



con CIENCIAS.digital

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/22

Nº 22 NOVIEMBRE 2018



CIENCIA, siempre

Nº 22 / NOVIEMBRE 2018

REDACCIÓN

- Dirección:
- Ana Isabel Elduque Palomo
- Subdirección:
- Concepción Aldea Chagoyen
 - Ángel Francés Román
- Diseño gráfico y maquetación:
- Víctor Sola Martínez (www.vicsola.com)

- Comisión de publicación:
- Blanca Bauluz Lázaro
 - Cristina García Yebra
 - Luis Teodoro Oriol Langa
 - María Luisa Sarsa Sarsa
 - María Antonia Zapata Abad

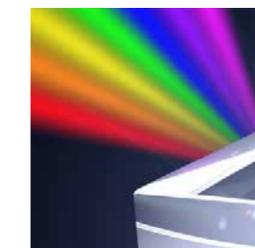
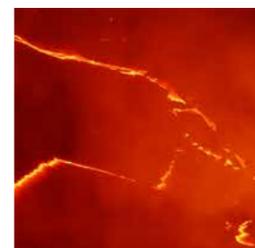
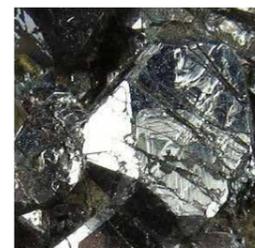
EDITA

Facultad de Ciencias,
 Universidad de Zaragoza.
 Plaza San Francisco, s/n
 50009 Zaragoza
web.ciencias@unizar.es

IMPRESIÓN: GAMBÓN Gráfico, Zaragoza.
 DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08
 ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)
 ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.
 Portada: unsplash.com

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



EDITORIAL	2
LA VERDADERA HISTORIA DE LA Balsa de Piedra	4
Gonzalo Pardo y Concepción Arenas	
TOUMAI: ¿NUESTRO PRIMER ANTEPASADO DIRECTO?	16
Andrés Armendáriz	
ANTONIO DE ULLOA: UN PATRIOTA Y CIENTÍFICO ILUSTRADO POLIFACÉTICO	24
Gabriel Pinto y Manuela Martín	
BIOPSIA VIRTUAL: VER EL CÁNCER INVISIBLE	36
Alberto Jiménez Schuhmacher	
LA CIENCIA EN CRISIS: LOS INVESTIGADORES CONTRA LAS REVISTAS ACADÉMICAS	52
Miguel Ángel Sabadell	
MARÍA ANDREA CASAMAYOR: MATEMÁTICA ILUSTRADA	68
Pedro J. Miana	
UN MUNDO LLENO DE ONDAS	76
Juan Pablo Martínez Jiménez	
NOTICIAS Y ACTIVIDADES	90

CIENCIA, siempre

Hola a todos una vez más. conCIENCIAS ha vuelto con un nuevo número que, como siempre, está lleno de contenidos variados, amenos y rigurosos.

La historia (geológica) de la Península Ibérica es contada en detalle y de forma muy didáctica en el artículo de Gonzalo Pardo y Concha Arenas. No es fácil condensar tantos millones de años en unas páginas y, lo que es más difícil, que apetezca leerlo. Desde el inicio del artículo, 850 millones de años os contemplan. No os lo perdáis.

Siguiendo la línea temporal Andrés Armendáriz nos habla de un posible antepasado. Homínido y homínino no son solo términos técnicos que solo competen a los antropólogos. Es algo imprescindible conocer si queremos entender quiénes somos y de dónde venimos. Lo de hacia dónde vamos será para otra publicación. No sé si Andrés se animará con ella.

Nuestros casi asiduos autores Gabriel Pinto y Manuela Martín se asoman a este número hablándonos de esos escasos científicos de importancia que España ha generado. Antonio de Ulloa no solo vivió imbuido por el espíritu de siglo de las luces sino que aprovechó también los recursos y explotaciones mineras que el Imperio español desarrollaba en América. Si quieres saber algo más del platino, y no te mueve únicamente un amor desmedido por la Química, te lo recomiendo.

Alberto Jiménez Schuhmacher nos sumerge en el proceloso mundo de la investigación contra el cáncer, el conjunto de enfermedades más temido de nuestro tiempo. Cada vez está más claro que, junto a la prevención, la alerta precoz, anterior al diagnóstico, será la mejor arma para combatir los carcinomas. La mejora de las técnicas de detección de mutaciones potencialmente carcinogénicas y su extensión como terapias preventivas son la clave. Si quieres saber más, adelante con el artículo.

Juan Pablo Martínez y las ondas electromagnéticas. Suena esotérico pero no lo es. El campo electromagnético nos rodea en cualquier momento y lugar. A pesar de servir para crear temores entre gentes de escasa formación, Juan Pablo nos deja claro que sin el conocimiento del espectro electromagnético estaríamos a pocos pasos de los monos que todavía no habían bajado de los árboles. Toda, absolutamente toda, la tecnología actual depende del uso que hacemos de él. Si no os lo creéis, leed el artículo y volvamos a hablar.



unsplash.com

Pedro Miana nos descubre en su artículo, con interés y amenidad, otro gran científico español que en este caso es mujer y aragonesa: María Andrea Casamayor. En pleno siglo XVIII escribió un tratado matemático que enseñaba algo que hoy nos parece casi sencillo, aritmética, pero que en aquellos años no lo era tanto. De vez en cuando es reconfortante saber que no hace falta llegar hasta Agustina de Aragón para encontrar un personaje femenino de interés en la historia de nuestra patria chica.

Queremos acabar esta presentación con lo que no puedo dejar de denominar la polémica de nuestro número. Miguel Ángel Sabadell hace un repaso detallado y muy meditado del actual sistema de evaluación de las publicaciones científicas. Cotejar los resultados entre pares es la forma comúnmente aceptada de evaluación y valoración de un artículo antes de ser publicado. Este sistema, aparentemente revestido de imparcialidad máxima, está basado en la absoluta carencia de intereses particulares por parte de los *referees* o censores, a

excepción del continuo progreso del saber y su máxima divulgación. Pero, ¿es esto siempre cierto? ¿Hay intereses espurios que contaminan el sistema? No todo es negro ni está corrompido, pero es quizás ingenuo pensar que los científicos viven en un mundo virginal donde no existen, digamos, otras tentaciones. Al igual que en economía se dice que el *dinero llama a dinero*, en el mundo de las publicaciones muchas veces parece que *papers attract papers*.

Y poco más queda que desearos una feliz lectura y, como siempre, ánimo que todos llevamos un divulgador dentro.



Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS

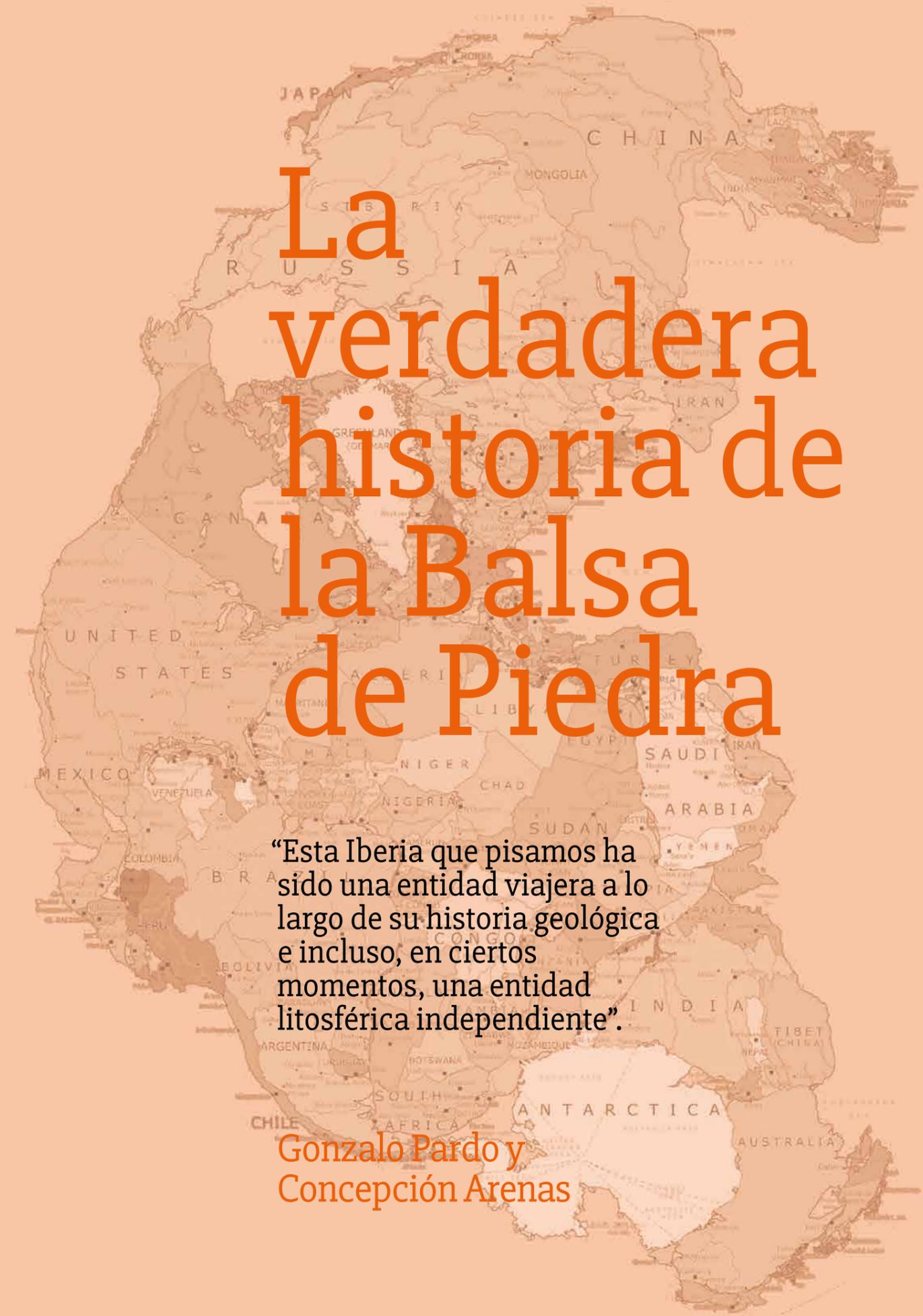


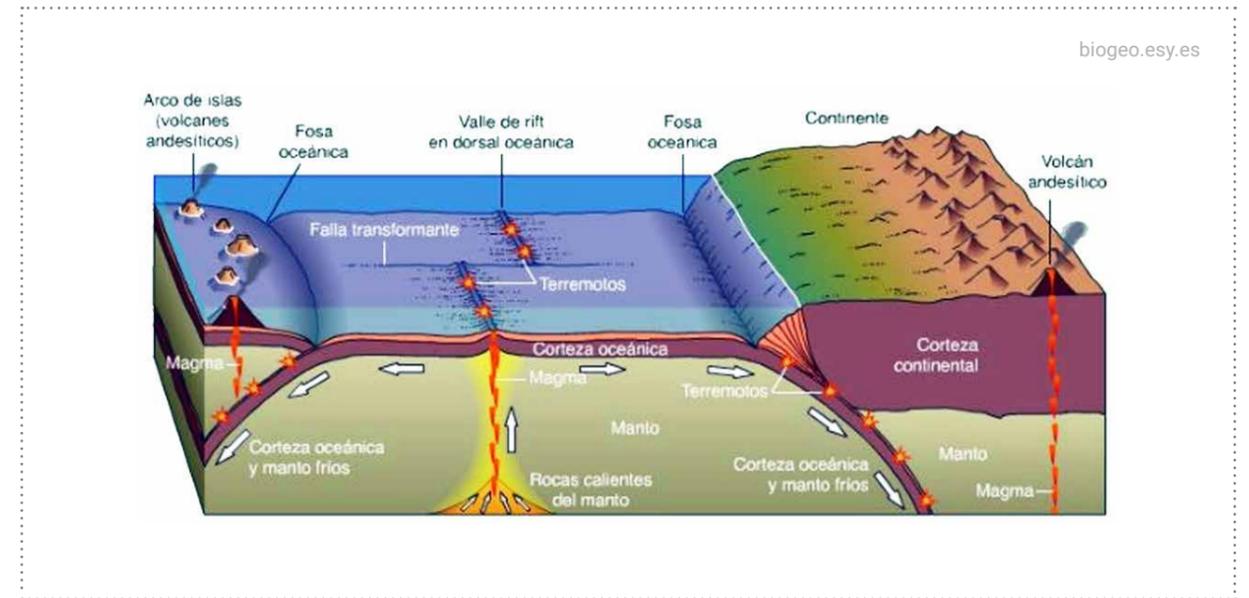
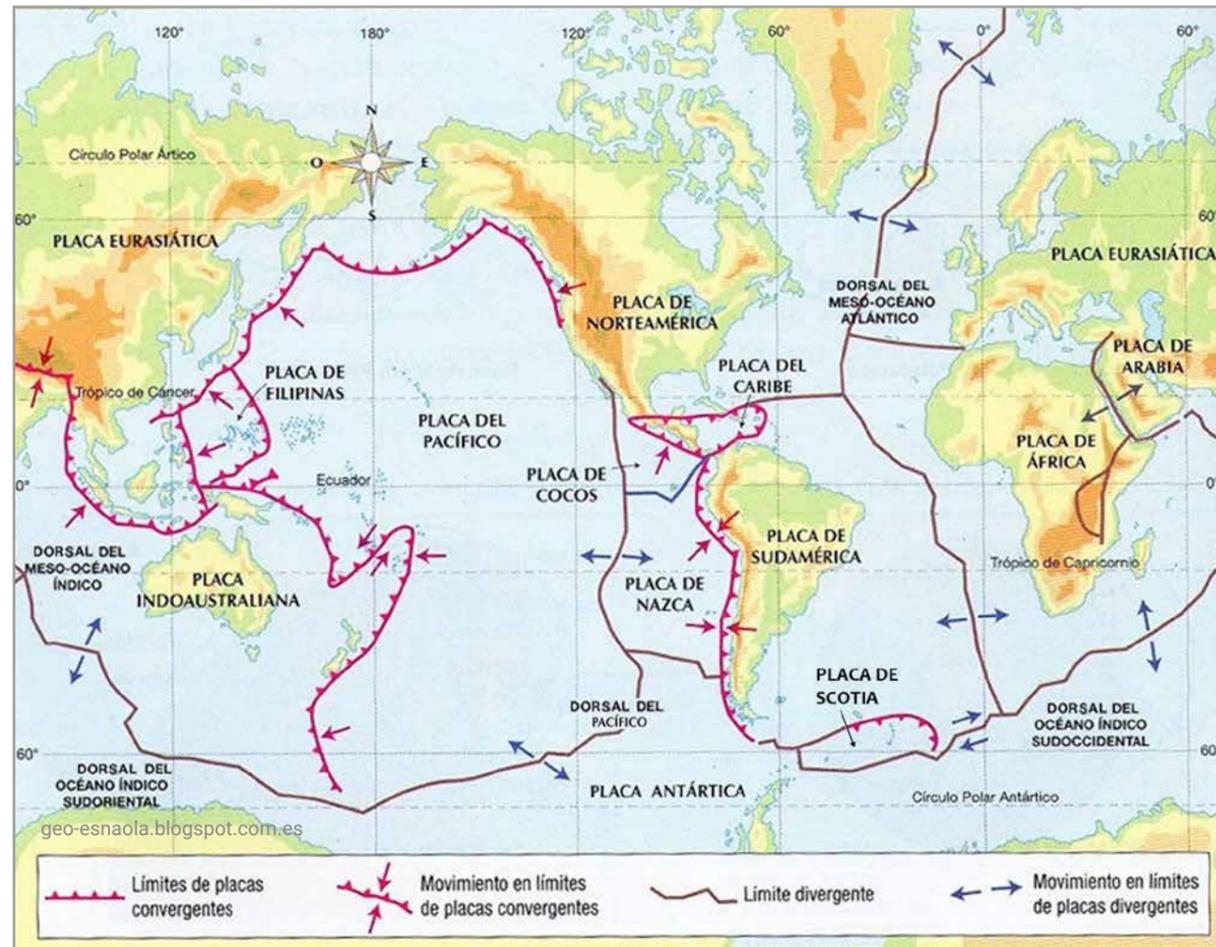
Caliza paleozoica.
Circo de La Larri,
Pirineo oscense.

La verdadera historia de la Balsa de Piedra

“Esta Iberia que pisamos ha sido una entidad viajera a lo largo de su historia geológica e incluso, en ciertos momentos, una entidad litosférica independiente”.

Gonzalo Pardo y
Concepción Arenas





Mapa de las placas litosféricas (izquierda) y creación y consunción de la corteza oceánica, según la Tectónica de Placas (arriba).

En 1986 España y Portugal se incorporaron a la Comunidad Económica Europea. Ese mismo año, José Saramago publicaba una novela con el título de "La Balsa de Piedra" (*A Jangada de Pedra*). La narración, que también se hizo película (George Sluizer, 2002), arranca simbólicamente con la separación de la Península Ibérica de Europa para emprender un viaje a la deriva por el Atlántico. De ese viaje quedaba excluido Gibraltar: la roca permanecía firme en su posición geográfica dentro de la CEE. No sabemos si alguna fuente científica pudo inspirarle tal metáfora a Saramago, pero es cierto que esta Iberia que pisamos ha sido una entidad viajera a lo largo de su historia geológica e incluso, en ciertos momentos, una entidad litosférica independiente, "una balsa de piedra", que en términos geológicos se denomina propiamente *microplaca*.

Como es sabido, la litosfera terrestre está compuesta por un conjunto de placas móviles de diferente tamaño. Las placas incluyen corteza continental y oceánica, como las placas Euroasiática, Africana o Norteamericana, o solo corteza oceánica, como las placas del Pacífico, Cocos o Nazca. Las placas se van renovando, naciendo como corteza oceánica en las dorsales (límites divergentes) y consumiéndose en las fosas oceánicas (límites convergentes, con procesos de subducción). Con esta dinámica, a lo largo del tiempo geológico, hay océanos que nacen y se expanden (como el Atlántico), se contraen y desaparecen. Las masas continentales, menos densas que la corteza oceánica, no se consumen en las fosas. Como consecuencia de la creación de nueva corteza oceánica, continentes que antes eran

una masa única se fragmentan y al contrario, a resultas de la consunción de corteza oceánica, continentes separados se reúnen, dando lugar, en último término, a *supercontinentes*, que se suceden de manera cíclica a lo largo de la historia geológica.

Durante la vida de la Tierra ha habido varios supercontinentes. La historia que conocemos de Iberia nos permite saber que formó parte de dos de estos: en uno precámbrico llamado *Rodinia* (Patria, en ruso), que empezó a desmembrarse hace unos 850 Ma (millones de años), y en el más conocido *Pangea*, del Pérmico, cuya fragmentación empezó hace unos 250 Ma. La ruptura de *Pangea* conduce a la geografía actual: se crearon los océanos Atlántico e Índico, y la masa continental única

se desmembró: de su parte norte, *Laurusia*, nacen Norteamérica y Eurasia y de su parte sur, la antigua *Gondwana* ("Bosque de los Gond" en sánscrito), Sudamérica, África, Antártida, Australia y el casi enteramente sumergido y recién descubierto Zelandia, más la India que emigró hasta colisionar con Eurasia dando lugar a los Himalayas. Es durante este desmembramiento cuando Iberia fue una auténtica "balsa de piedra", una microplaca con movimiento independiente de Europa y de África, como se verá más adelante.

Este artículo, como cada número de la revista de humor "El Jueves", podría tener otros títulos. Por ejemplo, al estilo del recordado Forges: "¡Gensanta, qué país (geológico)!" Porque realmente somos un país complicado debido a nuestra compleja historia geológica. Y nuestra complicada geología conduce a una geografía tortuosa que, junto con la latitud a que nos encontramos, con una circulación atmosférica por demás incierta, dan lugar al variado mosaico de paisajes ibéricos. En este aspecto la Península es como un continente en miniatura, en el que se pasa en pocos kilómetros de los paisajes atlánticos, alpinos o centroeuropeos, al monte mediterráneo y a las estepas. Y si la geografía, hija de la geología, condiciona de forma importante la historia humana, no es de extrañar que la nuestra sea también complicada.

