsorando@ono.com

http://catedu.es/matematicas_mundo



EL USO LETAL DE LA CIENCIA:
ARMAS DE
DESTRUCCIÓN
MASIVA

POR JOSÉ MANUEL VICENTE

"...la Ciencia es resultado de la actividad humana, y los seres humanos somos eso hombres, con nuestras virtudes y nuestros defectos, y la Ciencia a lo largo de la Historia también tiene facetas menos agradables, más trágicas."

Explosión nuclear.

*www.fondosescriptorio.org/wallpaper/Explosion-Nuclear/

El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva

El objetivo de este artículo es hacer un somero recorrido sobre los riesgos NBQ: sus orígenes, historia, funcionamiento, y amenazas actuales, en cada uno de los campos NBQ, para finalizar con unas conclusiones. En esta primera parte analizaremos el fenómeno de la guerra y las armas nucleares, en una segunda parte continuaremos con el desarrollo de los riesgos biológicos y químicos. En todos ellos veremos los mecanismos de control y desarme.

INTRODUCCIÓN

La Ciencia, con mayúsculas, es considerada por algunas personas casi como una religión, como algo superior a todo lo que le rodea, toda llena de bondad y beneficios para la humanidad. De esta afirmación quiero hacer dos precisiones. La primera es que en cierto modo es una religión para muchos científicos, y algunos que no lo son, que se dedican vocacionalmente a su práctica y su difusión. Pero la Ciencia es resultado de la actividad humana, y los seres humanos somos eso hombres, con nuestras virtudes y nuestros defectos, y la Ciencia a lo largo de la Historia también tiene facetas menos agradables, más trágicas. A una de estas partes es a la que voy a dedicar este artículo, concretamente a las llamadas Armas de Destrucción Masiva (ADM).

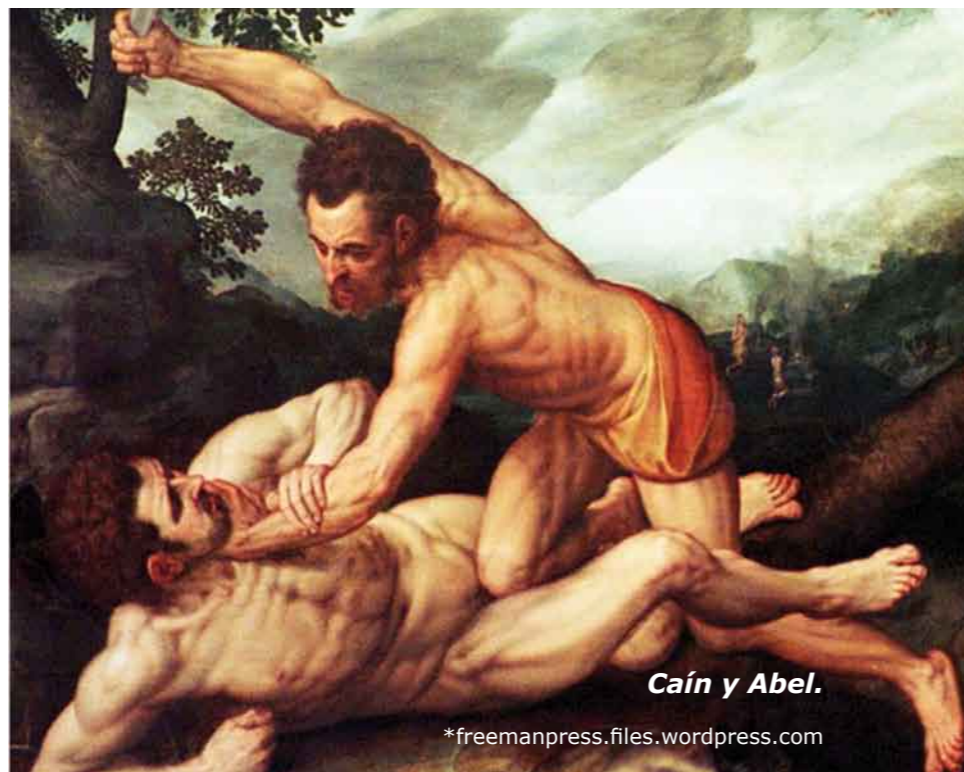
Por mi condición de militar, y especialista en esta materia, no las voy a denominar así sino con su nombre técnico: Armas NBQ, en terminología española, que son las que utilizan agresivos Nucleares, Biológicos o Químicos. Y este es el término que utilizaré por comodidad. Aunque hay organismos, como

la OTAN, y autores, que introducen la sigla R (NBQR, RNBQ, NRBQ, etc.) para referirse a las armas radiológicas, pero en el Ejército español el término Nuclear incluye todos los fenómenos procedentes de la radiación aunque su origen no sea estrictamente el núcleo del átomo. En su origen, finales de la década de los 40, e inicio de los 50, se les llamó Atómicas, término que estuvo vigente hasta los años 80.

Pero el nombre en el fondo da lo mismo ya que uno se refiere a las consecuencias de su empleo, ADM, y el otro, NBQ, al origen de su letalidad, y lo importante es que su empleo provoca gran cantidad de muertes, heridos y sobre todo contaminación.

LA GUERRA

Antes de entrar en materia, unas ligeras reflexiones. Las armas se utilizan en las guerras y en los hechos delictivos, y han acompañado al hombre desde el inicio de los tiempos para enfrentarse a los peligros de la naturaleza, los depredadores, para la caza y para defenderse, o atacar, a otros seres humanos, la guerra. La



Caín y Abel.

*freemanpress.files.wordpress.com

guerra ha acompañado al hombre desde sus orígenes, ya en la Biblia uno de los primeros hechos narrados es la muerte de Abel en manos de Caín, lo que anecdóticamente puede ser considerado la primera guerra de la humanidad¹.

El caso es que el ser humano opta por la lucha por diversos motivos: el poder, los recursos (alimentos, energía, clima, agua, etc.), las ventajas geográficas (salida al mar, el paso entre montañas, etc.), la religión, las ideas (marxismo, capitalismo) y un largo etc.

Conforme avanza la historia, y nuestro conocimiento (¿sabiduría?), las reflexiones sobre este fenómeno humano varían, se vuelven más refinadas, y además cada movimiento político intenta dar respuesta a sus orígenes y su esencia. Personalmente prefiero la definición de Clausewitz²: "la guerra es la continuación de la política por otros medios". Que es su frase más conocida y citada por políticos, militares, pensadores y empresarios, entre otros. Aunque el mismo también inventa otra que a mi entender algunos estadistas han olvidado: "La guerra no es más que un medio para un fin, fin que reside en la paz posterior".

Clausewitz pensaba que la guerra moderna es un "acto político", un acto de voluntad, en el sentido volitivo, y esta manifestación la consideraba el único elemento racional de la guerra y el tercero en su teoría de la guerra, los otros dos elementos son: 1º El odio, la enemistad y la violencia, y 2º El azar (suerte, fortuna) y las probabilidades. De hecho escribió "El primero de estos tres aspectos interesa especialmente al pueblo; el segundo, al comandante en jefe y a su ejército, y el tercero, solamente al gobierno. Las pasiones que deben prender en la guerra tienen que existir ya en los pueblos afectados por ella; el alcance que lograrán el juego del talento y del valor en el dominio de las probabilidades del azar dependerá del carácter del comandante en jefe y del ejército; los objetivos políticos, sin embargo, incumbirán solamente al gobierno". Y en este sentido hay que entenderla.

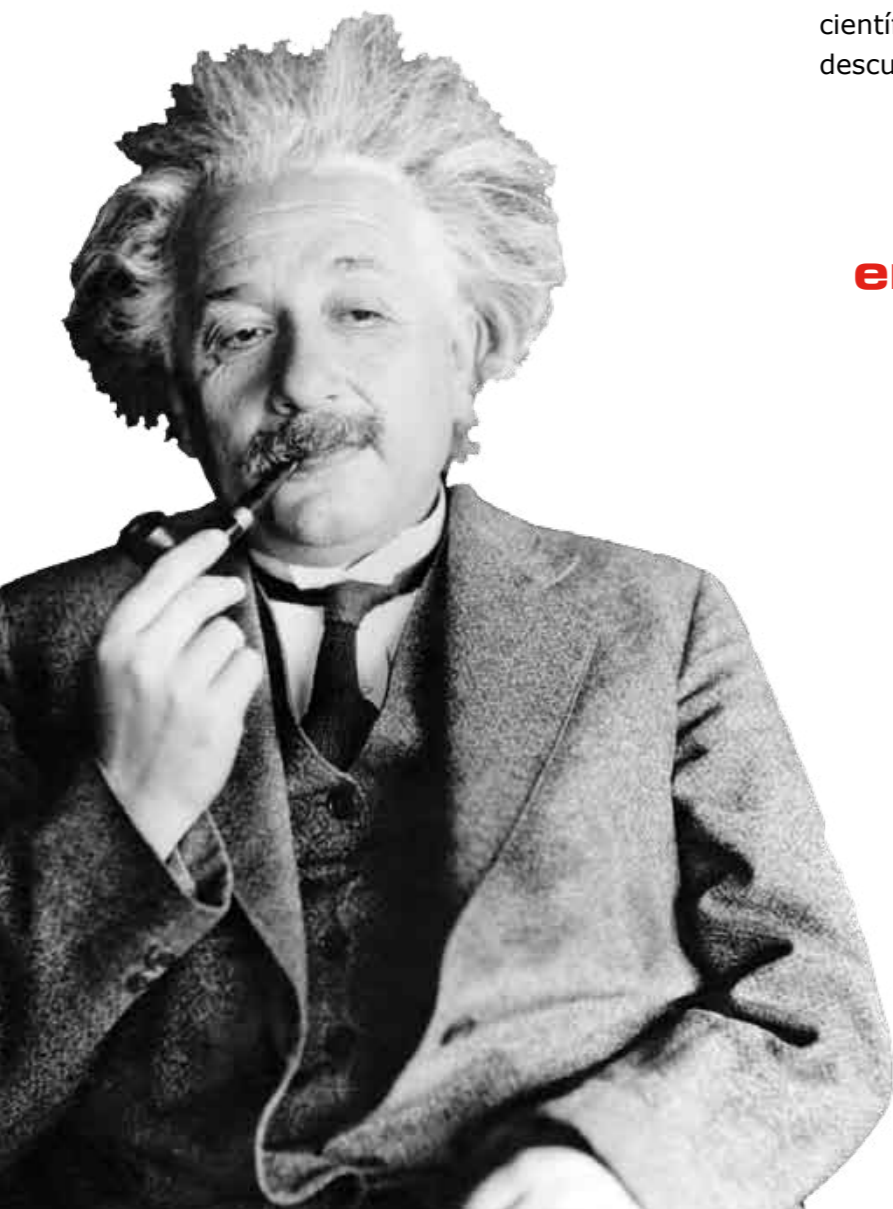
¿Qué papel juegan los científicos en las guerras?³

Los científicos están entre los componentes del pueblo, y se identifican con él, por lo que viven sus mismas vicisitudes, y si hay una guerra aportan todas sus energías a su causa,

1. Siguiendo con la anécdota sería la más letal de todas, ya que pereció el 25% de la humanidad y el 50% de los contendientes. Otros consideran este hecho como el primer delito, asesinato con premeditación de la historia. Y un poco más en serio, para algunos historiadores es una alegoría que representa la lucha entre los pueblos pastores nómadas, Caín, y los agrícolas sedentarios, Abel.
2. Carl Philipp Gottlieb von Clausewitz fue un militar prusiano del siglo XIX, y uno de los más influyentes pensadores teóricos de la ciencia militar moderna. Su obra más conocida es su tratado *De la guerra*, donde aparece la frase citada, y en el que realiza un análisis sobre los conflictos armados, desde su planteamiento y motivaciones hasta su ejecución, abarcando facetas de todo tipo: táctica, estrategia y sobre todo filosofía. Sus tesis han influido en el desarrollo de la ciencia militar occidental, y se enseñan hoy día tanto en las academias militares como en el del mundo de la empresa, especialmente gestión empresarial y marketing.
3. Magos, sabios, astrónomos, ingenieros, etc. Es decir, las personas que tenían unos conocimientos técnicos (o mágicos) superiores a los de la sociedad en la que vivían.