Con los estudiantes hacíamos chanzas disparatadas al respecto de la historia y el remoto pasado geológico: ¿De dónde nace la "vocación" ibérica por África y Sudamérica? De que en el Paleozoico Iberia formaba parte de Gondwana, el gran continente que incluía los dos citados, y de los que éramos vecinos. ¿Y por qué se llevan mal escoceses e ingleses? Porque Escocia proviene de la placa de *Laurentia* (Norteamérica paleozoica), e Inglaterra de la placa de *Avalonia*, desgajada de Gondwana, y para reunir las hubo de cerrarse todo un océano, el *Jápeto* (Iapetus en inglés, tan respetuoso con el latín). ¿Y por qué los pescadores españoles

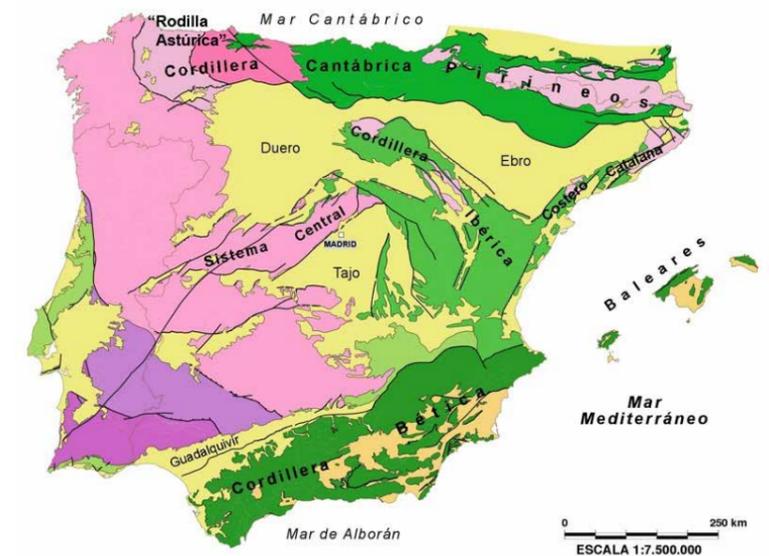
iban a faenar a Terranova (y a sufrir la "guerra" del fletán, allá por 1995)? Porque en los tiempos del supercontinente Pangea Iberia fue vecina de lo que ahora es esa isla, pero cuando empezó a abrirse el Atlántico Norte a partir del Jurásico, hace unos 180 Ma., lo hizo cerca de nuestras costas actuales y lejos de las norteamericanas, y lo que luego sería Canadá se quedó con la mayor extensión de plataformas continentales, los llamados Grand Banks, que es donde prolifera la pesca.

Para relatar esa historia con un mínimo de detalle se hace necesario dar previamente unas pinceladas gruesas de la geología de la Península Ibérica. Para ello empezaremos con una referencia somera a las unidades geológicas que la componen.

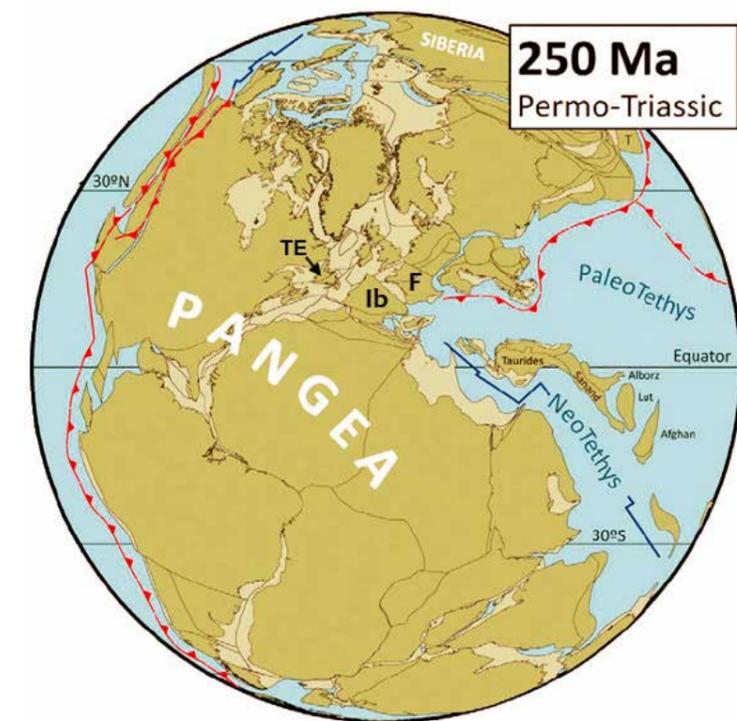
Si vemos un mapa geológico esquemático de la Península, se observa en la parte occidental el predominio de colores rosados y violetas. Corresponden al *Macizo Ibérico*, una unidad antigua formada por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas cuya edad oscila entre los 650 Ma (Proterozoico superior, el Precámbrico más "joven"; no afloran en la Península rocas más antiguas) y los 250 Ma (Pérmico). Sierra Morena, los Montes de Toledo, el Sistema Central, los Montes Galicicos y una parte de la Cordillera Cantábrica pertenecen a esta unidad, que también aflora en el núcleo del Pirineo (en la denominada Zona Axial), así como en las cordilleras Ibérica y Costero Catalana. El Macizo Ibérico es parte de una entidad mayor, la *Cordillera Varisca* formada durante la Orogenia Hercínica en el periodo Carbonífero, hace unos 300 Ma; cordillera que se extendía por Francia, sur de Irlanda e Inglaterra, Alemania y Europa central hasta el Macizo de Bohemia. En ese momento, no solo éramos vecinos de Terranova, también de la actual costa atlántica francesa, de forma que el giro de las estructuras tectónicas del norte del Macizo Ibérico, la conocida "Rodilla Astúrica" (ver figura), tenía su continuidad en el Macizo Armoricano

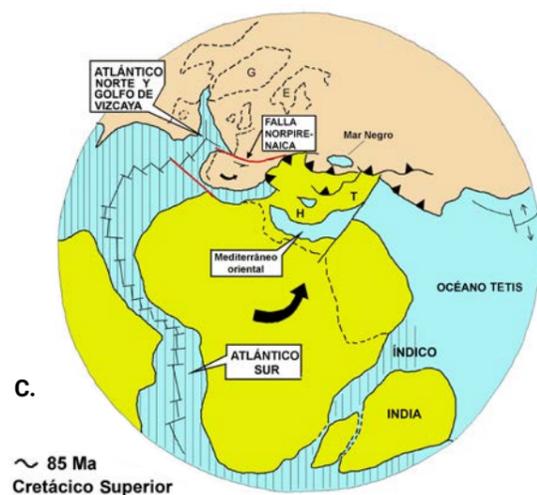
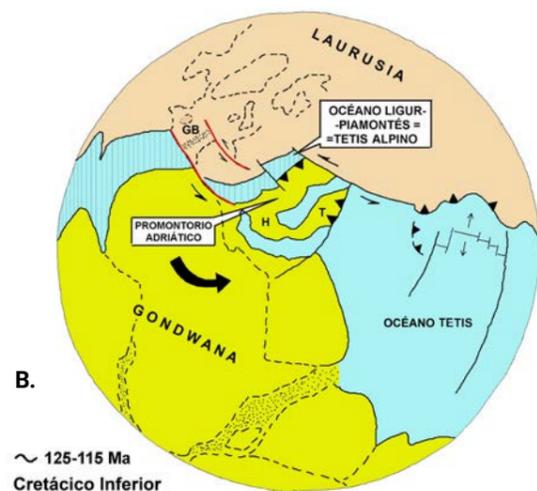
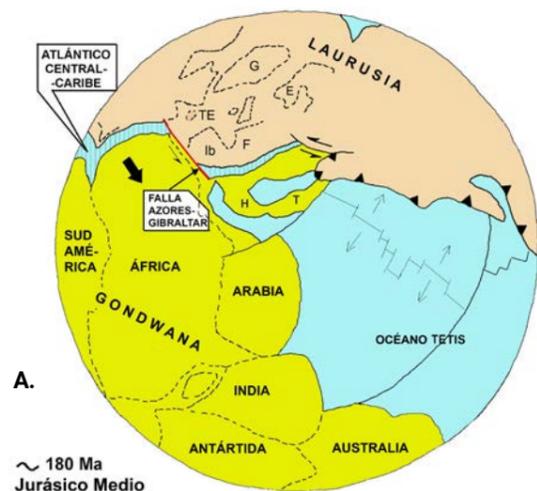
“El Macizo Ibérico es parte de una entidad mayor, la Cordillera Varisca formada durante la Orogenia Hercínica en el periodo Carbonífero, hace unos 300 Ma”.

Esquema geológico de la Península Ibérica y Baleares (arriba) y Paleogeografía global en el Pérmico-Triásico. Siglas: F, Francia; Ib, Iberia; TE, Terranova (abajo).



MACIZO IBÉRICO	CADENAS ALPINAS	CORDILLERA PIRENAICA	CORDILLERA IBÉRICA Y COSTERO-CATALANA
Zona Cantábrica	Cordillera Bética (s.l.)	Cobertera Meso-Cenozoica	Cobertera Meso-Cenozoica
Zona Asturoccidental-Leonesa	Cuencas Cenozoicas	Basamento de la Zona Axial	Basamento Varisco
Zona Centroibérica	Cuencas Cenozoicas	Zona Cantábrica	Cordillera Bética y BALEARES
Zona de Ossa Morena	Cuencas Cenozoicas	Zona Asturoccidental-Leonesa	Cuencas Cenozoicas
Zona Surportuguesa			





Esquema simplificado a partir de Stampfli y Borel, 2002

francés, donde Goscinny y Uderzo sitúan la aldea de Asterix y los irreductibles galos. Por eso es más preciso hablar de "Arco u Oroclinal Ibero-armoricano" (de oros= montaña y clinos= doblar, inclinar, en griego).