El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva

así lo han hecho científicos como Arquímedes, Leonardo Da Vinci, etc. Y más recientemente durante la II Guerra Mundial (II GM), en la que se produjo una carrera, entre científicos alemanes y "norteamericanos"⁴ por alcanzar en primer lugar la Bomba Atómica, y más recientemente los que participaron en el desarrollo de la carrera de armamento durante la Guerra Fría. En resumen, son seres humanos con sentimientos y emociones que viven en una época y sociedad con unos valores, creencias y actitudes determinadas, y así lo hacemos hoy en día a pesar de que muchos proclamen su individualidad, pero pertenecemos a nuestro tiempo y a nuestra sociedad, con su cultura y creencias.



ARMAS NUCLEARES

Los orígenes

En la década de los años veinte Alemania era el centro mundial de la física atómica, en sus universidades se encontraban personajes como: Einstein, Heisenberg, Planck, Born, Geiger, Meitner, Von Laue, Bothe, Herz, Stern, etc. Pero este hecho finalizó cuando en los años treinta el partido nazi llegó al poder y comenzaron las persecuciones a los judíos y extranjeros, lo que provocó la fuga de muchos de los más importantes científicos, principalmente a los Estados Unidos, por lo que Europa perdió la hegemonía en la investigación científica.

A pesar del éxodo, y la pérdida de notables científicos, fue en Berlín, en 1939, donde se descubría el fenómeno de la fisión del uranio,

“Cometí un gran error en mi vida... cuando firmé la carta para el presidente Roosevelt recomendando el desarrollo de la bomba atómica, pero hubo una cierta justificación, el peligro de que los alemanes la hicieran antes”

por Otto Hahn y Lisa Strassmann, una de las características más importante es que en el proceso se libera una gran cantidad de energía.

Desde ese momento, en el que la posibilidad de la bomba era ya una realidad, Alemania y los aliados⁵ comenzaron la "carrera" por alcanzar la Bomba atómica. Aunque en realidad no fue una carrera ya que Alemania apenas podía competir. Por lo que conocemos Alemania no puso demasiado empeño por varios motivos. El primero porque sus principales investigadores (Hans Bothe) se inclinaron por utilizar agua pesada para moderar la reacción en cadena y los aliados destruyeron en Noruega, (Telemark⁶) su fábrica principal. El segundo por falta de apoyo económico (0,5% del presupuesto norteamericano) y de medios al proyecto⁷. Además existían otros factores como: dispersión geográfica, constantes bombardeos de las instalaciones, sabotajes, disminución del número de científicos por éxodo, etc.

EL PROYECTO MANHATTAN

Con este nombre se denominó el proyecto norteamericano para desarrollar la bomba antes que los alemanes. Su antecedente se fija en la reunión que tuvo lugar en Copenhague en septiembre de 1941 entre Werner Heisenberg y Niels Bohr. En ella Bohr creyó que Heisenberg le proponía trabajar para los alemanes en la construcción de una bomba atómica. Tras conocerse la entrevista se desató el temor a que los alemanes la estuvieran desarrollando y provocó el apoyo de los exilados a la bomba, y tuvo como consecuencia el impulso a los proyectos iniciados con anterioridad.

Los británicos iniciaron su proyecto de investigación y desarrollo en marzo de 1940, pero lo abandonan en julio de 1942 en el que se unen a los norteamericanos⁸, y un año más tarde, el 19 agosto 1943, se firma el Acuerdo de Québec, entre Roosevelt y Churchill, que certifica el acuerdo entre ambas naciones.

4. Una parte importante de ellos eran europeos expulsados por el nazismo, aunque la gran mayoría con el tiempo optó por esa nacionalidad.
5. Inicialmente Gran Bretaña en solitario, pues temía que Hitler fuera el primero en tener lo que denominaban el arma definitiva. Posteriormente se unió a los Estados Unidos. La URSS fue independiente y durante la guerra su labor investigadora fue escasa, aunque realizada de manera heroica por los escasos medios que dedicó al proyecto.
6. Allí se encontraba instalada una planta hidroeléctrica denominada Norks Idro construida en 1934, que usaba el agua del río Vemork para efectuar un proceso por el cual se añadía hidrógeno al agua, obteniendo así un producto para potenciar los fertilizantes que era conocido como Agua Pesada. Fue bombardeada, sabotada y atacada por comandos, hechos que han sido llevados al cine.
7. En 1942 tras una entrevista con Heisenberg el ministro Albert Speer afirmaba *"todos los procesos que conocemos actualmente para construir una bomba de uranio son tan increíblemente caros que nos llevaría muchos años y requerirían un gasto técnico enorme que nos costaría billones"*.
8. Razones para abandonar el proyecto fueron: coste, más de 70 millones de libras esterlinas (dinero del que no disponían, ya que se empleaba para el esfuerzo de la guerra), necesidad de utilización de personal a gran escala, tiempo (al menos cinco años), imposibilidad de fabricarlo en la isla mientras durase la guerra por la exposición a los bombardeos alemanes que podían destruir las instalaciones a pesar de que se dispersaran.

El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva

En Estados Unidos, el inicio se fija en la carta que Einstein envió al presidente Roosevelt, el 2 agosto 1939, en la que le pedía que Estados Unidos desarrollara la Bomba⁹. Los historiadores estiman que la consecuencia de esta carta fue la puesta en marcha del Proyecto Manhattan, que logró su objetivo de desarrollar la bomba atómica y condujo a los bombardeos de Hiroshima ("little boy", bomba de uranio) y Nagasaki ("fat man", bomba de plutonio). Einstein, que nunca pensó que las bombas serían utilizadas, se vio muy afectado¹⁰ cuando se emplearon contra Japón.

El 9 de octubre de 1941, Roosevelt autorizó el desarrollo de la bomba atómica. Con esta decisión se crea el Comité del Uranio con la finalidad de resolver los problemas científicos y comenzar a preparar el experimento. Y tras el ataque japonés a Pearl Harbor, 7 de diciembre, los Estados Unidos entran en la II GM.

En el aspecto científico se sugiere que el plutonio podía ser usado, por sí solo, en una bomba, algunas de sus ventajas son: mayor probabilidad de fisionarse, más neutrones por fisión, y menor emisión de neutrones retardados.

En 1942 se producen grandes avances, cito algunos de ellos. Se establecen tres divisiones, a cargo de un premio Nóbel cada una: Urey,

con dos métodos de enriquecimiento, Lawrence, con un tercer método de enriquecimiento y la producción piloto de plutonio, y Compton, en física teórica y verificación experimental de la reacción en cadena, física de reacciones supercríticas y exploración de producción de Plutonio-239. Se construyen enormes plantas (Oak Ridge, Tennessee, Hanford y Washington) para obtener el plutonio¹¹ y el uranio-236, necesario.

Bajo la dirección de Oppenheimer se trabaja en los problemas de la difusión de neutrones (su movimiento en la reacción en cadena) e hidrodinámica (comportamiento de la explosión). Se determina que la bomba de fisión es viable, y que la reacción podía iniciarse acoplado una masa crítica¹², ya sea disparando dos masas subcríticas de plutonio o uranio; o por medio de una implosión (efecto de comprimir) de una esfera hueca de los mismos materiales. Por otro lado, Teller estudiaba la posibilidad de fabricar una *Superbomba*¹³, al rodear la bomba de fisión con deuterio y tritio, que no se desarrollaría hasta 1952. En septiembre, se nombra al General Leslie R. Groves a cargo de todas las actividades militares relacionadas al Proyecto DSM (Desarrollo de Materiales Substitutos), que se encargaría de centralizar todas las investigaciones dispersas por el país y construir la bomba.

En diciembre, el grupo de Fermi completa, y opera con éxito, el primer reactor nuclear, el Chicago Pile-1 (CP-1); utilizando varias configuraciones y empleando como moderador el grafito y como material el uranio. Consiguió la fisión del uranio y la producción de 2 neutrones por fisión, con los que podría producir una reacción en cadena y construir una bomba.

Conseguida la reacción en cadena, hay que obtener: combustible concentrado y puro, plutonio 239 o uranio 235, y diseñar (y probar) los sistemas de la bomba. Para esto se trabaja en tres lugares separados y aislados. Para el U-235, se construye Oak Ridge (C.E.W.)¹⁴ en Tennessee; para separar plutonio de los productos de fisión y del uranio, se trabaja en Hanford (H.E.W.)¹⁵. Y por último Oppenheimer y el General Groves eligen los Alamos como el lugar donde se armarían las bombas con las materias primas, uranio enriquecido y plutonio. Allí se reúne un equipo de científicos, con varios premios Nóbel, en principio se dedican a profundizar en los cálculos de ensamblaje y encendido de la bomba. La explosión sería más eficiente mientras mayor fuera la velocidad de acercamiento de las masas subcríticas y la pureza y enriquecimiento del uranio, los resultados preliminares no dieron muchos problemas, pues los mecanismos de la bomba eran simples. Para ahorrar U-235, incorporaron un reflector externo, que evita el escape de neutrones, y permite más fisiones, aunque complica la teoría. El resultado fue *Little Boy*, la bomba tipo cañón de Hiroshima, 6 de agosto de 1945, que estuvo lista a fines de julio de 1945, y que ha sido la única de su tipo.

9. El temor de muchos científicos refugiados en EEUU a que el régimen nazi desarrollara la Bomba con anterioridad les animó a tomar la iniciativa, ya que el horror ante los nazis estaba muy fresco en sus conciencias y consideraron una prioridad absoluta detener a Hitler, a cualquier precio. Albert Einstein fue convencido por Leo Szilard y Eugene Wigner, y utilizó su imagen pública e influencia para convencer al presidente Roosevelt a adelantarse a los alemanes en la carrera por la Bomba.
10. Cinco meses antes de su muerte, Einstein escribía la siguiente frase: "*cometí un gran error en mi vida... cuando firmé la carta para el presidente Roosevelt recomendando el desarrollo de la bomba atómica, pero hubo una cierta justificación, el peligro de que los alemanes la hicieran antes*".
11. Para obtener isótopos de plutonio se tiene que bombardear con neutrones el uranio-235, el cual absorbe los neutrones transformándose en uranio-236, mucho más radiactivo, y plutonio.
12. Es la cantidad mínima de material necesaria para que se inicie una reacción nuclear en cadena. Para un material fisible concreto depende de sus propiedades físicas (principalmente de su densidad) y nucleares (su enriquecimiento y sección eficaz de fisión), su geometría (su forma), su pureza, y de los neutrones que le llegan (si está rodeado o no por un reflector de neutrones).
13. Denominada posteriormente como: bomba termonuclear, bomba H (de hidrógeno, por el uso de sus isótopos Deuterio y Tritio) o de fisión-fusión porque la explosión atómica (fisión) provoca las condiciones necesarias para que se produzca la fusión.
14. Clinton Engineers Works (C.E.W.): Se utilizan, a partir de septiembre de 1942, 24000 hectáreas a 35 kilómetros de Knoxville, Tennessee, en un valle que permitía el aislamiento y con agua para refrigeración. Su misión era obtener U- 235.
15. Hanford Engineer Works (H.E.W.): Se diseñaron y construyeron plantas de separación a partir de ensayos con microgramos de plutonio.

Fat Man (al fondo) y Little Boy, Museo de Historia de Los Álamos.



El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva

En el desarrollo de la bomba de plutonio se observó que el método de cañón producía fisión espontáneas, lo que provocaría una reacción prematura, por lo que este método se abandona en junio de 1944. La solución fue una implosión simétrica, de la que se demostró su viabilidad en febrero de 1945. El corazón de la bomba se basó en dos hemisferios de menor densidad, niquelados para protegerlos de la corrosión. El resultado fue Fat Man, la bomba de Nagasaki, 9 de agosto de 1945. Hoy los estados que inician su andadura en el armamento nuclear lo hacen con bombas de este tipo. Como la implosión era muy compleja, y como había plutonio disponible, se coordinó un ensayo, en Alamogordo, para junio de 1945. Durante el proceso fallece Roosevelt y le sucede Truman que apoya e impulsa el Proyecto, y con muchos problemas e inconvenientes¹⁶ se detonó, 15 de julio, la bomba *Trinity*, antecesora de *Fat Man*.

En resumen el proyecto Manhattan consiguió su objetivo de producir la primera bomba atómica en un tiempo de 2 años 3 meses y 16 días, realizando la primera prueba nuclear del mundo (*Trinity*) y sus primeros y únicos empleos. Además de un cambio de era, supuso un reto científico inmenso, que produjo tal cantidad de avances en numerosos campos que todavía no se ha evaluado en profundidad su impacto científico y tecnológico.

EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

La rivalidad con la Unión Soviética (URSS) tras la II GM fue el inicio de la Guerra Fría y la carrera de armamentos, entre ellos los nucleares. Las armas nucleares de las dos grandes potencias se han basado, y se basan, en la denominada Triada, estrictamente su plataforma de lanzamiento o vector: bombardeos estratégicos, muy flexibles; misiles intercontinentales basados en tierra (tenemos dos posibilidades,

protegidos en silos fijos muy fortificados y difíciles de destruir o bien sobre soportes móviles, normalmente plataformas ferroviarias). Por último, misiles embarcados en submarinos nucleares. Estados Unidos destacó en los bombarderos y submarinos y la URSS en los misiles en plataformas móviles.

La estrategia de ambos contendientes, y sus aliados respectivos, se basó durante muchos años en la disuasión, basada en la teoría estratégica denominada Destrucción Mutua Asegurada (MAD)¹⁷. Más tarde la OTAN la abandona por la respuesta flexible¹⁸, que es limitada por los posteriores acuerdos de desarme nuclear que han hecho disminuir el número de ingenios nucleares.

EVOLUCIÓN DE LAS ARMAS NUCLEARES

Los avances científicos han sido innumerables y cada vez más rápidos, por lo que las armas nucleares se pueden clasificar de la siguiente manera, aunque existen otras:

- **"Generación cero" o "bomba A":** Dispositivos experimentales de fisión por disparo y Uranio altamente enriquecido, las bombas están en el rango de la tonelada de peso, capaces de liberar entre 10 y 25 Kt (Kilotones). Éste fue el tipo de bomba lanzada en Hiroshima, *Little Boy*. Fue el tipo de bomba que desarrolló Sudáfrica. También es la bomba que más fácilmente podría construir un grupo terrorista por su "sencillez" de construcción.
- **1ª generación (bomba A):** Fisión por implosión de Plutonio, capaces de liberar entre 10 y 45 Kt. Como ya he dicho son las bombas *Trinity* y *Fat Man*, así como la primera rusa, Joe-1. Mucho más versátiles que las de fisión por disparo, constituyen la base de todas las armas nucleares

modernas. Su tecnología requiere un importante apoyo de electrónica y química compleja. Probablemente Corea del Norte pueda fabricar alguna bomba de esta tecnología, y sería la que tendría Irán, si continúa, como así parece, con la investigación y desarrollo nuclear bélico.

- **2ª generación:** Dispositivos mejorados de fisión por implosión de Plutonio, en particular en lo referente a la geometría de la bomba y a la miniaturización de la electrónica. Se pueden obtener rendimientos de más de 200 Kt con pesos y dimensiones reducidos, permite trabajar con la hidrodinámica de la radiación, abriendo paso a las siguientes generaciones. Tecnología de los años 40. Se cree que Pakistán utiliza esta tecnología. Una de sus pruebas en Chagai fue en principio del tipo fission-boosted, pero liberó muy poca potencia.
- **3ª generación (fission-boosted):** en este estadio básicamente faltan los conocimientos y el refinamiento suficientes para construir una bomba termonuclear, pero se dispone de Deuterio y Tritio, además de litio-6 y litio-7 suficientemente purificados. Se rodea la carga de fisión con estos isótopos ligeros y se espera que el primer pulso de rayos X provoque un cierto grado de fusión de los mismos. Permite hacer explosivos en el rango del medio megatón. Tecnología entre los años 40-50. En este nivel se supone que está Israel, avanzando hacia la 4ª generación. Mordejái Vanunu, físico nuclear israelí que ha estado en prisión por dar a conocer al mundo el programa militar, declaró que hace 18 años ya estaban trabajando en ello.
- **4ª generación:** Termonuclear. Requiere un manejo muy afinado de la Física, la Química y la Metalurgia Especial. Se debe disponer de técnicas de ultra purificación de tritio,



Bomba termonuclear MK-17.

*www.3djuegos.com

16. Además de la presión de Potsdam, muchos problemas amenazaron su éxito: se creía que la implosión era ineficiente, el tiempo en Alamogordo era inestable exponiendo los detonadores a la corrosión, el corazón no cupo en la bomba por expansión térmica, se oxidó la capa protectora, etc. Hubo pánico de sabotaje. E incluso algunos quisieron posponer el ensayo.

17. Loco en inglés, y que asumía que cualquiera que empezara una escalada nuclear se vería golpeado por la respuesta nuclear de su adversario e igualmente destruido. Es lo que en teoría de Juegos se llama juego de suma cero, nadie gana si elige esa opción.

18. Responde a los conceptos de la respuesta graduada. Cada amenaza, o agresión, tiene una respuesta proporcionada a la naturaleza de aquella. Se basa en la esperanza de dominar el proceso de escalada y conducir al adversario a detenerse o negociar. Se desarrolló a partir de los años 70 para ser utilizada en escenarios muy concretos, como Europa.

El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva

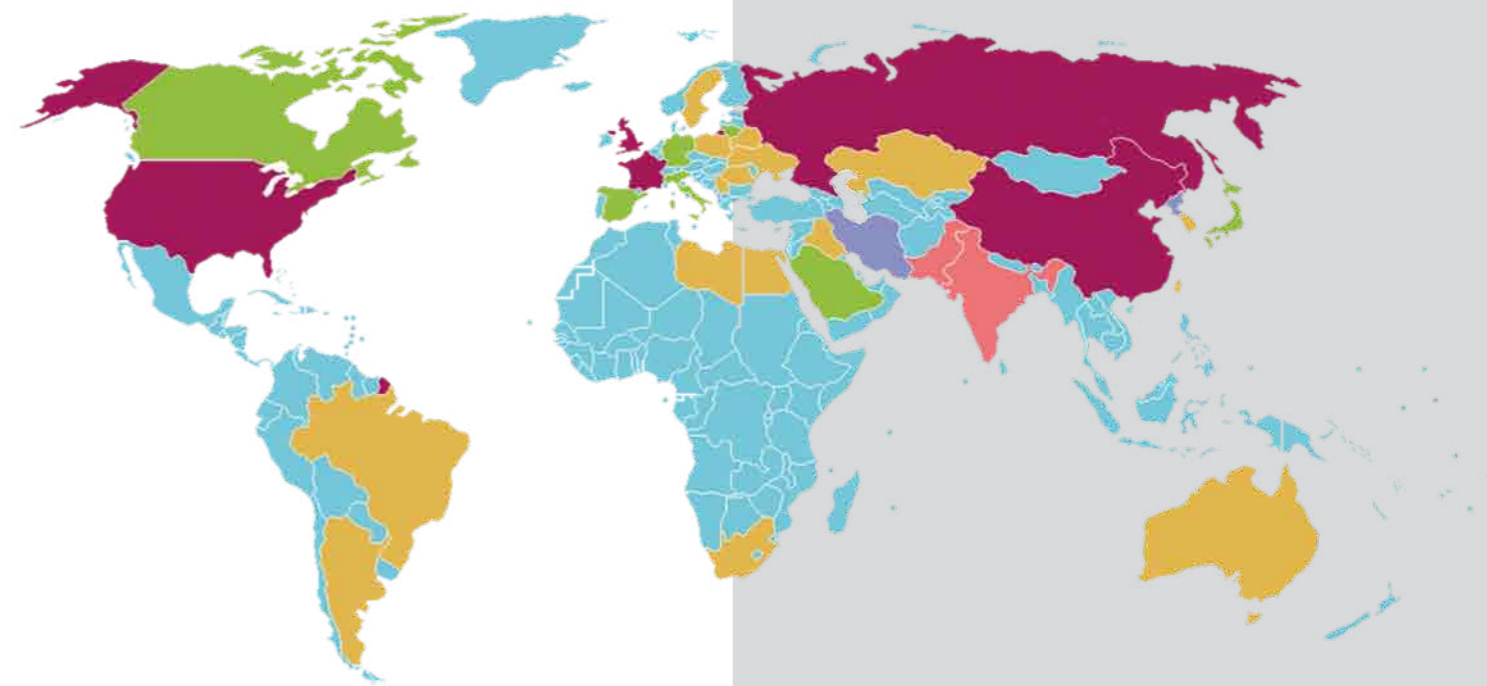
deuterio, litio-6 y litio-7, y de dispositivos de fisión lo bastante pequeños y versátiles como para utilizar una bomba A como iniciador de una reacción de fusión producida en un contenedor de isótopos livianos. En principio, no existe límite teórico sobre lo que se puede lograr con esta tecnología. Los rusos llegaron a fabricar la "Bomba del Zar", que produjo una potencia de 50 Megatonnes (Mt), aunque estaba previsto alcanzar los 100 Mt. Con esta tecnología se fabricaron las grandes bombas de la Guerra Fría. Cuatro armas de esta generación cayeron sobre España en 1966 durante el incidente de Palomares. Tecnología de los años 50-60. En esta etapa están India y China.

- **5ª generación:** Es un paso más en el refinamiento de la Física y los diseños versátiles. El resultado son las bombas termonucleares de tamaño y peso reducido (pueden contener medio megatón en algo poco más grande que un termo de café con una pelota de fútbol encima, que viene a pesar unos 60 Kg.). Y derivados de gran versatilidad: bomba de neutrones¹⁹, de radiación residual reducida, de radiación térmica incrementada, de rayos X, de rayos ultravioleta, de pulso electromagnético incrementado, de hidrodinámica fluctuante, etc. Es decir, dispositivos pequeños y adaptados para cada necesidad específica, casi todos ellos termonucleares. Tecnología de los años 70-80. Francia está aquí, pero avanzando hacia la 6ª, seguida de cerca por los ingleses. Si los países occidentales industrializados (Japón, Alemania, Canadá, etc.) decidieran entrar al club, seguramente lo harían entre la 3ª y la 5ª generación.
- **6ª generación:** Cargas termonucleares de tamaño miniaturizado con geometrías complejas (que por ejemplo reducen la cantidad de Plutonio en el primario a 4

Kg.), fuentes neutrónicas miniaturizadas, lentes de no-materia y centelleador de geometría avanzada con sólo unos cientos de gramos de Plutonio. Son armas de potencias no muy altas porque la precisión de los actuales misiles no lo requiere. De todas formas, la potencia es variable y puede ser programada antes del lanzamiento entre décimas de kilotón y varios megatonnes. Diseños con plásticos, composites y cerámicas en vez de metales y con geometrías especiales para contribuir a la "invisibilidad" del vehículo de reentrada; todo ello manteniendo la versatilidad de derivados de la quinta generación. Tecnología de los años 90. A este nivel sólo llegan actualmente los Estados Unidos y Rusia.

He estado utilizando términos como Kilotón (Kt) y Megatón (Mt), veamos que son. El Kt es una unidad de medida para determinar la potencia de una explosión nuclear, equivale a una explosión isimultánea! de 1.000 Tn de explosivo convencional (TNT), es decir, la explosión de la carga de 50 camiones de 20 Tn, itodos a la vez! Y ésta es una medida muy pequeña, la explosión de Hiroshima fue 20 veces superior, siguiendo con nuestro ejemplo sería la explosión simultáneamente de 1.000 camiones de 20 Tn de TNT. Un Megaton son 1.000 Kt, es

“El principal peligro viene dado por dos fenómenos: la proliferación, en especial si se produce en estados fallidos, y el terrorismo.”



MAPA NUCLEAR:

- **Los cinco países con armas nucleares del NPT.**
- **Otros países con armas nucleares.**
- **Países sospechosos de tener armas nucleares o de estar en proceso de desarrollarlas.**
- **Países que alguna vez tuvieron programas de desarrollo de armas nucleares.**
- **Países capaces de desarrollar armas nucleares en pocos años si lo deciden.**

decir, ¡¡50.000 camiones!! Así podemos hacernos idea de la enorme potencia que tienen estas armas.

LA AMENAZA HOY EN DÍA

Hoy en día los peligros no vienen como hace 40 ó 50 años por una guerra nuclear a gran escala. Para la OTAN, esta amenaza sigue existiendo pero con una posibilidad muy pequeña. El principal peligro viene dado por dos fenómenos: la proliferación, en especial si se produce en estados fallidos²⁰, y el terrorismo.