Con la Orogenia Hercínica, el Macizo Ibérico, fuertemente plegado, con abundantes intrusiones magmáticas, se cratonizó (se hizo rígido) y desde entonces ya solo pudo fracturarse. Es lo que le ocurrió a partir del Pérmico. Al principio, desde el Pérmico hasta aproximadamente los 85 Ma (Cretácico superior), se vio sometido a esfuerzos extensionales. Estos esfuerzos se debieron a la apertura del Atlántico Central-Caribe, primera etapa del desmembramiento de Pangea. A causa de tal apertura, África se desplazaba hacia el este con respecto a Iberia a favor de la falla de Azores-Gibraltar, y entre Iberia y el Promontorio Adriático (parte de África) se abría el Océano Ligur-Piamontés o Tetis Alpino. Con este contexto tectónico extensivo, en los límites y en el interior del Macizo Ibérico se formaron depresiones delimitadas por fallas normales o de desgarre. Estas depresiones, propiamente hablando *cuencas sedimentarias*, se iban rellenando, en parte por los productos de la erosión del propio Macizo Ibérico, así como por sedimentos de origen marino cuando el mar las invadía durante largos periodos.



A.- Paleogeografía global en el Jurásico Medio. Siglas: H, futuras Helénides; T, futuras montañas Taurus; H y T forman parte del Promontorio Adriático, parte de Gondwana. E, Península Escandinava; F, Francia; G, Groenlandia; Ib, Península Ibérica; TE, Terranova.

B.- Paleogeografía global en el Cretácico Inferior. En punteado, cuencas intracontinentales (rifts) que preludian la apertura de océanos. Siglas: GB, futuros Grand Banks.

C.- Paleogeografía global en el Cretácico superior. La apertura del Atlántico Norte entre Groenlandia y Canadá resultó ser una vía muerta. Hasta el Cenozoico no se abre su trazado actual entre Groenlandia (G) y la Península Escandinava (E).

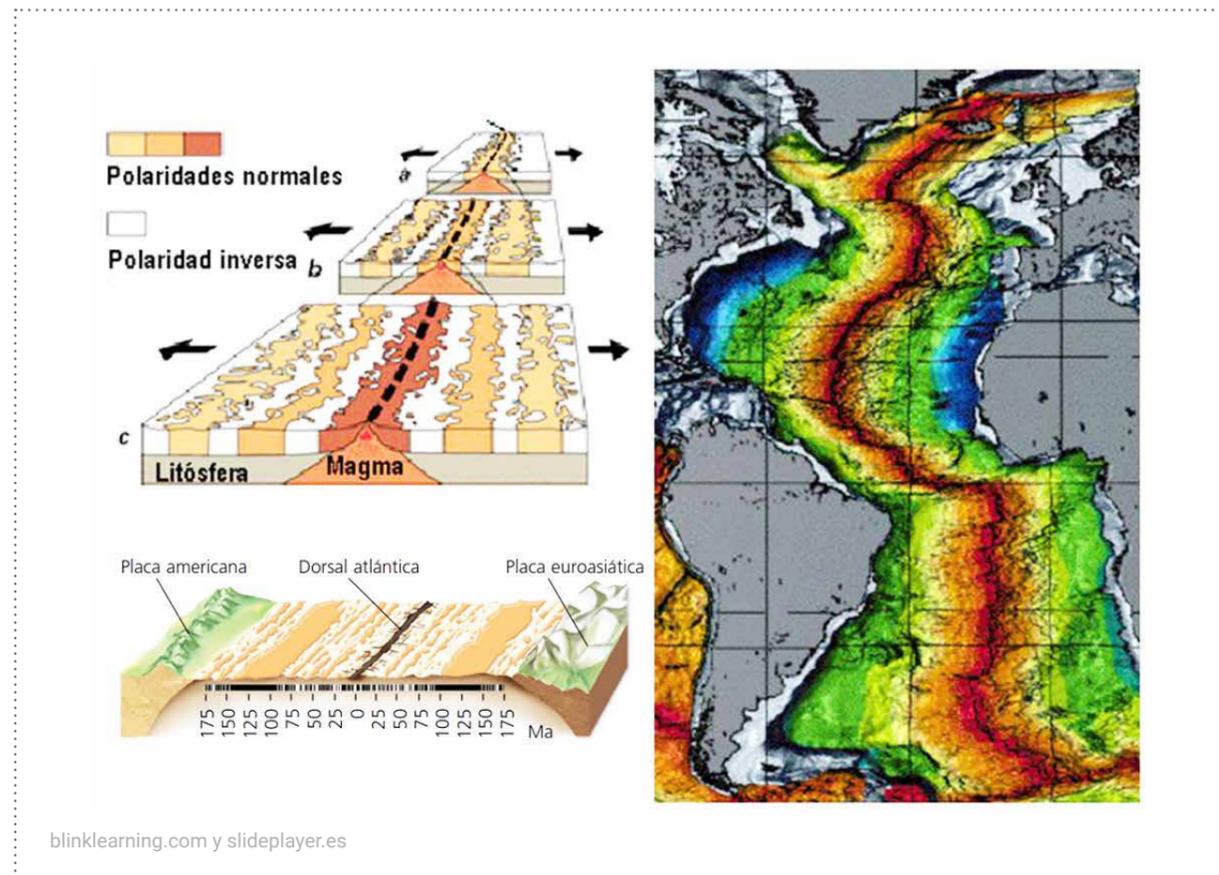
Esta situación persistió durante la mayor parte del Cretácico, mientras se abría el Atlántico Norte frente a las costas portuguesas, separándonos de los, hasta ese momento, vecinos norteamericanos. Y justo entonces fuimos "Balsa de Piedra", porque al norte de Iberia otra falla, la Norpirenaica, nos independizaba de Europa. Imagínese el panorama a cámara rápida: por el sur África se desplazaba hacia el este con respecto a Iberia; por el oeste las costas americanas se perdían en la lejanía, y por el norte Iberia se desplazaba hacia el este con respecto a lo que ahora es Francia. Pero atención, a la vez Iberia giraba unos 35° en sentido antihorario y se creaba el Golfo de Vizcaya (de Gascuña para los franceses), como una prolongación en cuña de la corteza oceánica del Atlántico Norte.

Pero a partir de los 85 Ma los esfuerzos litosféricos sobre Iberia fueron compresivos. Esto fue debido a la apertura acelerada del Atlántico Sur, que hizo girar a África en sentido antihorario al tiempo que la desplazó hacia el norte, comprimiendo mediante su Promontorio Adriático todo el sur de Europa y dando lugar a las cadenas alpinas. En el ámbito del Macizo Ibérico y sus límites, las antiguas fallas normales rejugaron entonces como inversas. A lo largo del Cretácico superior y del Terciario (ahora hay que

Macizo de las tres Sorores (arriba) y Pico de Collarada (abajo). Los Pirineos "que nos separan de Francia" (de nuestras primeras lecciones de Geografía, los límites de España) y nos sueldan a Eurasia.



Imágenes cedidas por los autores.



▲ **Bandas de paleomagnetismo normal e inverso en la corteza oceánica consecuentes al nacimiento de la misma en una dorsal medio oceánica. A la derecha, con distintos colores, un esquema de la edad de la corteza oceánica del Atlántico. La gradación rojo-naranja-amarillo-verde-azul va de más moderno a más antiguo. Nótese el color azul adyacente a la corteza continental únicamente en el Atlántico Central, primero en abrirse.**

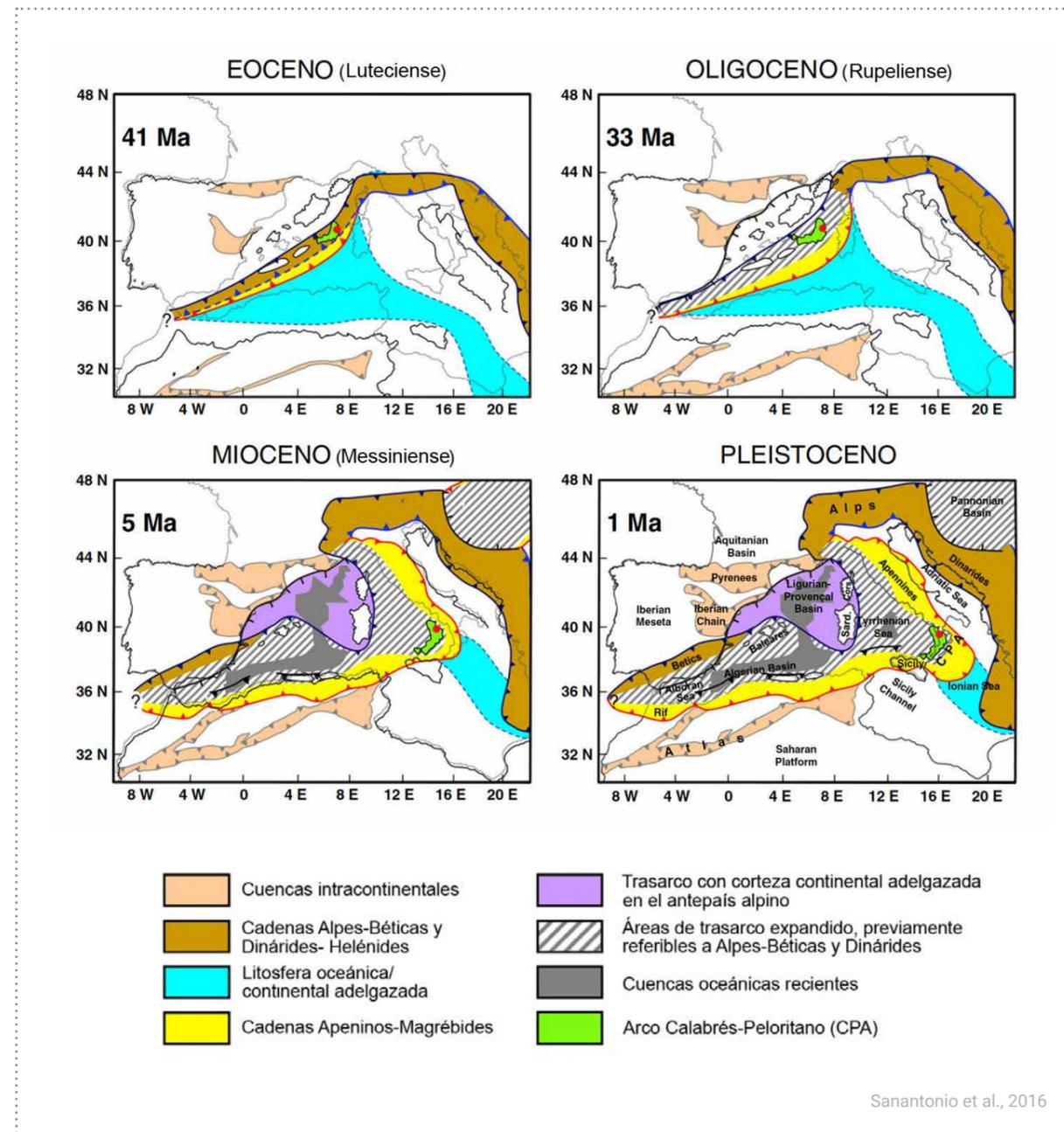
► **Evolución geológica del Mediterráneo Occidental.**

decir Cenozoico), hasta avanzado el Mioceno, se produjo la inversión de las cuencas sedimentarias, cuyos materiales se plegaron y elevaron originando las cadenas alpinas peninsulares: Pirineos, Cordillera Ibérica, Cadenas Costero Catalanas y, por último, la Cordillera Bética, que se prolonga hasta Mallorca. Son los colores verdes del mapa geológico de España de la figura de la página 9.