19. También se la conoce como de fisión-fusión o bomba sucia. Produciría pocos efectos mecánicos, poca destrucción y, sin embargo, la radiación neutrónica sería muy elevada por lo que la vida sería imposible en la zona afectada. Estaba pensada para ser utilizada en Europa frente a una invasión en masa de las 50 divisiones acorazadas (tanques) soviéticas, y así no destruir sus infraestructuras.
20. Este nombre sirve para designar a un Estado débil en el cual el gobierno no tiene el control, o es escaso, sobre su territorio y sus habitantes. Es decir, no puede aplicar sus leyes (financieras, penales, civiles, etc.) dentro de sus fronteras y sus elementos para hacer cumplirlas (jueces, policías, y en último caso el ejército) no son efectivos o fiables. Cuando esto sucede la misma existencia del Estado llega a ser dudosa, y el país se convierte en un Estado que ha fallado o Estado fallido. Los estados fallidos lo pueden ser porque su población se fracciona en etnias, clanes, señores de la guerra, narcotraficantes, partidos políticos, religiones, etc. Puede ser por una acción interior, o bien por una acción exterior que apoya a una de las causas antes citadas. Según el Fund for Peace (Fondo por la Paz) de 177 estados, 38 estaban "en alerta", 93 "en peligro", 33 "moderados", y 13 "sustentable". Entre los peores se encuentran: Somalia, Afganistán, Pakistán, Zimbabwe, Chad, Etiopía y Nigeria.

El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva

Proliferación

Hay que entenderla como los esfuerzos por poseer armamento nuclear. Hay que tener en cuenta que desde 1968 está en vigor el Tratado de No Proliferación Nuclear (NPT, *Nuclear Non-Proliferation Treaty*), que limita la posesión de armamento nuclear a cinco países²¹: Estados Unidos, Rusia (antes URSS), Gran Bretaña, Francia y China. A los no poseedores, firmantes del Tratado, se les proporcionará tecnología nuclear de uso pacífico. La gran mayoría de los estados soberanos (188) forman parte del Tratado.

Entre los que no han firmado el Tratado se encuentran cuatro países, India, Pakistán, Corea del Norte²² e Israel. Los cuatro poseen armas nucleares, en el caso de India y Pakistán, de una forma clara, ratificado tanto por sus experimentos y declaraciones. El problema es que ambos están guerra entre si por la disputa de la región de Cachemira, y además Pakistán está considerado como un estado poco fiable (fallido).

Corea del Norte ha realizado al menos una prueba con armas nucleares, y durante el año 2009 ha realizado pruebas con misiles capaces de llevarlas y que, en alcance, han sobrepasado Japón. Es el único estado estalinista, y hasta ahora ha negociado, varias veces, con Estados Unidos y Japón el detener su programa nuclear a cambio de contraprestaciones económicas, alimentarias (ha sufrido varias hambrunas) y tecnológicas (nucleares), pero alcanzados sus objetivos siempre ha vuelto a la carrera nuclear.

Israel no es miembro del Tratado, ni desmiente ni afirma tener armas nucleares, pero se cree que ha estado desarrollando armas nucleares en el Centro de Investigación Nuclear del Néguev, cerca de la ciudad de Dimona, desde 1958, y se supone que tiene almacenadas unas 100 cabezas nucleares.

Irán, que si es firmante del Tratado, ha estado en los últimos años enriqueciendo uranio, y tiene un amplio programa para el desarrollo de un ingenio nuclear, a lo que se une su capacidad para lanzarlas²⁴. Irán no es un estado fallido pero su régimen, islámico y potencialmente dictatorial, busca la expansión de su influencia en su entorno geopolítico y sobre todo la destrucción de Israel.

Sudáfrica empezó un programa de armas nucleares, supuestamente con la asistencia de Israel, y puede haber realizado pruebas nucleares en el Atlántico. Pero tras la firma del Tratado en 1990 ha renunciado a su programa nuclear y ha destruido su pequeño arsenal atómico. Es el único estado en hacerlo.

Terrorismo

El principal temor es que un grupo terrorista se haga con un arma nuclear. El riesgo de que fabriquen una es muy lejano, ya que su principal inconveniente es su sofisticada tecnología y el inmenso acopio de medios técnicos que son necesarios para fabricarlas y mantenerlas. Por esto su uso, por parte de los terroristas, puede producirse por medio de:

- **Bombas sucias** o radiactivas, conocidas como Dispositivos de Dispersión Radiológica (DDR). Son bombas de explosivo convencional que tienen adosados materiales radiactivos, tales como desechos de los servicios de medicina nuclear de los hospitales, de industrias nucleares y, más difícilmente, de los residuos de las instalaciones nucleares.
- **Bombas atómicas rudimentarias** o Dispositivos Nucleares Improvisados (DNI). Son bombas atómicas que, debido a la calidad de sus materiales y a un proyecto deficiente, producen al explotar una pequeña fracción de la energía nominal para la que fueron construidas.

Pero reafirmo que estos riesgos son muy lejanos ya que, en la práctica, los grupos terroristas actuales no disponen de medios técnicos, materiales y humanos para desarrollarlas; y además los gobiernos y los organismos internacionales están muy sensibilizados con esta posibilidad y su vigilancia es exhaustiva.

José Manuel Vicente
Dpto. de Sistemas de Armas
Academia General Militar
Zaragoza



EOD-Explosive Ordnance Disposal (Eliminación de Municiones y Artefactos Explosivos)

*militaryphotos.net

21. Son los mismos que tienen asiento permanente en el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas.
22. Corea del Norte era un país miembro del Tratado, anunció una renuncia el 10 de enero de 2003 y lo hizo formalmente en abril.
23. Amplia información sobre el programa nuclear israelí en Dimona fue revelada por el técnico Mordejái Vanunu en 1986.
24. Irán realizó pruebas con misiles de largo alcance Sh-ahab-3 ("Meteorito-3"), en septiembre de 2009, con un alcance de unos 2.000 kilómetros, lo que coloca a Israel y las bases militares de Estados Unidos en la zona del Golfo dentro de un potencial blanco.

"Exactitud y precisión son dos vocablos cuyos conceptos no suelen estar muy claros y con frecuencia se aplican indistintamente."

¿ERRORES O INCERTIDUMBRES? POR RAFAEL NÚÑEZ-LAGOS



INTRODUCCIÓN

Supongamos que el peso de una moneda resultase ser $m = 10,56 \pm 0,05\text{g}$ y preguntásemos a diversas personas, incluidos científicos, qué quiere decir ese $\pm 0,05\text{g}$ que se añade al valor. Sin duda obtendríamos variadas respuestas. Hay quien afirmaría que es el error de la medida, otros dirían que es la precisión con que está hecha, hay quien hablaría de la incertidumbre del resultado, otros aseverarían que indica que el peso lo mismo podría ser $m = 10,56 - 0,05\text{g} = 10,51\text{g}$ que $m = 10,56 + 0,05\text{g} = 10,61\text{g}$ etc. Es claro que todos ellos pretenden decir con palabras que ese $\pm 0,05\text{g}$ es una forma de

asegurar que el resultado no se conoce bien del todo, unos dirían que no se conoce de manera precisa y otros que no se conoce exactamente. Exactitud y precisión son dos vocablos cuyos conceptos no suelen estar muy claros y con frecuencia se aplican indistintamente. El propio diccionario de la Real Academia de la Lengua Española dice que precisión, en su acepción 2, es: "determinación, exactitud, puntualidad, concisión". Es, por tanto, lógico que el común de las personas use indistintamente exactitud y precisión, y lo mismo sucede con otros dos vocablos

íntimamente relacionados con ambos como son el error y la incertidumbre, pues son sus medidas cuantitativas. Sin embargo, científicamente estos vocablos no son sinónimos, se refieren a conceptos diferentes, tienen significados distintos y en las medidas experimentales tienen que utilizarse adecuadamente.

Las cuatro posibilidades que permiten las parejas error \leftrightarrow exactitud e incertidumbre \leftrightarrow precisión se pueden dar en las situaciones reales de un laboratorio. Así, un resultado puede ser preciso y exacto, preciso e inexacto, impreciso y exacto e impreciso e inexacto.

El concepto de probabilidad está implícito en todos los cálculos de errores e incertidumbres y eso requiere necesariamente utilizar una estadística determinada. Tradicionalmente se ha utilizado en todos los cálculos científicos la estadística clásica, o Laplaciana, que utiliza un concepto de probabilidad frecuencial o frecuentista. Hoy día se está comenzando a utilizar también la estadística Bayesiana.



*Foto por LouBrave (www.flickr.com)

La incertidumbre es una estimación de la probabilidad. Por ejemplo, cuando pensamos qué decisión tomar ante un problema o situación, tenemos ante nosotros una duda respecto a qué elegir entre un abanico de opciones que se nos presentan como posibles. Lo que realmente hacemos, conscientemente o no, es es-

timar la probabilidad que tiene cada una de ellas de producirnos un mayor beneficio o utilidad o un menor riesgo o peligro. Estamos, en resumen, estimando probabilidades de beneficio o riesgo. La teoría de la probabilidad nos sirve para poder evaluar, cuantitativamente, las distintas probabilidades en muy diversas situaciones. La evaluación de la probabilidad puede hacerse subjetivamente pero en un laboratorio tiene que realizarse lo más objetivamente posible y cuantitativamente.

INCERTIDUMBRE, ERROR, PRECISIÓN Y EXACTITUD

Cuando efectuamos la medida de una magnitud física, tratamos de establecer su valor en una situación experimental definida. El **procedimiento de medida** es el conjunto de operaciones, descritas explícitamente, que se utilizan para efectuar una medida particular utilizando un método dado, por ejemplo, la determinación cuantitativa de un determinado contaminante en una sustancia. **Mesurando** es la cantidad particular objeto de la medida, como podría ser la actividad radiactiva alfa total de una muestra o el carbonato cálcico contenido en el agua. El resultado de la medida del mesurando suele ser, por lo general, una cantidad positiva y cuantifica un efecto físico. El resultado de la medida es el valor atribuido al mesurando.

Es claro que la magnitud física que pretendemos medir tiene un valor concreto que llamaremos **valor verdadero** pero que, por lo general, es desconocido. Por tanto, en la mayoría de las situaciones lo que hacemos es una **estimación** del valor del mesurando que podrá ser más o menos cercana al valor verdadero. Esta

EJEMPLO: MEDIDA DE LA ACTIVIDAD ESPECÍFICA DE UNA MUESTRA CONTAMINADA CON UN ISÓTOPO.

Se trata de determinar la actividad específica de un isótopo que se supone que está contaminando una muestra. Una vez preparada adecuadamente la muestra junto con una muestra blanca, es decir, una muestra idéntica pero sin el contaminante, se procede a efectuar las medidas correspondientes. El Valor Guía para la actividad específica del isótopo es $V_g = 100\text{Bq/g}$. (Bq/g, Becquerelios por gramo de muestra, 1 Becquerelio es una desintegración por segundo).

Muestra blanca.

Las medidas de la muestra blanca incluyen el posible fondo que pueda tener el equipo.

Los resultados de 8 medidas para la muestra blanca han sido en Bq/g:

$$x_{0i} = 66,5 - 69,3 - 72,7 - 71,8 - 64,6 - 69,7 - 69,1 - 64,9 \text{ Bq/g}$$

Con ellas se procede a calcular el **Valor Medio**:

$$\bar{x}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=8} x_{0i} = (66,5 + 69,3 + 72,7 + 71,8 + 64,6 + 69,7 + 69,1 + 69,4) / 8 = 69,1\text{Bq/g}$$

y la **Desviación Cuadrática Media** (en otras palabras la **Varianza**):

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=8} (x_{0i} - \bar{x}_0)^2 = [(69,1-66,5)^2 + (69,1-69,3)^2 + (69,1-72,7)^2 + (69,1-75,8)^2 + (69,1-64,6)^2 - (69,1-69,7)^2 + (69,1-69,1)^2 + (69,1-69,4)^2] / 7 = 9,3 \text{ (Bq/g)}^2$$

La **incertidumbre** de la medida de la muestra blanca (sin tener en cuenta otras posibles fuentes de incertidumbre) es la raíz cuadrada de la Varianza:

$$u_0 = \sqrt{\sigma_0^2} = 3,1 \text{ Bq/g}$$

¿Error o incertidumbre?

mayor o menor cercanía entre el valor estimado y el valor verdadero es lo que se entiende por **exactitud** y el **error** es la medida de la **exactitud** o en otras palabras, cuánto se separa el valor atribuido al mesurando del valor verdadero. Insisto una vez más que, como el valor verdadero del mesurando, casi siempre, es desconocido, no se puede hablar en tales casos ni de error ni de exactitud.

Cuando se expresa el resultado de la medida de un mesurando es necesario dar una indicación de su calidad, de manera que quien utilice el valor obtenido pueda estimar su fiabilidad. La medida de esa calidad se concreta en la **incertidumbre** del resul-

tado, que no es más que una caracterización de la dispersión de los valores que pueden atribuirse razonablemente al mesurando objeto de la medida. ¿Qué se hace en el laboratorio para dar una buena estimación del mesurando? Todos los científicos lo saben, repetir la medida tantas veces como sea razonable en idénticas condiciones y calcular el valor medio, que se utilizará como valor atribuido al mesurando, y la desviación cuadrática media, que no es más que la varianza, puesto que los valores obtenidos no son todos idénticos. La incertidumbre es una medida de la **precisión**, es una forma de cuantificar lo concentrados o dispersos que se encuentran, alrededor de su valor medio, los distintos resultados que se han obtenido. La incertidumbre es la raíz cuadrada de la varianza y se utiliza porque la varianza tiene las unidades al cuadrado, de las que tenga el valor medio, mientras que la incertidumbre tiene las mismas.

“Si la incertidumbre es pequeña el resultado será preciso, y al contrario si es grande, pero nada sabemos sobre si el resultado es o no exacto.”

Hemos introducido, pues, cuatro conceptos: incertidumbre, precisión, error y exactitud. Está claro, por tanto, que en la mayoría de las situaciones con que nos encontramos en el laboratorio, de lo que podemos y debemos hablar es de incertidumbre y no de error, y si se pudiesen cuantificar ambas, precisión y exactitud, serían dos números distintos y obviamente no mezclables.

Veamos un ejemplo: admitamos que el valor verdadero de una magnitud A, sea $a = 100 \pm 5v$, donde v son las unidades de medida, es decir, conocemos su valor verdadero con bastante precisión pues sólo tiene una incertidumbre de un 5%.

Nótese que se trata de la incertidumbre del valor verdadero. Éste dato sería más preciso que si el valor verdadero fuese $a = 100 \pm 50v$, donde la incertidumbre sería del 50%. Cuanto menor sea la incertidumbre mayor es la precisión. Si se midiese la magnitud A y se calculase su valor medio que supongamos que fuese $\bar{a} = 70 \pm 5v$ tendríamos un valor bastante preciso que atribuimos al mesurando, solamente un 5% de incertidumbre pero no muy exacto, pues el error sería de $e = 100 - 70 = 30v$. Si el resultado de la medida hubiese sido $\bar{a} = 70 \pm 50v$ habría sido impreciso e inexacto y si hubiese sido $\bar{a} = 95 \pm 5v$ habría sido bastante preciso, 5% de incertidumbre, y bastante exacto $e = 100 - 95 = 5v$, 95% de exactitud.

Ahora, espero que se haya podido ver, claramente, que error e incertidumbre son dos conceptos muy distintos y cómo un resultado puede ser más o menos exacto, es decir, con poco

*Foto por Lodonnec (www.flickr.com)

o mucho error e independientemente ser más o menos preciso, o sea con menor o mayor incertidumbre. La incertidumbre es una medida de la precisión: si la incertidumbre es pequeña el resultado será preciso y al contrario si es grande, pero nada sabemos sobre si el resultado es o no exacto. El error es una medida de la exactitud: si el error es pequeño el resultado será bastante exacto y al contrario si es grande, pero nada sabemos de la precisión. Son dos magnitudes completamente distintas y no tienen que ver la una con la otra. Por desgracia, en la mayoría de las situaciones reales, el error es difícil de conocer e incluso de estimar.

INCERTIDUMBRES DE TIPO A Y DE TIPO B

Antiguamente se hablaba en las medidas experimentales de error estadístico y error sistemático. Hoy día se definen dos tipos de incertidumbres denominados **incertidumbres de tipo A y de tipo B**. De tipo A son todas las incertidumbres que se pueden caracterizar por una varianza calculada por métodos estadísticos. La incertidumbre de tipo B se tiene que expresar también como una varianza aunque el método de cálculo no sea estadístico. Pueden ser evaluadas a partir de distribuciones de probabilidad, supuestas o conocidas, a partir de la propia experiencia o en otras informaciones. Como ejemplo de incertidumbre de tipo B podríamos citar la varianza resultante de un ajuste no lineal por mínimos cuadrados. Es decir, lo que se calcula siempre son varianzas tanto de tipo A como de

A partir de este dato se puede calcular el **Umbral de decisión** y el **Límite de detección**.

El **Umbral de decisión x^*** se puede calcular de forma aproximada mediante la expresión $x^* = k_\alpha u_0$. Para una probabilidad $\alpha = 0,05$, de cometer un error de tipo I el valor de k_α que corresponde es $k_\alpha = 2$ por lo tanto:

$$x^* = k_\alpha u_0 = 2 \times 3,1 = 6,2 \text{ Bq/g}$$

Si el resultado neto fuese mayor que el Umbral de decisión, $A > x^*$, se podrá afirmar que en la muestra existe el contaminante. (El efecto físico existe realmente) y proceder a los cálculos correspondientes.

El **Límite de detección $x^\#$** , se puede calcular mediante varias formulas aproximadas, la más simple de todas es que el Límite de detección es el doble del Umbral de decisión, si usamos esta sencilla aproximación, $x^\# \approx 2x^*$, se obtiene:

$$x^\# \approx 2x^* = 2 \times 6,2 = 12,4 \text{ Bq/g}$$

El Valor Guía es **$Vg = 100 \text{ Bq/g}$** . Como el límite de detección es bastante inferior, **$12,4 \text{ Bq/g} < 100 \text{ Bq/g}$** , los equipos y métodos de medida son adecuados para la realización de la medida.

Resultados de la medida de la muestra.

Los resultados de la medida de la muestra con contaminante han sido:

$$x_i = 731,9 - 714 - 786 - 713 - 767 - 803,5 - 772 - 683 \text{ Bq/g}$$

Valor medio:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^8 x_i = (731,9 + 714 + 786 + 713 + 767 + 803,5 + 772 + 683) / 8 = 746,3 \text{ Bq/g}$$

¿Error o incertidumbre?

tipo B. La expresión final de la incertidumbre refleja la suma de ambas, puesto que la varianza de la suma es la suma de las varianzas. La **incertidumbre total** es la raíz cuadrada de la varianza total final y se suele denotar por u . En su cálculo se han debido de tener en cuenta todas las posibles causas de incertidumbre a través de sus respectivas varianzas. El cálculo de incertidumbres no es más, por tanto, que el cálculo de varianzas.

Aunque se tiene la tentación de identificar ambos tipos de incertidumbres, A y B, con los antiguos errores estadístico y sistemático, pues aparentemente parecen los mismos, no debe ni puede hacerse. En primer lugar porque son incertidumbres y no errores y en segundo lugar son siempre varianzas y no algo indefinido que no se sabía lo que era ni como tratarlo, como era el error sistemático. La desviación estándar, que se calcula a partir de un conjunto de resultados experimentales o a partir de la distribución estadística de los mismos, es todo o parte de la incertidumbre de tipo A.

La incertidumbre total es una medida del nivel de confianza del resultado e indica cuál es la probabilidad de que el resultado de una medida se encuentre dentro de los límites marcados por la misma. El **intervalo de confianza** son dos valores del mesurando que definen un intervalo, que contiene al valor medido con una cierta probabilidad. Se define de forma que la probabilidad, de que el resultado de una medida del mesurando esté fuera del intervalo de confianza, sea $\gamma/2$ de que se encuentre por arriba y $\gamma/2$ de que se encuentre por abajo, lo que implica que no tiene por qué ser simétrico respecto al valor asignado al mesurando.

Por tanto γ es la probabilidad de que un resultado se encuentre fuera del intervalo de confianza y $1-\gamma$ es la de que esté dentro.

La probabilidad $1-\gamma$ se denomina **nivel de confianza** y es, por tanto, la probabilidad de que un resultado se encuentre dentro del intervalo de confianza. Se suele tomar la anchura del intervalo de confianza como la incertidumbre calculada a partir solamente de la varianza, σ de una distribución Normal, en tal caso el nivel de confianza resultaría ser del 68,27%. Cuando se ha definido un valor de γ de antemano, y se desea un nivel de confianza mayor que el dado por σ , se suele utilizar la incertidumbre expandida, que no es más que el resultado de multiplicar la incertidumbre total calculada (suma de las de tipo A y de tipo B) por un factor, llamado factor de cobertura, k , que, en resumen, aumenta el nivel de confianza. Se suelen utilizar distribuciones Gaussianas y de forma estándar, $k = 2$ que corresponde a niveles de confianza del 95,45%.

ERRORES DE TIPO I Y DE TIPO II

Se definen dos tipos de errores llamados de **tipo I** y de **tipo II**, también llamados errores de primera y segunda clase o de primera y se-

gunda especie. Aquí, como veremos, se puede hablar con pleno sentido de error.

Se comete un error de tipo I, o de primera clase, cuando afirmamos que un efecto físico existe o está presente en la muestra bajo medida cuando realmente no lo está con una cierta probabilidad, α , de estar equivocados. Es decir, el posible resultado que obtenemos de nuestra medida lo atribuimos al mesurando y afirmamos que el efecto buscado está presente con una cierta probabilidad, α , de estar equivocados. Un ejemplo sería afirmar que una muestra tiene un contaminante cuando realmente no lo tiene. Es muy importante, en este concepto, hacer explícita la probabilidad de estar en lo cierto o su complementario de estar equivocado. Lo más común es utilizar una probabilidad $\alpha=0,05$ de estar equivocado.

Se comete un error de tipo II, o de segunda clase, cuando se afirma que un efecto físico no está presente en la muestra bajo medida cuando realmente sí lo está con una probabilidad, β , de estar equivocados. Un ejemplo sería afirmar que no está presente un contaminante en una muestra cuando realmente sí que está. Como vemos, es correcto hablar, en estos casos, de errores pues contrastan la medida y la realidad.

Aunque no hay ninguna razón para que las probabilidades α , β y γ sean iguales, en la práctica sí se hace así y es bastante frecuente que se tome $\alpha = \beta = \gamma = 0,05$

Lo que hay implícito en lo que hemos descrito, como errores de tipo I y II, es un Test de Hipótesis. Se acepta la hipótesis H_0 nula: el efecto que se quiere medir no existe realmente. Esto implica que la distribución estadística de los resultados netos de medida, que el teorema del límite central nos permita asignar a una distribución normal, debería estar centrada en el cero como podría ser la curva azul de la figura final. La hipótesis complementaria H_1 es suponer que el efecto que se quiere medir existe

Desviación cuadrática media:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 =$$
$$= [(746,3-731,9)^2 + (746,3-714)^2 + (746,3-786)^2 + (746,3-713)^2 + (746,3-767)^2 + (746,3-803,5)^2 + (746,3-772)^2 + (746,3-683)^2] / 7 = 1.757,6 \text{ (Bq/g)}^2$$

La incertidumbre de los resultados con $k=1$ y sin tener en cuenta otras posibles fuentes de incertidumbre es:

$$u = \sqrt{\sigma^2} = 41,9 \text{ Bq/g}$$

El **Valor neto de la actividad específica** es por tanto:

$$A = \bar{x} - \bar{x}_0 = 746,3 - 69,1 = 677,2 \text{ Bq/g}$$

Como el resultado neto **A = 677,2 Bq/g** es mayor que el umbral de decisión **$x^* = 6,2 \text{ Bq/g}$** , [$A > x^*$, $677,2 \text{ Bq/g} > 6,2 \text{ Bq/g}$], se puede afirmar que en la muestra existe el contaminante, con una probabilidad $\leq \alpha$ de cometer un error de tipo I. En este caso $\alpha=0,05$ pues el umbral se ha calculado con $k=2$.

La incertidumbre total contando solamente la debida a las medidas es, (se suman las varianzas) es:

$$u(k=1) = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2} = \sqrt{9,3 + 1757,6} =$$
$$= \sqrt{1766,9} = 42,1 \text{ Bq/g}$$

La **incertidumbre expandida**, con $k=2$, que es la situación más común, sería:

$$u(k=2) = 2xu(k=1) = 2 \times 42,1 = 84,2 \text{ Bq/g}$$

El resultado final neto se puede expresar por tanto como:

$$\text{Actividad neta: } A = 677,2 \pm 84,2 \text{ Bq/g (k=2)}$$



*Foto por journeyman62 (www.flickr.com)

realmente. En este caso la distribución estadística de los resultados netos de la medida no estará centrada en el cero, como se refleja en la curva roja de dicha figura.

LOS LÍMITES DE DECISIÓN. UMBRAL DE DECISIÓN Y LÍMITE DE DETECCIÓN

Supongamos que la función densidad de probabilidad de la distribución de medidas sea $G(x|\mu, \sigma)$, donde x es una variable aleatoria, cuyos valores son los posibles resultados de nuestra medida de la magnitud X , μ es el valor esperado de la distribución y σ es una medida de la anchura de la distribución. Un ejemplo típico sería la distribución normal o de Gauss:

$$G(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

que son las conocidas curvas de campana dibujadas en la figura en unidades arbitrarias. En este caso μ indica el centro de la curva y es, además, el máximo valor de la distribución, y σ es una medida de la anchura de la Gaussiana.