La creación de los Pirineos es pues consecuencia de la colisión de la microplaca Ibérica con el sur de Eurasia,

a la que quedamos definitivamente anclados. Termina así la verdadera historia de la Balsa de Piedra; ya nunca más derivará Iberia respecto de Eurasia, salvo en el siglo 20 en la imaginación de Saramago quien, por cierto, también devuelve a Iberia a su lugar de partida.

Mientras, el Macizo Ibérico, ante las fuerzas compresivas, volvió a fracturarse con fallas inversas, remozando su relieve especialmente en el Sistema Central y la Cordillera Cantábrica. Pero todos esos relieves alpinos



jóvenes también dejan entre sí amplias áreas relativamente deprimidas, a las que van a parar los productos de la erosión de dichas elevaciones. Se forman así las cuencas cenozoicas del Ebro, Duero, Tajo y Guadalquivir, amén de otras menores, pero numerosas, en el interior de las cadenas Béticas, Ibérica y Costero Catalanas. Son los colores amarillos del mapa de la página 9. Al oeste del Macizo Ibérico, en Portugal, se aprecia también el color amarillo de la cuenca cenozoica del Bajo Tajo, así como una franja verde correspon-

diente a materiales mesozoicos apenas deformados, relacionados con la apertura del Atlántico Norte frente a las costas ibéricas.

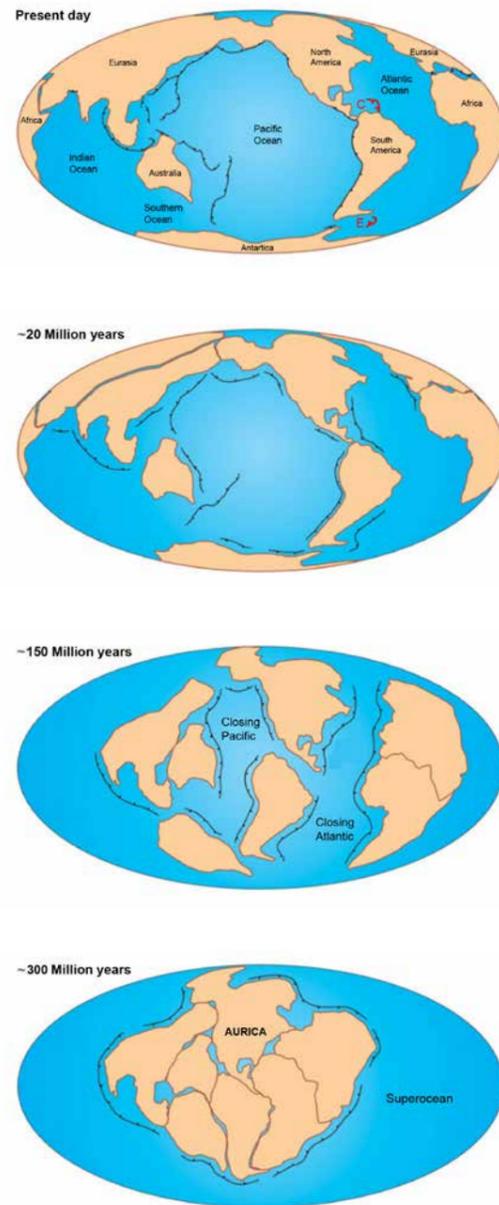
Si el paciente lector se pregunta cómo se han llegado a establecer los grandes rasgos de este capítulo de la historia de la Placa Ibérica y su relación con la creación del Atlántico, la respuesta es: mediante el paleomagnetismo. De forma más específica, del análisis de las bandas magnéticas de la corteza oceánica atlántica, simétricas a

la dorsal medio oceánica y cuya edad, más antigua conforme nos alejamos de ella, es conocida. Ya no hay más que retroceder en el tiempo, “quitando” progresivamente las bandas más modernas y próximas a la dorsal atlántica. Así se va recorriendo el camino inverso, hasta los momentos de iniciación de cada sector del Océano Atlántico.

No se piense, sin embargo, que estamos ante un capítulo cerrado. Siempre quedan cuestiones por matizar y, sobre todo, existe el riesgo de extrapolar, contando exclusivamente con los datos del paleomagnetismo, soluciones a otros aspectos geológicos, en este caso evidentemente relacionados, como es la evolución de cuenca a cadena de los Pirineos... pero pasando por alto muchas evidencias geológicas. Se han publicado así algunos “bellotazos” que no cabe comentar aquí. A las jóvenes generaciones de geólogos les debe quedar la idea de que el paleomagnetismo nos ha proporcionado el paradigma de la Tectónica Global y la posibilidad de reconstruir la paleogeografía del planeta a lo largo del tiempo geológico, pero que la deriva de los continentes, base del paradigma, ya había sido postulada por Wegener (1912) solo con pruebas geológicas ¡y fue rotundamente rechazada en aquel momento por los geofísicos! También hay que recordar los dolores de cabeza de los paleontólogos, que veían necesario un largo tiempo para la evolución biológica, cuando Lord Kelvin calculó, con todo el peso de su autoridad en la Física de entonces, que la edad de la Tierra no podía ser mayor de 100 Ma. ¡Geólogos, no os arruguéis cuando una ciencia “más matemática” contradiga lo que para la vuestra son evidencias!... Pero revisad a fondo vuestros datos.

Para finalizar, el término Placa Ibérica ha salido repetidamente a lo largo de párrafos anteriores. Pero, ¿qué abarcaba esa placa? Pues algo más que la Península actual. Hay que añadir Córcega, Cerdeña, parte de los actuales Apeninos, el Arco Calabrés entre el sur de Italia y Sicilia, las Kabilias argelinas y seguir por el norte de África hasta el Rif marroquí, nada menos. Haciendo otra vez bromas disparatadas, no es raro que la Corona de Aragón abarcase en su momento Nápoles y las islas citadas: no eran más que pedazos del este de Iberia que se habían alejado.

Así pues, ha habido otras “balsas de piedra” en nuestra tormentosa historia geológica, pero esta vez no relacionadas con el Atlántico, sino con el Mediterráneo Occidental, entre Gibraltar y Sicilia. Si resumimos esa historia, viendo la sucesión de paleogeografías de este artículo, el Mediterráneo occidental no es, a diferencia



Elaborado mediante el software GPlates, www.gplates.org C, Placa del Caribe; E, Placa de Escotia

▲
El futuro supercontinente Aurica, según la hipótesis de Duarte et al., (2018).

del Mediterráneo oriental, un residuo del antiguo Tetis (Tethys, si vamos a escribir en inglés), ni del Océano Ligur-Piamontés o Tetis Alpino, creado en el Jurásico y Cretácico, sino un mar más moderno que evoluciona desde los 33 Ma hasta hoy. En este tiempo, la parte oriental de la Placa Ibérica se desligó del resto y migró hacia el este y hacia el sur como consecuencia del progresivo acercamiento de África. Se creó el arco montañoso Apeninos-Magrébides-Béticas, un anillo casi completo que deja pequeño al Oroclinal Ibero-Armoricano. Este arco montañoso, en su progresivo desplazamiento, consume el Tetis Alpino, y detrás del mismo se forman nuevas cuencas marinas (cuencas de *trasarco*) que, en conjunto, forman el Mediterráneo Occidental: el Golfo de Valencia, el Mar de Alborán y las cuencas Argelina, Ligur-Provenzal-Balear, y la del Tirreno, estas tres últimas ya con corteza oceánica.

Y África sigue empujando, moviéndose hacia el norte con respecto a Eurasia. Está predicho que el Mediterráneo desaparecerá en un futuro lejano y que se podrá pasar de África a Europa a pie enjuto. No habrá ya necesidad de pateras para venir a Europa, si aún hay entonces *Homo sapiens* y emigración desde el sur. Aún más, existen hipótesis de cómo se llegará a un nuevo supercontinente. La más reciente es la de Duarte et al. (2018), que sitúan su establecimiento para dentro de unos 300 Ma, a consecuencia del cierre tanto del océano Pacífico como del Atlántico. El Atlántico es, actualmente, un océano en expansión, de márgenes pasivos, pero ya presenta dos áreas con subducción, las placas del Caribe y de Scotia (figura de la página 6), prelude, según estos autores, de la generalización de la subducción a todos sus márgenes. Esa masa continental, con Australia y las Américas en el centro (de ahí que denominen Aurica a tal entidad), quedaría rodeada de un superocéano resultante de la expansión del Índico y del Antártico. ¡Quién pudiera verlo!