Supongamos dos situaciones de medida. En la primera medimos una muestra en la que no existe el mesurando, la distribución de resultados netos debería ser una curva centrada en el origen de coordenadas puesto que $\mu=0$. Curva azul en la figura. En la segunda medimos una muestra que contiene al mesurando. En este caso la distribución de resultados reflejaría $\mu \neq 0$ curva roja. Nótese que las anchuras de ambas curvas son diferentes. Si no se utilizasen resultados netos, lo único que ocurriría es un simple desplazamiento en el eje de abscisas que es irrelevante para el razonamiento. Si se normalizasen ambas funciones a un área unidad, se obtendrían las distribuciones de densidad de probabilidad de encontrar un resultado. El valor de la variable se encuentra en el eje de abscisas, x , y la probabilidad está dada por la ordenada correspondiente. La probabilidad de obtener un resultado comprendido entre dos valores x_1 y x_2 no es más que el área subtendida por la curva correspondiente entre esos dos valores. La función Gaussiana normalizada a un área unidad es:

$$G(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

y esta representada en la figura como curva azul en el caso $\mu=0$ y como curva roja en el caso $\mu \neq 0$.

Si ahora hiciésemos una medida de una muestra, y el resultado fuese distinto de cero, por ejemplo, $x=a$ en la figura, ¿qué podríamos decir respecto a la existencia o no del efecto físico bajo medida?, ¿existe realmente? o en otras palabras, ¿a qué curva lo atribuimos? ¿a la azul o a la roja? ¿y a cual la atribuiríamos si hubiese sido $x=b$?

Si conociésemos ambas curvas sería claro que, para $x=a$, la curva azul está por encima de la curva roja y, por consiguiente, es más probable que el resultado se asignase a lo que reflejase dicha curva, es decir, el efecto no está presente. Si por el contrario, el resultado hubiese sido $x=b$, para ese valor la curva roja se encuentra por encima de la azul. Es más probable que estemos midiendo algo correspondiente a dicha

“Es el Umbral de Decisión lo que corresponde a la mínima cantidad del mesurando que se puede determinar en ese laboratorio.”

curva, es decir, estamos detectando un efecto físico. Pero estas curvas nos permiten saber más. Justamente en el punto de cruce se encuentra el valor $x = x^*$ y para él ambas probabilidades son iguales. Este punto se denomina **Umbral de Decisión o Límite Crítico**. Nótese que x^* define un área en la curva azul denotada por α que no es más que la probabilidad de que aparezca un resultado entre x^* e infinito, cuando estamos midiendo una muestra sin efecto físico. En otras palabras, nos dice que α es la probabilidad de cometer un error de tipo I si afirmamos, cuando aparece como resultado de una medida un valor $x > x^*$, que se trata de un valor asignable a un mesurando, en una muestra en la que el efecto físico no está presente.

En rigor, la definición de umbral de decisión x^* se hace al revés, se determina en un experimento lo que podríamos llamar fondo del equipo, es decir, los resultados que se obtienen de una muestra blanca, una muestra en la que no existe el mesurando que se quiere determinar. A continuación se fija, a priori, el valor de α o, en otras palabras, se especifica la probabilidad de equivocarnos al cometer un error de tipo I. Finalmente, se procede a determinar la coordenada $x=x^*$ para la que el área de la curva a partir de ella sea precisamente α . Matemáticamente, el Umbral de Decisión se define como aquel valor $x=x^*$ tal que fijado un valor de α se verifique:

$$\alpha = \int_{x^*}^{\infty} G(x|0, \sigma_0) dx$$

y el informe final debería incluir además:

Umbral de decisión: $x^* = 6,2$ Bq/g
Límite de detección: $x^* = 12,4$ Bq/g
Valor Guía $V_g = 100$ Bq/g

La precisión en este caso ($k=2$) habría sido:

$$p = 84,2 \times 100 / 677,2 = 12,43\%$$

Error y Exactitud.

Supóngase que se conociese el Valor verdadero y que fuera $x_v = 659,4$ Bq/g

Conociendo el Valor verdadero se puede calcular el error y la precisión.

El **error** cometido habría sido $e = |659,4 - 677,2| = 17,8$ Bq/g

La **exactitud** habría sido $ex = 17,8 \times 100 / 659,4 = 2,70\%$

Error de tipo II.

Si se hubiese afirmado que la muestra blanca no tenía contaminante, $x_{oi} = 0$ se habría cometido en su medida un error de tipo II. (Decir que no existe el contaminante cuando realmente sí lo está).

Las medidas de la muestra con contaminante habrían estado equivocadas al tomar el valor medio de los resultados brutos de medida 746,3 Bq/g como valor neto en vez de 677,2 Bq/g.

Esto habría supuesto un error de $e = |746,3 - 659,4| = 86,9$ Bq/g en vez de 17,8 Bq/g y una exactitud de $ex = 86,9 \times 100 / 659,4 = 13,18\%$ en lugar del 2,70%. Es decir casi cinco veces más.

¿Error o incertidumbre?

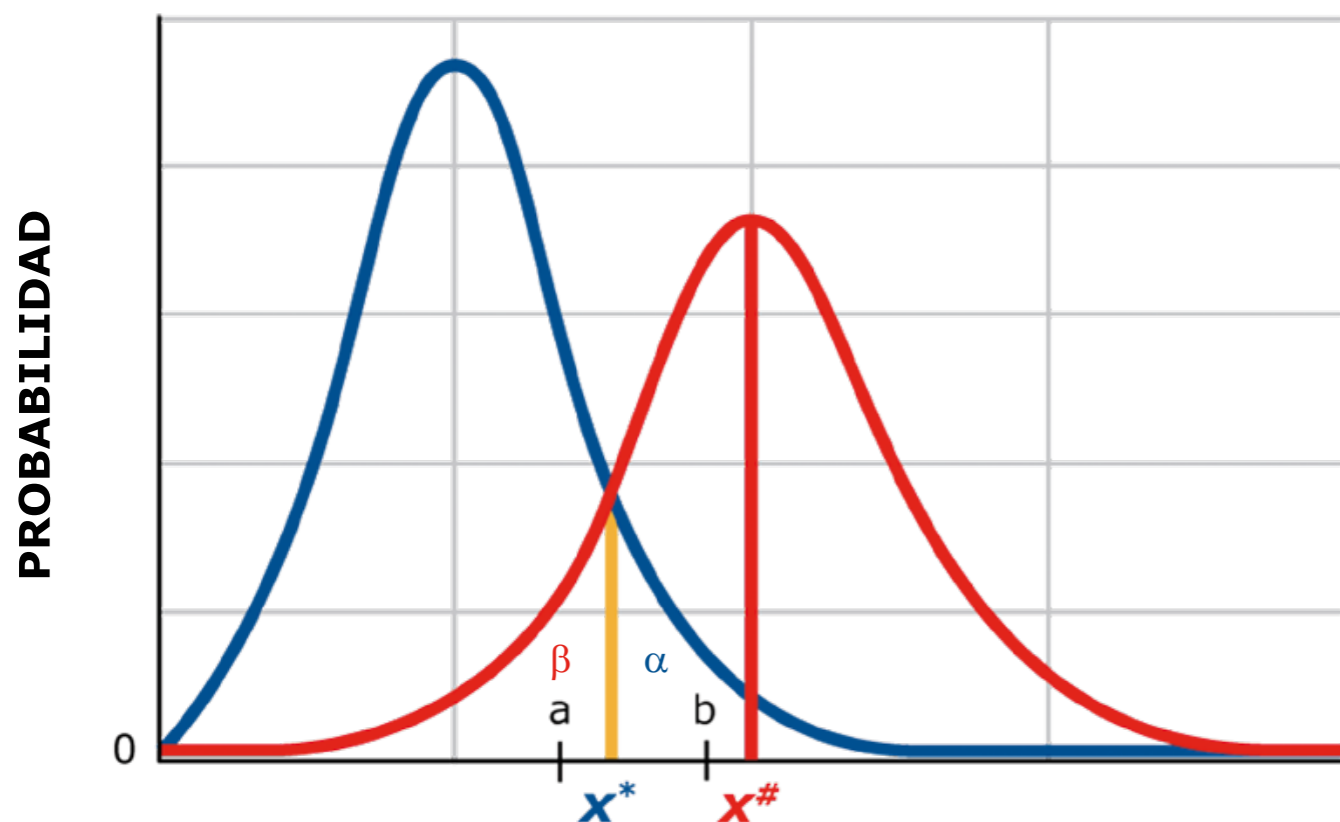
si se refiere a los resultados netos, $\mu=0$. Si no fuese así habría un desplazamiento lineal de las abscisas, x , dado por un valor de μ . Esta ecuación integral no es fácil de resolver y en la práctica real se realiza una serie de aproximaciones para simplificar el cálculo en cada situación concreta. Cálculo en que no vamos a entrar aquí.

El Umbral de Decisión es, por tanto, aquel valor del mesurando, x^* , a partir del cual se puede afirmar que el efecto físico a medir existe realmente con una probabilidad determinada, α , de cometer un error de tipo I. (caso $x=b$ del ejemplo). El Límite de Detección, $x^\#$, es un concepto más sutil. Una vez establecido el Umbral de Decisión x^* se trata de encontrar qué hipotético valor del mesurando $x = x^\#$ debería tener el máximo de una distribución en la que esté presente el mesurando tal que el área de la curva

a la izquierda de x^* sea una probabilidad β fijada de antemano. Matemáticamente es calcular $x^\#$ mediante la ecuación integral:

$$\beta = \int_{-\infty}^{x^*} G(x | x^\#, \sigma) dx$$

que es muy difícil de resolver, por lo que en la práctica se realizan varias aproximaciones entre ellas $\beta=\alpha$. En otras palabras, si afirmásemos que no existe el mesurando ante un resultado comprendido entre $-\infty$ y x^* (caso a de la figura) estaríamos cometiendo un error de tipo II con una probabilidad β . Este área β está dibujada en la figura y no es más que el área existente entre el valor $x = -\infty$ y el Umbral de Decisión $x = x^*$, dado por la curva correspondiente a los datos de medida con muestra (Curva roja). Por definición, el límite de detección, $x^\#$, es mayor que el umbral de decisión, x^* .



Curvas de Gauss normalizadas para las hipotéticas situaciones de un muestra sin mesurando, (curva azul) y con mesurando (curva roja). Están señalados el Umbral de Decisión x^* , el Límite de detección $x^\#$, las áreas α y β y los posibles resultados de medida a y b .

¿Para qué sirven estos límites?. El Umbral de Decisión, x^* , es el que nos indica si un resultado de medida, x , es atribuible o no al mesurando. Si $x > x^*$ sí es atribuible y la probabilidad de equivocarnos, cometiendo un error de tipo I, es α . Si $x < x^*$ el resultado no puede atribuirse al efecto físico, cometiendo un error de tipo II con probabilidad, β . En este caso, sin embargo, no puede concluirse que el efecto físico esté ausente pues lo único que ha ocurrido es que no se ha detectado. La utilidad del Límite de detección, $x^\#$, es asegurar que, cuando es inferior al valor guía, el procedimiento de medida y los equipos utilizados son válidos para la medida del mesurando que se están realizando. Se puede utilizar, también, para comparar equipos y métodos de dos laboratorios de medida. En este caso, el de menor límite de detección es el mejor para esa medida y, también, para comparar nuestros resultados con los valores guía, V_g , impuestos por las normas, las administraciones o el cliente. Por ejemplo, la administración fija las cantidades de los distintos contaminantes que puede contener el agua de bebida. Esos valores son los Valores Guía, V_g , para esos contaminantes. Si nuestro Límite de Detección es superior al valor guía, $x^\# > V_g$, nuestro sistema de detección o nuestros equipos y métodos no son adecuados para esa medida y deben modificarse para poder proceder a efectuarla. Lo más común, en este caso, para rebajar el límite de detección es reducir el fondo del equipo.

Es muy importante insistir en que el límite de detección, $x^\#$, no es la mínima medida o cantidad de ese mesurando que se puede detectar en ese laboratorio. Este límite no se puede utilizar para esta determinación y es una gran equivocación el hacerlo aunque por desgracia el nombre de "límite de detección", que se conserva para esta magnitud por razones históricas, se presta a todo tipo de equivocaciones e interpretaciones incorrectas. Es el Umbral de Decisión, x^* , lo que determina si un mesurando está o no presente y, si lo está, se puede proceder a su determinación y, por lo tanto, es el Umbral de Decisión lo que corresponde a la mínima cantidad del mesurando que se puede determinar en ese laboratorio.

Deseo agradecer finalmente a los profesores J. Alberto Carrión y Santiago Rodríguez y a la Dra. Lourdes Romero la lectura crítica del manuscrito y sus sugerencias que, sin duda, han contribuido a mejorarlo.

Rafael Núñez-Lagos

Miembro del Senatus Científico

Dpto. de Física Teórica

Facultad de Ciencias

Universidad de Zaragoza

Construyendo...
el Espacio Europeo de Educación Superior



¡matricúlate!

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

MÁSTERES

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



BIOLOGÍA OLÍMPICA

POR RUBÉN PEÑA

Es bastante común el error que se comete al pensar que las olimpiadas son las competiciones deportivas que se realizan cada cuatro años. En realidad esas competiciones son los juegos olímpicos y las olimpiadas son la fase de preparación y entrenamiento a que se someten los deportistas para realizar la prueba. Y es, precisamente, en la olimpiada de biología donde se encuentran nuestros estudiantes de 1º y 2º de bachillerato, que han empezado un nuevo curso escolar para adquirir nuevos conocimientos de biología y otras materias.

Uno de los momentos de la prueba práctica de la Olimpiada Iberoamericana de Biología (OIAB) 2009.

*Fotografía proporcionada por el autor



Pruebas de la Fase Nacional.

*Fotografías proporcionadas por el autor



OIAB prueba teórica.

La Olimpiada Internacional de Biología (IBO) tiene una larga tradición a nivel mundial y es una competición anual para estudiantes de bachillerato. La primera tuvo lugar en los años 60 y actualmente participan más de 70 países de los cinco continentes. La sede central se encuentra en Chequia y cada año se celebra en uno de los países asociados. Los alumnos que acceden suelen presentar interés por la biología, creatividad, perseverancia y capacidad de observación.

Al reunir estudiantes brillantes, la IBO intenta desafiar y estimular a esos estudiantes a ampliar sus cualidades y promover su carrera como científicos. La competición también ayuda a mostrar que la Biología es una ciencia bonita y valiosa. Muchos aspectos, como la Etología y la Ecología, enfatizan la importancia de la Biología en la sociedad, especialmente como la preservación de la naturaleza, la Biología molecular -importante en detalles como la transgenia o la clonación con sus aspectos éticos asociados -, la Sistemática que muestra la importancia de la Biodiversidad, etc.

Para España, es bastante reciente su participación en este evento. Todo comenzó hace cinco años, en una de esas conversaciones de cafetería de la que siempre surgen grandes ideas y entusiasmo, cuando le preguntaron a José Luis Barba el motivo de por qué España no partici-

“No mentiría si dijera que, al principio, era mucho miedo lo que se tenía para la realización de esta prueba, ¿responderían los alumnos a la llamada?. Pero las ganas de trabajar y el entusiasmo disminuyeron el miedo al fracaso y nos lanzamos de lleno.”

INTERNACIONAL		
José Bach Hardie	Bronce	Argentina 2006
David López	Bronce	India 2008
Álvaro Lafuente	Bronce	Japón 2009
IBEROAMÉRICA		
Carlos Bravo Pérez	Oro	Gran Canaria 2009
Luis Alberto Martínez Marín	Plata	Brasil 2008
Christian Villena Martín	Plata	Brasil 2008
Araceli Calle Martínez	Plata	Gran Canaria 2009
Aitor García Navarro	Plata	Gran Canaria 2009
Sergio Labrador Marcos	Bronce	Brasil 2008
Israel Salcedo González	Bronce	Brasil 2008

paba en la Olimpiada Internacional de Biología y si sería capaz de lanzar la idea. Y no solo la lanzó sino que junto a Carmen Díaz y a un gran equipo de colaboradores de Las Palmas de Gran Canaria se puso en marcha la Iª Olimpiada Española de Biología en 2006. Gracias a Internet realizó un llamamiento a nivel nacional y aquellos que vimos la oportunidad de difundir la biología entre nuestros alumnos, "picamos", y en la actualidad son todas las comunidades autónomas las que realizan su fase autonómica para seleccionar a sus mejores estudiantes de biología, incluyendo Ceuta, Melilla y los centros españoles en el extranjero. Hay que mencionar, en este aspecto, que las Comunidades Autónomas de Madrid y Valencia ya llevaban unos cuantos años realizando sus fases autonómicas.

Durante estos años hemos conseguido formar un equipo de profesores de secundaria y universidad de todas las comunidades autónomas cuya prioridad es la de difundir, entre los alumnos y la sociedad, la importancia del conocimiento de la Biología.

No mentiría si dijera que, al principio, era mucho miedo lo que se tenía para la realización de esta prueba, ¿responderían los alumnos a la llamada?, ¿apoyarían las diferentes instituciones y organismos la realización de la prueba?, ¿qué tipo de alumnado sería el que participaría?. Pero las ganas de trabajar y el entusiasmo disminuyeron el miedo al fracaso y nos lanzamos de lleno.

Se han realizado muchas evaluaciones externas a nuestros alumnos y hemos leído, o visto en la

“El ambiente que se respira y la cordialidad es tal, durante la prueba, que en ningún momento se observan atisbos de competitividad o rivalidad.”

prensa, que los resultados para España no son muy satisfactorios pero, después de ver a los alumnos que acuden a participar a la Olimpiada de Biología, uno se siente orgulloso de ser docente y tener a unos estudiantes como los que nos han representado en fases internacionales. No sólo no son bichos raros o frikis, como muchos califican a los llamados "empollones",

sino que son chicos y chicas totalmente normales, que estudian y realizan sus actividades extraescolares como cualquier otro estudiante de bachillerato, unidos por su afición a la Biología y que desde el primer día que se conocen en la fase nacional forman un grupo de amigos que parece conocerse de toda la vida. El ambiente que se respira y la cordialidad es tal, durante la prueba, que en ningún momento se observan atisbos de competitividad

o rivalidad, incluso después se establecen lazos de amistad entre ellos y piden volver como colaboradores para realizar la próxima edición.

A pesar de nuestra breve intervención, a nivel internacional, nuestro éxito ha sido francamente bueno. En estos cuatro años de participación hemos conseguido para España una medalla de oro, cuatro medallas de plata y cinco medallas de bronce, de las cuales la correspondiente a Araceli Calle Martínez se vino a Zaragoza.

Desde luego todo esto no hubiera sido posible sin el apoyo de numerosas instituciones y organismos públicos y privados como son la Real Sociedad Española de Historia Natural, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Sociedad Española de Bioquímica y Biología



OIAB prueba práctica.

*Fotografía proporcionada por el autor

Molecular, las diferentes Universidades de todas las comunidades autónomas, los Departamentos y Consejerías de Educación de todas las comunidades autónomas, numerosos ayuntamientos y entidades privadas que patrocinan las diferentes fases de la olimpiada. A todos ellos quiero agradecer desde aquí su colaboración, ya que sin ellos sería imposible la realización de la Olimpiada Española de Biología y su participación en el extranjero.

Lo que más nos cuesta entender a todas las personas que estamos detrás de todo esto es

por qué después de que todas las comunidades autónomas estén implicadas, después de que numerosos organismos e instituciones consideren que merece la pena, después de los éxitos que hemos cosechado con nuestros estudiantes, el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte no reconozca la Olimpiada Española de Biología. No queremos ser más, ni mejores que los físicos, químicos, matemáticos o FP, pero sí considerarnos iguales, ya que todas ellas son disciplinas importantes para el desarrollo intelectual de nuestros alumnos.

Me apena leer un periódico, escuchar la radio o ver la televisión y comprobar que las principales noticias son siempre negativas: crisis, atentados, robos, homicidios, por no hablar de la tele basura. Pero no encuentro ninguna referencia que destaque los logros de nuestros estudiantes, lo cuál creo podría ayudar a motivar al resto. Quiero romper una lanza por nuestros periodistas locales, tanto aragoneses como del resto de comunidades, ya que ellos sí se hacen eco de las virtudes de los alumnos de la tierra, pero desgraciadamente vende más cualquier acto vandálico o cotilleo que elogiar

el buen hacer de nuestros estudiantes. ¿Cómo puede compararse el esfuerzo e inteligencia de un estudiante brillante, demostrándolo a nivel internacional, con el último cotilleo o fichaje del verano?

En 2009 celebramos el bicentenario del nacimiento de Charles Darwin (1809) y los 150 años de la publicación de "El origen de las especies" (1859). Para que no se me enfaden los astrónomos también hay que decir que fue el Año Internacional de la Astronomía, al cumplirse 400 años del uso del telescopio por Galileo.

Me pareció muy correcto que se recordase en febrero de 2009 el bicentenario del nacimiento de Darwin y se hiciese mención de sus logros, pero hubo dos detalles que me dejaron intranquilo. El primero de ellos es que la figura de Darwin eclipsó totalmente a otro gran científico del que también podríamos celebrar el bicentenario de la publicación de su obra "Filosofía Zoológica". Se trata, como no, de Jean Baptista Antoine de Monet, caballero de Lamarck. Sus aportaciones a la teoría evolutiva no fueron tan acertadas como las de Darwin pero también puso su granito de arena. El otro detalle hace referencia a la evolución en sí misma. Está muy bien recordar a Darwin, quién fue y lo que hizo, pero la sociedad ¿realmente conoce la teoría de la evolución?

Desde mi época de estudiante en la Facultad de Biología me interesaba la teoría de la evolución y para mi sorpresa no existía ninguna asignatura específica de evolución. Me explicaron la evolución como un tema dentro de la asignatura de zoología general. Actualmente encontramos que la evolución, base del conocimiento biológico, sigue sin aparecer como asignatura única en casi ninguna de las facultades de Biología de nuestro país. Llevo en la enseñanza pocos años, pero uno de mis retos como biólogo y docente es el de enseñar en qué consiste la teoría de la evolución. Lo primero que hago siempre, antes de empezar el tema, es preguntar qué significa evolución. Para mi desconuelo lo primero que oigo en boca de alumnos de 15 y 16 años es la palabra "progreso". Si hiciésemos la misma pregunta en la calle estoy convencido de que la respuesta sería la misma. Si precisamente la teoría de la evolución tiene tanta importancia es porque nos ha ayudado a comprender cómo ocurren todos los procesos biológicos y ha desbancado de su trono a la especie humana, siendo una más entre todas las especies que existen en la actualidad y que,

de momento, han triunfado en la lucha por la existencia al desarrollar mecanismos y adaptaciones que les permiten sobrevivir. La especie humana no está más evolucionada que una mosca, un alga, un pino, una lombriz o una bacteria. Todos ellos están igual de evolucionados en este momento porque todos sobreviven en las condiciones que les toca vivir. Podemos hablar de diferente grado de desarrollo, pero no de grado evolutivo. Desde la Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE) se está empezando a promover el estudio de la evolu-

“Actualmente encontramos que la evolución, base del conocimiento biológico, sigue sin aparecer como asignatura única en casi ninguna de las facultades de biología de nuestro país.”

ción, no sólo en las facultades sino también en los institutos y en las escuelas de primaria. Se trata tan sólo de que los alumnos, al igual que aprenden las partes de la célula, el teorema de Pitágoras, las reglas de ortografía, las comunidades autónomas o los principales acontecimientos de la historia, sepan en qué consiste la evolución. Dobzhansky dijo que nada tiene sentido en biología si no es bajo el prisma de la evolución, pero yo iría más allá y diría que nada en absoluto tiene sentido si no comprendemos la evolución. Ésta nos responde a preguntas como quiénes somos, por qué estamos aquí, de dónde venimos, por qué somos como somos, por qué existen tantas especies, por qué aparecen y desaparecen las especies, por qué



Entrega de Premios de la fase aragonesa 2010.
Patio de la Infanta, Ibercaja.

*Fotografía proporcionadas por el autor

hay nuevas enfermedades y plagas y cómo podemos combatirlas. Sin que nos demos cuenta, la evolución forma parte de nuestra vida y, valga la redundancia, la biología.