Gonzalo Pardo y Concepción Arenas
 Dpto. de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias
 Universidad de Zaragoza

REFERENCIAS

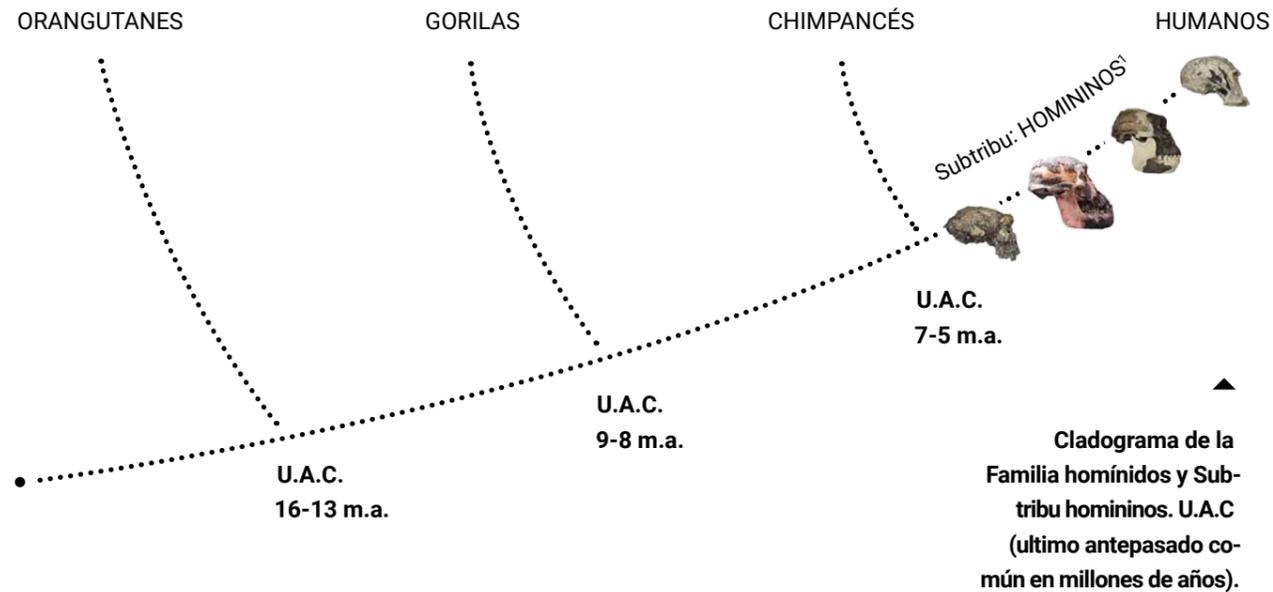
- Duarte, J.C., Schellart, W.P. and Rosas, F.M., 2018. The future of Earth’s oceans: consequences of subduction initiation in the Atlantic and implications for supercontinent formation. *Geological Magazine*, 155: 45.
- Sanantonio, M., Fabbi, S. and Aldega, L., 2016. Mesozoic architecture of a tract of the European-Iberian continental margin: Insights from preserved submarine palaeotopography in the Longobucco Basin (Calabria, Southern Italy). *Sedimentary Geology*, 331: 94.
- Stampfli, G.M. and Borel G.D., 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196: 17.
- Torsvik, T.H. et al., 2012. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Science Reviews*, 114: 325.
- Vera, J.A.(editor principal), 2004. *Geología de España*. Sociedad Geológica de España-Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 884 pp.
- Wegener, A. (1912): Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau*, 3(4): 276.

A high-contrast, black and white close-up photograph of a gorilla's face. The gorilla's eyes are looking slightly to the left, and its mouth is partially open, showing its teeth. The texture of its fur is very detailed.

“Toumai”: ¿nuestro primer antepasado directo?

“Si no un homínido, es casi seguro que Toumai fuese un homínido, es decir un ancestro de orangutanes, o de gorilas, o de chimpancés”.

Andrés Armendáriz



Por Andrés Armendáriz.

En la mañana del 19 de julio de 2001, en el desierto de Djirab al norte del Chad, fueron hallados varios huesos fósiles de una especie extinguida. Su estudio y posterior publicación causarían un gran impacto en la comunidad científica y en los medios de comunicación. La expedición que lo descubrió estaba liderada por el paleontólogo francés Michel Brunet.

Los fósiles encontrados, principalmente un cráneo completo, algunos dientes y fragmentos de mandíbula, fueron presentados a los medios con el nombre coloquial de "Toumai" cuyo significado en la lengua de Chad significa: "Esperanza de vida". Su importancia científica era triple:

- Por ser una nueva especie de homínino.
- Por su cronología: 7 millones de años, convertía al fósil en el homínino más antiguo jamás encontrado.
- Por su geografía: Aparecía en el centro de África (República del Chad) y no en el Este ó el Sur de África, como el resto de los fósiles homíninos descubiertos desde la década de los años 30.

En su condición de especie nueva debía asignársele un nombre científico, Brunet y su equipo propusieron: *Sahelantropus tchadensis* (Brunet, M. et al, 2002).

Pero, ¿quiénes son los homíninos? (antes llamados homínidos). Los homíninos se definen como el grupo zoológico evolutivamente más próximo al ser humano (*Homo sapiens*) que al chimpancé común (*Pan troglodites*), que es nuestro pariente vivo más emparentado a nosotros. Actualmente, se han catalogado unas 28 especies de homíninos (cifras que varían según científicos) todas ellas extinguidas menos nosotros. Este grupo se engloba dentro del nivel taxonómico de *Subtribu*. Y, Toumai sería el más antiguo de todos ellos.

En la actualidad, la familia homínidos la compartimos humanos, orangutanes, gorilas, chimpancés y todos los antepasados comunes a todos ellos.

Por lo tanto, actualmente debemos llamar homíninos y no homínidos a nuestros ancestros más directos. Esta denominación, que ya utilizan los científicos desde unos pocos años, se ha realizado por la evidencia genética comparando el ADN de estas especies de simios y la nuestra.

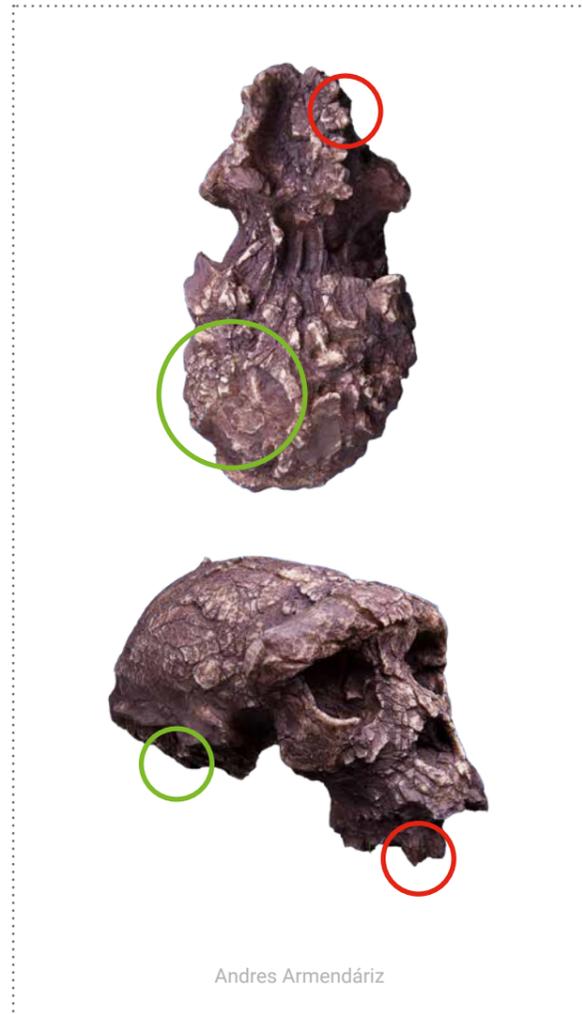
El hallazgo de Toumai suponía además coincidir con lo que el reloj molecular (técnica que establece los intervalos temporales de separación de distintos linajes) proponía para el momento en que vivió el antepasado común de humanos y chimpancés de 7 a 5 millones de años.

Pero ¿Qué rasgos hacen que un fósil sea considerado perteneciente a los homíninos? Los rasgos son dos principalmente:

- Locomoción bípeda: Entiéndase que, en fósiles, se deberán observar los caracteres anatómicos del esqueleto que indudablemente predispongan al organismo a tener la capacidad de la locomoción bípeda. Aproximadamente hay unos 21 caracteres en nuestro esqueleto relacionados con la bipedia. (ver figura página 22).

“¿Cómo eran los caninos de Toumai? Pues eran más bien pequeños, no como los chimpancés, gorilas y otros primates cuyos machos presentan unos caninos muy poderosos”.

1. Homíninos: grupo zoológico que incluye a todos los organismos, vivos o extintos, que están evolutivamente más próximos al ser humano que al chimpancé común. Unas 28 especies, 27 extinguidas.
2. Réplica del cráneo de Toumai en visión de 360°. Fuente Andrés Armendáriz.: <https://twitter.com/aarmendarizsan/status/964440308707680257>



b. Reducción del complejo C³/P₃ (Canino superior-premolar inferior) principalmente en machos. Se trata de la reducción de los caninos de manera considerable y que en nuestra especie es muy visible. Se llaman “caninos incisiformes”, es decir con forma de incisivos.

Pero si de Toumai solo se publicó el hallazgo del cráneo deformado, unos pocos restos mandibulares y algunos dientes. Pues sí, también en el cráneo (en su base) podemos deducir como era su locomoción.

Se trata de observar la posición del agujero que conecta la base del cráneo con la columna vertebral. Este agujero se llama foramen magnum. Toumai (aunque algunos científicos discrepan) presentaba un foramen mágnum adelantado, es decir, su columna vertebral debería ser vertical y por lo tanto tenía capacidad de bipedia. Ya cumplía la primera condición para ser homínino, nos quedaba la segunda, los caninos.

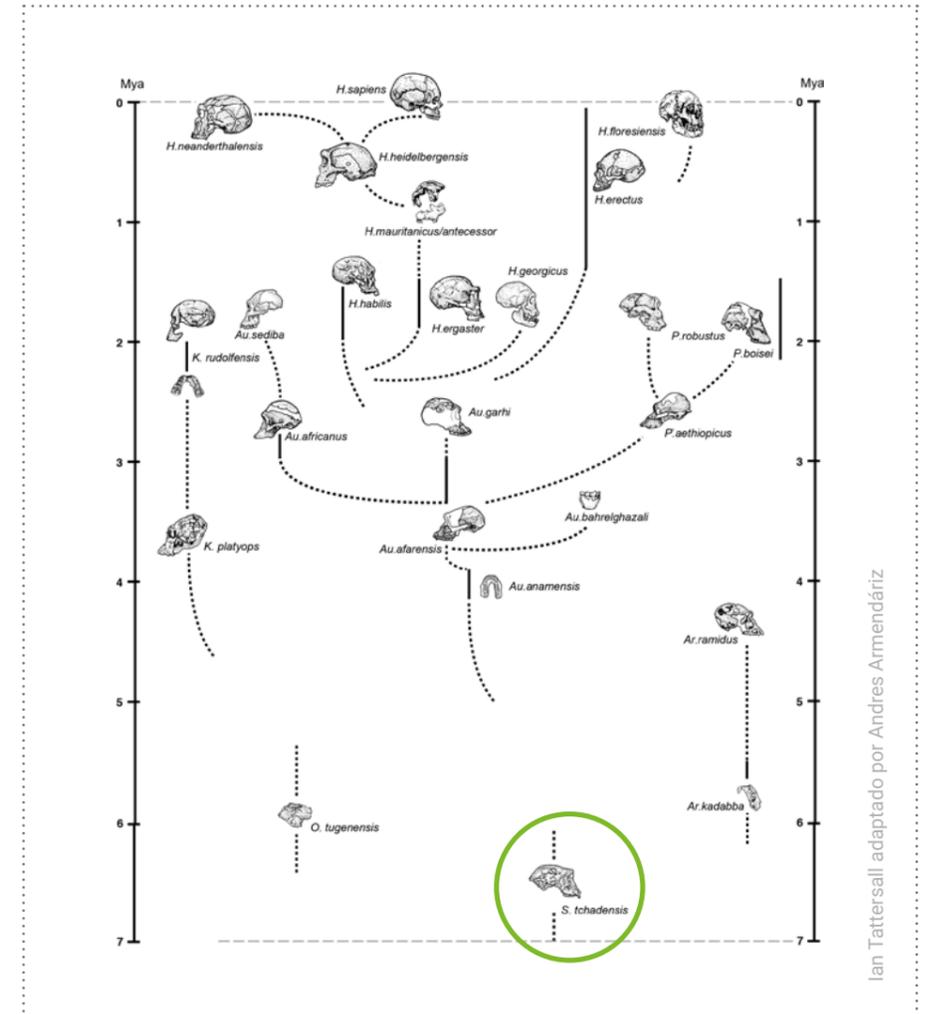
¿Cómo eran los caninos de Toumai? Pues eran más bien pequeños, no como los chimpancés, gorilas y otros primates cuyos machos presentan unos caninos muy poderosos. Además, se observó que el desgaste de estos dientes se producía en la parte apical (la parte que choca con el diente de abajo) y no a lo largo de la corona, desgaste que sí tienen las especies con los caninos grandes (al “afilarse” con el premolar inferior P₃). Pero claro, suponiendo que el cráneo perteneció a un macho (los que presentan caninos grandes) y no a una hembra. Como no hay más que un cráneo, los científicos consideraron a Toumai como un macho con reducción del tamaño de los caninos, “como un buen homínino”. Ya cumplía las dos premisas de homínino que podían observarse en un cráneo.

El cráneo es de aspecto simiesco con unos marcados arcos superciliares (prominencia ósea por encima de los ojos) y una caja craneal baja y alargada con un volumen encefálico de 365 cm³, cifras similares a los chimpancés con unos 400 cm³ en promedio.

En cuanto al hábitat de *S. tchadensis*, parece ser que viviría en zonas mixtas de bosque y sabana abierta con zonas pantanosas y pastos. Conclusiones realizadas a tenor de la fauna encontrada en el yacimiento, fauna mamífera cuyos hábitos de locomoción terrestre obligada y resto de semiarboréa son las que prevalecen (57%) frente a especies exclusivamente arborícolas, apoyando estos datos su inclusión como homínino.

▲ Dos vistas (base y oblicua) del cráneo de Toumai. Se pueden apreciar caninos reducidos (rojo) y foramen mágnum adelantado (verde)².

► **Filogenia de homíninos propuesta por Dr. Ian Tattersall con Toumai (señalado) en la base del linaje.**



Ian Tattersall adaptado por Andres Armendáriz

Con todas estas premisas, el hallazgo era de campeonato. Fue publicado en la revista *Nature* en portada, además este hallazgo desbancaba de la supremacía de homínino más antiguo a otro fósil denominado *Orrorin tugenensis* (Senut et al., 2001) cuya cronología se estima en cerca de los 6 millones de años y que fue publicado en el año 2000 con el sobrenombre de “Milenium Man”.

En los árboles evolutivos bien actualizados, en museos, en muchos libros divulgativos y de prestigio científico, se considera a Toumai como el homínino más antiguo, nuestro antepasado directo más antiguo. También es cierto que el poco registro fósil (hipodigma) de estas primeras especies hace ser muy cauto cuando se habla de las primeras etapas de nuestro linaje.

Las repercusiones científicas y sociales para Brunet fueron impresionantes, incluso se le dio nombre a una calle en su lugar de nacimiento Poitiers.

“En cuanto al hábitat de *S. tchadensis*, parece ser que viviría en zonas mixtas de bosque y sabana abierta con zonas pantanosas y pastos”.

Pero por suerte la Ciencia está en continuo avance y los descubrimientos pueden confirmar o refutar una hipótesis. Y en este caso puede ser así.

El pasado 22 de enero en la misma revista *Nature*, que publicó en portada el hallazgo de Toumai, aparecía un artículo que generaba dudas sobre la condición de homínido de Toumai. Parece ser que, junto a los fósiles publicados (cráneo, dientes y mandíbula), también aparecieron más huesos del esqueleto de Toumai, en concreto un fémur, y que no se sabe por qué Brunet omitió su estudio. Este fémur fue estudiado por Roberto Macchiarelli y Aude Bergeret en el año 2004.

Esta publicación sería uno de los platos fuertes de una reunión de la Sociedad Antropológica de París, a

“En el fémur se pueden observar hasta 4 caracteres relacionados directamente con la bipedia”.

Caracteres óseos relacionados con la bipedia.



COLUMNA

1.- Columna vertebral curvada en S con lordosis lumbar.

2.- Tamaño grande del acetábulo.

3.- Distancia relativa desde la cadera a las articulaciones sacroiliacas pequeña.

4.- Orientación medio lateralmente de las alas iliacas.

5.- Alas iliacas cortas, amplias y curvadas.

6.- Presencia de espina iliaca antero-inferior.

PELVIS

7.- Inclinción de la faceta talar en la parte distal de la tibia.

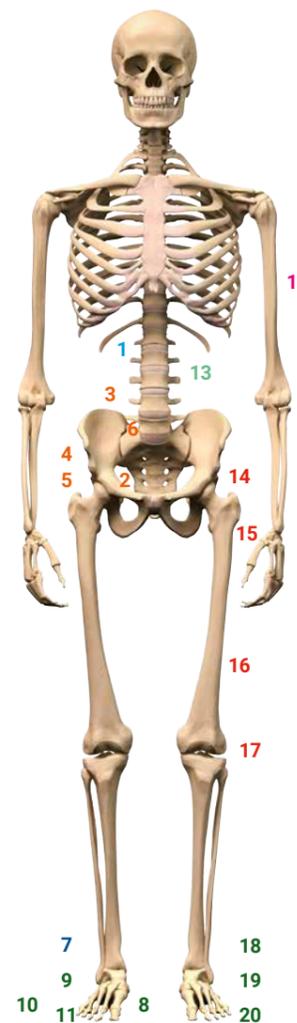
8.- Falanges Planas.

9.- Patrón de robusticidad metatarsial
1 > 5 > 4 > 3 > 2

10.- Longitudes relativas de los dedos II-V: Corta.

PIES

11.- Longitud relativa del tarso larga.



12.- Relación entre brazos y piernas: 71% Bajo.

13.- Tamaño de las vértebras grandes especialmente en las lumbares.

14.- Tamaño grande de la cabeza del fémur.

15.- Distribución ósea cortical en el cuello del fémur: más grueso inferiormente.

16.- Ángulo bicondilar del fémur: 11° (más agudo).

17.- Longitudes relativas de las superficies articulares de los cóndilos del fémur: Cóndilo medial más largo inferior.

18.- Dos tuberosidades plantares en el calcáneo.

19.- Dos arcos longitudinales en los pies.

20.- Dedo gordo alineado con el resto.

EXTREMIDADES

VÉRTEBRAS

FÉMUR

PIES

celebrar a finales de enero en Poitiers. Sin embargo, la organización decidió rechazarlo; 6 de 65 resúmenes de artículos fueron excluidos de “manera imparcial” según los organizadores, entre ellos el análisis del fémur de Toumai.

Esto ha creado grandes suspicacias en la comunidad científica pues el análisis del fémur puede ser clave para conocer el grado de bipedia y, en consecuencia, de ser un homínido por parte de Toumai. Lo único que ha trascendido es que del estudio se sugiere que el fémur dista mucho del encontrado en la especie *Ororin tugenensis*, por lo que habría serias dudas sobre su condición de bípedo y por lo tanto de homínido.

El fémur es el hueso más largo de nuestra pierna, en el mismo se pueden observar hasta 4 caracteres relacionados directamente con la bipedia. Si el fémur ahora estudiado de Toumai tiene alguno de estos caracteres o una combinación de ambos, podría concluirse que esta especie tendría capacidad de bipedia y se confirmaría su posición en nuestro linaje directo, pero ¿Y si no fuera así? Si este fémur confirmara que el animal que lo tenía fuese cuadrúpedo, las implicaciones serían importantes, habría que descartar a Toumai como homínido. La polémica está servida. Debemos esperar la publicación del análisis del fémur y sus conclusiones.

En cualquier caso, si no un homínido, es casi seguro que Toumai fuese un homínido, es decir un ancestro de orangutanes, o de gorilas, o de chimpancés. De hecho, desde la primera publicación, algunos científicos afirmaban que Toumai sería más un antepasado directo de los gorilas que nuestro, es más, algunos llegaron a afirmar que incluso una hembra, de ahí sus caninos pequeños.