No podemos realizar ningún acto sin que la biología esté por medio. Si por cada pregunta del tipo "tú que eres biólogo debes saber por qué..." que me han hecho me diesen un euro, creo que podría haber dejado de trabajar. Y estas preguntas no sólo trataban de animales o plantas, hablaban de medicina, dietética, fisiología, agricultura, genética. ¡Y ojo si no eres capaz de contestarla! La Biología es una ciencia muy amplia que nos permite conocer y comprender el funcionamiento de la vida y, curiosamente, ¡nosotros somos seres vivos!. Afortunadamente ha aparecido una nueva asignatura en bachillerato, Ciencias para el mundo contemporáneo, en el que todos los alumnos de bachillerato aprenden muchos de los aspectos relativos a la biología: origen de la vida, teoría de la evolución, enfermedades y avances en medicina, genética, biotecnología. Creo que es fundamental que todos los alumnos conozcan estos campos. Pondré algunos ejemplos. Dos de las principales causas de mortalidad son las enfermedades cardiovasculares y el cáncer, pero ¿sabemos cómo se producen? Si saliésemos a la calle y preguntásemos cuáles son las causas que agravan el padecer un ataque al corazón o qué es el cáncer, pocos serían los que responderían correctamente a esta pregunta. Se habla mucho del colesterol, los anuncios de la televisión nos bombardean con la maldad del colesterol. Estoy seguro de que si empezásemos una campaña a favor del colesterol indicando su importancia en las membranas celulares y como precursor de muchas biomoléculas (ácidos biliares, hormonas, vitaminas) importantísimas para el funcionamiento del cuerpo, nos mirarían como bichos raros. El colesterol, así como muchas otras sustancias que están en la lista negra, no son perjudiciales, lo malo es el abuso o deficiencia de los nutrientes que ingerimos. ¡Benditos triglicéridos que nos

proporcionan energía, protección mecánica y aíslan térmicamente!

Las células madre están en pleno debate sobre si es adecuada su utilización. Pero ¿cómo va a poder opinar la opinión pública si no sabe lo que son y cómo actúan las células madre? ¿Qué es la terapia génica?, ¿cómo se obtiene un clon y qué aplicación tiene?, ¿los insectos son muy importantes para nosotros o podríamos vivir sin ellos?, ¿todas las especies de seres vivos son igual de importantes?, ¿y si de una de las especies que están desapareciendo en este momento podríamos obtener el remedio frente a una de las principales enfermedades que nos acosan? El conocimiento nos hace libres y nos permite posicionarnos con un fundamento.

En relación con todo esto quisiera poner un ejemplo, y sirviendo además de homenaje a Darwin, que demuestra que todos los seres vivos estamos ligados por complejas relaciones. Darwin expuso en *El origen de las Especies* que "... la presencia de un gran número de felinos en una comarca puede determinar, mediante la intervención primero de los ratones y luego de las abejas, la frecuencia de ciertas flores en aquella comarca".

Darwin observó que el trébol rojo solo era polinizado por abejorros. El número de abejorros de la comarca dependía del número de ratones de campo, que destruyen sus panales y nidos. Como el número de ratones depende del número de depredadores (gatos) la solución era sencilla: si quiero obtener una abundante plantación de trébol rojo necesito gatos.

El término biología se usó por primera vez en 1800 por Karl Friedrich Burdach para aplicarlo a la totalidad de las ciencias particulares de los fenómenos vitales del hombre. Fue poco después, en 1802, cuando G.R. Treviranus le dio una definición más completa: "la Biología investiga las diversas formas y manifestaciones de la vida, las condiciones y leyes bajo las que

se da tal situación y las causas que la determinan". Nosotros somos seres vivos y estamos rodeados de seres vivos entre los que existen un montón de relaciones directas o indirectas. Influidos en ellos y ellos en nosotros, sería absurdo pretender vivir ajeno a todo ello, por eso animo a todos a aprender cómo funciona la vida, porque nosotros somos vida.

Rubén Peña

Coordinador de la Olimpiada de Biología en Aragón



Equipo español de la OIAB 2009.



FORMACIÓN PARA EL **EMPLEO** Y ENCUENTRO CON LA **EMPRESA**

QUINTO CICLO DE SALIDAS PROFESIONALES DE CIENCIAS 2010

En el quinto ciclo de salidas profesionales de Ciencias, que se está desarrollando a lo largo de 2010, se han combinado dos actividades principales: la organización de mesas de debate por titulaciones y la impartición de cursos de formación especializados. Junto a ellas se han llevado a cabo presentaciones de empresas, de programas de prácticas en empresas y los talleres de empleo que realiza UNIVERSA: "Vías de búsqueda de empleo, carta de presentación y currículum" y "El proceso de selección; entrevista, dinámica y psicotécnicos". Estas actividades se financian mediante un convenio de colaboración con la Consejería de Ciencia, Tecnología y Universidad del Gobierno de Aragón y los programas de mejora de la docencia que convoca la Universidad de Zaragoza anualmente.

POR MARÍA LUISA SARSA

Formación para el empleo y encuentro con la empresa

MESAS DEBATE SOBRE LAS SALIDAS PROFESIONALES DE TITULADOS EN CIENCIAS

Uno de los objetivos de la formación universitaria es la preparación para el ejercicio de actividades profesionales que exijan la aplicación de conocimientos y métodos científicos. Los titulados en carreras científicas enfrentan, en su vida laboral, un continuo proceso de adaptación a un mercado que renueva técnicas y conocimientos a velocidad vertiginosa. Es imposible que la formación académica abarque todos los conocimientos, pero sí debe transmitir esta necesidad de adaptación y de formación continua. Esta tarea lleva consigo un buen conocimiento de las situaciones habituales durante el ejercicio profesional y requiere de una adecuada difusión de perfiles profesionales reales de titulados en Ciencias, especialmente seleccionados sea por su relevancia en el mercado laboral actual o por su proyección hacia el futuro. Mantener un estrecho contacto entre el entorno empresarial y profesional y el ámbito universitario resulta fundamental para garantizar la empleabilidad de nuestros titulados.

La realización de mesas de debate sobre las salidas profesionales de titulados en Ciencias tiene ya una sólida trayectoria en la Facultad,

“Uno de los objetivos de la formación universitaria es la preparación para el ejercicio de actividades profesionales que exijan la aplicación de conocimientos y métodos científicos.”

habiéndose establecido como una actividad de carácter bi-anual realizada en 2006, 2008 y, en su presente edición, 2010. Por estas mesas han pasado un elevado número de profesionales externos al ámbito universitario y han estado representadas las empresas más importantes de nuestro entorno.

En 2010 se están llevando a cabo las mesas correspondientes a las titulaciones de licenciado en Física, licenciado en Matemáticas y diplomado en Estadística, licenciado en Química, licenciado/graduado en Geología, licenciado en Bioquímica/graduado en Biotecnología y diplomado/graduado en Óptica y Optometría. Formando parte de estas mesas, unos 40 profesionales externos, representantes de colegios profesionales y empresarios, acudirán durante 2010 a la Facultad y compartirán con nosotros su visión de la profesión. La respuesta de los estudiantes ha sido muy positiva. Esta actividad proporciona un foro imprescindible en el que, de forma natural, surgen las carencias y fortalezas que la sociedad en general, y la empresa en particular, encuentran en la formación de nuestros titulados. Este tipo de foro proporciona mecanismos de retroalimentación para valorar, tanto a priori como a posteriori, las adaptaciones curriculares que en estos momentos la convergencia al EEES requiere, así como permite informar al mercado laboral de las mismas.

CURSOS DE FORMACIÓN

La Facultad de Ciencias es, entre los diversos Centros de la Universidad de Zaragoza, uno de los más destacados en cuanto a actividad investigadora, actividad que se proyecta en la docencia, haciéndose especial hincapié en actividades de formación relacionadas con la investigación. Sin embargo, resulta imprescindible complementar esta for-

mación “directa” en investigación con otras habilidades y competencias demandadas en el mercado laboral y que no se contemplan de forma específica en las titulaciones oficiales que se imparten en la actualidad. Estas competencias transversales se consideran imprescindibles en el entorno empresarial y están poco desarrolladas en los titulados en carreras científicas, en general, como se desprende de las conclusiones de las mesas-debate sobre salidas profesionales por titulaciones, que se desarrollaron a lo largo de 2006 Y 2008 en la Facultad de Ciencias. Sólo permitiendo un adecuado desarrollo de esas competencias se podrá garantizar una adecuada incorporación de los titulados formados en la Universidad en el entorno industrial, contribuyendo mediante

la aplicación de sus conocimientos a la resolución de problemas concretos y reales del tejido productivo.

En esta línea, dentro de los ciclos de salidas profesionales de Ciencias, se han impartido desde 2007 cursos de formación especializada en este tipo de competencias. En concreto



*Fotografías de la Facultad de Ciencias



Mesa debate sobre salidas profesionales, 2010.

Formación para el empleo y encuentro con la empresa

entre enero y marzo de 2010, dentro del 5º ciclo de salidas profesionales de Ciencias, se han impartido los siguientes cursos:

- **Introducción a la gestión de la I+D+i.**

La situación actual a la que se enfrentan las economías de los países desarrollados exige al sector productivo apostar por la innovación para mantener y garantizar su competitividad y supervivencia. Los responsables de I+D de las empresas son en su mayoría técnicos y científicos que fueron contratados por sus conocimientos y habilidades en su área de formación científico-técnica. Sin embargo, cada vez con mayor frecuencia, se les pide conocer los fundamentos de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación, las herramientas útiles para su gestión y cómo formular proyectos encontrando financiación para su realización. Este curso pretende dar una visión general de la innovación desde el punto de vista teórico y práctico, introducir los conceptos de transferencia y prospectiva tecnológicas, aproximar al alumno al funcionamiento del sistema Ciencia-Tecnología-Universidad, dar a conocer las posibles fuentes de financiación de proyectos y el procedimiento para la solicitud de patentes o creación de empresas de base tecnológica, por ejemplo.

- **Curso básico en Prevención de Riesgos Laborales.**

La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, es la norma legal por la que se determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores, frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una

política coherente, coordinada y eficaz. De acuerdo con el artículo 6 de dicha Ley, serán las normas reglamentarias las que fijarán y concretarán los aspectos más técnicos de las medidas preventivas, a través de normas mínimas que garanticen la adecuada protección de los trabajadores. Resulta imprescindible para incorporarse al mercado laboral ser consciente de la reglamentación actual en esta materia. En este curso se presenta el marco normativo básico sobre prevención de riesgos laborales, su aplicación a lugares de trabajo, a prevención de incendios y planes de emergencia, riesgos eléctricos, etiquetado, manipulación y almacenamiento de productos químicos, higiene industrial, exposición a agentes biológicos, ergonomía y primeros auxilios.

“La respuesta de los alumnos a esta oferta ha superado las expectativas, contando todos los cursos con un número muy elevado de inscritos.”

- **Gestión de recursos humanos.**

Este curso tiene como objetivo que los participantes adquieran, a través del desarrollo y la potenciación de determinadas habilidades y destrezas, los conocimientos y procedimientos necesarios para un correcto ejercicio en la dirección de personas en el marco de un contexto organizacional y empresarial. Esta competencia es cada vez más demandada en la empresa y en el

curso su adquisición se articula a través de varios módulos tratando cuestiones como el liderazgo, las habilidades negociadoras, inteligencia emocional, gestión eficaz de recursos y tiempo, comunicación interpersonal y en público, gestión del estrés, etc.

- **Sistemas de gestión en la empresa: calidad, medioambiente y otros sistemas.**

Un sistema de gestión de la calidad es el conjunto de normas interrelacionadas de una empresa u organización por las cuales se administra de forma ordenada la calidad de la misma, en la búsqueda de la satisfacción de las necesidades y expectativas de sus clientes. Existen unos estándares de gestión de la calidad normalizados, es decir, definidos por un organismo normalizador, como ISO, DIN o EN, que permiten que una empresa, con un sistema de gestión de la calidad, pueda validar su efectividad mediante auditoría de una organización u ente externo. Una de las normas más conocidas y utilizadas a nivel internacional para gestionar la calidad es la norma ISO 9001 (última revisión ISO 9001:2008). También existen normas específicas para determinados sectores o actividades, por ejemplo la norma ISO/IEC 17025:2005, que aplica para el diseño de un sistema de gestión de la calidad en Laboratorios. En ocasiones, dependiendo del tipo de empresa y de la complejidad de su sistema de gestión, se utiliza un sistema integrado para la gestión de la calidad, el medio ambiente (según norma ISO 14001) y la seguridad, (según norma OHSAS 18000). Este curso introduce lo fundamental de estos sistemas con un especial enfoque hacia su implementación en casos prácticos.

La respuesta de los alumnos a esta oferta ha superado las expectativas contando todos los cursos con un número muy elevado de inscritos: entre 30 y 80 alumnos.

Toda la información del 5º ciclo de salidas profesionales de Ciencias está disponible en la página web de la Facultad:

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

María Luisa Sarsa

Vicedecana de Relaciones con Empresas
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza



*Fotografía de la Facultad de Ciencias