Hominino o no, *Sahelanthropus tchadensis* es una especie extinta valiosísima de nuestro linaje, más o menos cercana a nosotros.

REFERENCIAS

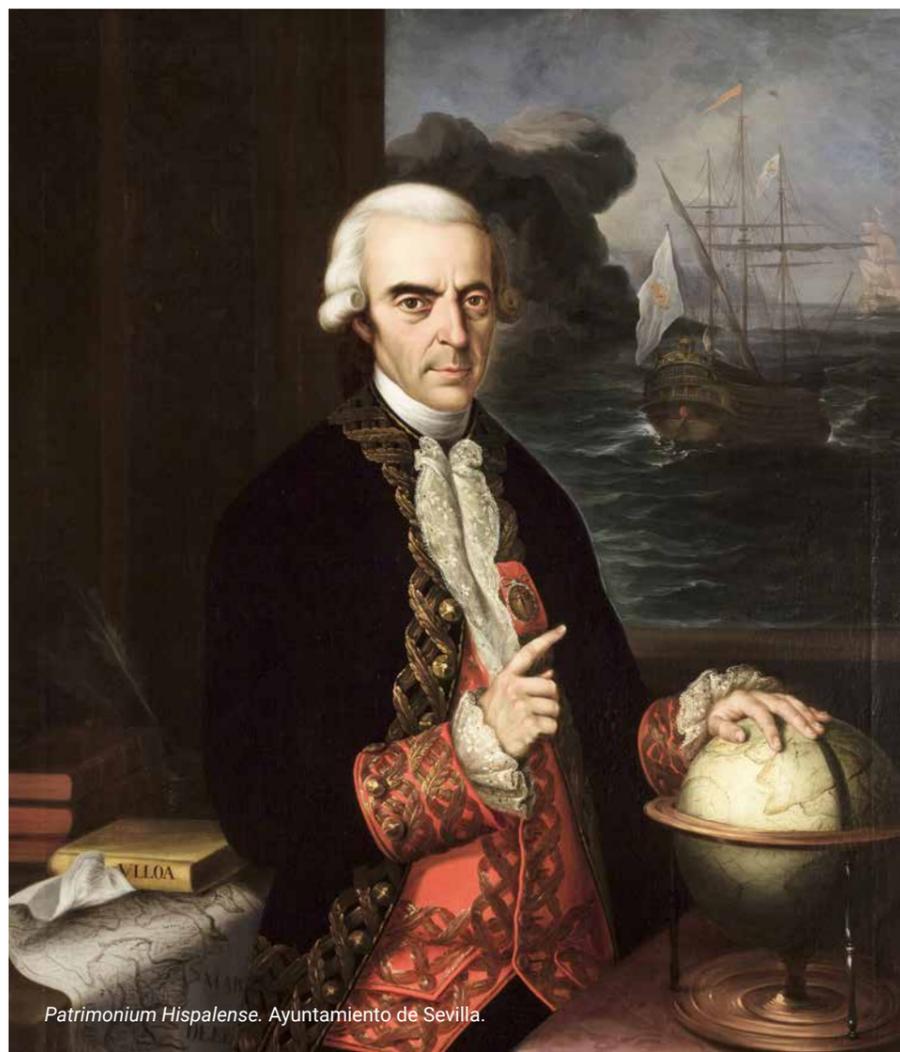
- Brunet, M., Guy, F., Pilbeam, D., et al., (2002). A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa. *Nature* 418, 145–151.
- Callaway, E. (2018). Controversial fémur could belong to ancient human relative. *Nature* 553, 391-392.
- Cela, C.J. y Ayala, F.J. (2013). *Evolución humana. El camino hacia nuestra especie*. Alianza Editorial S.A. Madrid.
- Harcourt-Smith W. E. H. (2007). The Origins of Bipedal Locomotion. In *Handbook of Paleoanthropology Vol. III Phylogeny of Hominids*. Henke W. and Tattersal, I. (ed.) Springer-Verlag Heidelberg 20.
- Rosas, A. (2015). *Los primeros homínidos. Paleontología humana*. C.S.I.C. Los Libros de la catarata. Madrid.
- Senut, B. et al. (2001). First hominid from the Miocene (Lukeino Formation, Kenya). *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences* (332): 137-152.
- Wong, K. (2006). El más antiguo de los homínidos. En: *Monográfico sobre Evolución humana. Temas 44. Investigación y Ciencia*. Barcelona.
- Zollikofer, C.P., Ponce de León, M.S., Lieberman, D.E., et al., (2005). Virtual cranial reconstruction of *Sahelanthropus tchadensis*. *Nature* 434, 755–759.

Andrés Armendáriz
Divulgador científico en Paleontología humana
Miembro del Proyecto Geodivulgar
y Ciencia Sin Barreras
Universidad Complutense de Madrid
twitter.com/aarmendarizsan

“La referencia más destacada a sus aportaciones se suele limitar al ámbito de la Química, por su participación en el descubrimiento del platino. Pero durante su dilatada vida (1716-1795) contribuyó a otros campos científicos y desempeñó importantes tareas en la administración, el ejército y la ingeniería”.

Antonio de Ulloa: un patriota y científico ilustrado polifacético

Gabriel Pinto
y Manuela Martín



Patrimonium Hispalense. Ayuntamiento de Sevilla.



Retrato del Almirante Antonio de Ulloa, pintado por Andrés Cortés y Aguilar.

En este artículo se esboza la vida y obra científica de Antonio de Ulloa. La referencia más destacada a sus aportaciones se suele limitar al ámbito de la Química, por su participación en el descubrimiento del platino. Pero durante su dilatada vida (1716 - 1795) contribuyó a otros campos científicos (Óptica, Geodesia, Minería...), y desempeñó importantes tareas en la administración (como gobernador de Luisiana), el ejército y la ingeniería (dirigió la construcción del Canal de Castilla). Algunos de los aspectos tratados pueden servir de inspiración a docentes de áreas variadas para trabajar con alumnos de diferentes etapas educativas sobre enfoques Ciencia-Tecnología-Sociedad, así como temas de Ciencia e Historia (la Ilustración, Historia de España y Latinoamérica, relaciones entre España y Estados Unidos, sociedades y expediciones científicas, evolución de la Ciencia, etc.).

INTRODUCCIÓN

Lamentablemente, no siempre son suficientemente conocidos ni reconocidos los logros de algunos de nuestros compatriotas que han destacado por su contribución al acervo cultural de la humanidad. Entre otros, podríamos citar de forma destacada a Antonio de Ulloa y de la Torre (Sevilla, 1716 – Isla de León, Cádiz, 1795). Su vida fue apasionante: oficial de marina, matemático, astrónomo, naturalista, ingeniero, escritor..., llegó a ser gobernador de Luisiana, un vasto territorio que tenía un tamaño de cuatro veces el de la España actual, entre otros cargos.

No se dispone de muchos retratos de Antonio de Ulloa. El más conocido, lo realizó Andrés Cortés y Aguilar (Sevilla, 1812 - Sevilla, 1879) seis décadas después del fallecimiento de Ulloa y es propiedad del Ayuntamiento de Sevilla. Existe también una copia de este cuadro en el Museo Naval de Madrid. Aparte de su retrato, se aprecian en el cuadro detalles como un libro escrito por Ulloa, un mapa, un globo terráqueo y un barco. Todos estos fueron aspectos relevantes en su vida, como se indica en los siguientes apartados.

RESEÑA BIOGRÁFICA

Hijo del economista y aristócrata Bernardo de Ulloa y de Sosa (Sevilla, 1682 - Madrid, 1740), Antonio de Ulloa se embarcó con solo 13 años en el galeón San Luis, que realizó una expedición a Cartagena de Indias (actual Colombia) entre 1730 y 1732. En 1735 ingresó en la *Real Academia de Guardiamarinas* de Cádiz, donde se daba formación científica y práctica a los futuros oficiales de la Marina. Ese mismo año fue destinado junto con Jorge Juan y Santacilia (Monforte del Cid, Alicante, 1713 - Madrid, 1773), los dos con el grado de teniente de fragata, para participar en la conocida como *Misión geodésica francesa*, que recorrió tierras de los actuales Colombia, Ecuador, Perú y Chile durante varios años.

En el viaje de retorno, en 1745, fue apresado por piratas ingleses que le llevaron a Londres, donde fue tratado con respeto y se le llegó a nombrar miembro de la *Royal Society*. Al año siguiente, una vez liberado, volvió a España y, ya como capitán de navío, recibió el encargo del rey Fernando VI y su ministro, el Marqués de la Ensenada, de visitar países europeos, como Francia, Holanda, Dinamarca y Suecia, para conocer algunos de los últimos avances científicos y tecnológicos. Bajo la cobertura de pensiones para ampliación de estudios, otros militares,

“Recibió el encargo del rey Fernando VI y su ministro, el Marqués de la Ensenada, de visitar países europeos para conocer algunos de los últimos avances científicos y tecnológicos”.

como Jorge Juan o Tomás Morla, y civiles (como Agustín de Betancourt o Bartolomé de Sureda) realizaron también actividades de espionaje industrial por esa época.

Ulloa volvió a América como gobernador de Huancavelica (Virreinato del Perú) y superintendente de sus minas de cinabrio que permitían la obtención de mercurio. Este metal era de gran importancia para la extracción del oro y, especialmente, de la plata y, por ello, resultaba estratégico en la economía colonial. Anteriormente se transportaba desde Almadén (España). El transporte que seguía el mercurio entre Huancavelica (en el actual Perú) y las minas de plata de Potosí (en la actual Bolivia) era muy complejo para la época.

De ese destino, Ulloa pasó a Cuba, donde diseñó una nueva logística para facilitar el correo marítimo en-



▲
Esquema del transporte del mercurio obtenido en Huancavelica (actual Perú) hasta las minas de plata de Potosí (actual Bolivia), en el siglo XVIII.

entre España (que salía de La Coruña) y Perú, proponiendo la vía de Buenos Aires en vez de La Habana. Cuando España recibió de Francia el territorio de La Luisiana, se le nombró su gobernador, desempeñando el cargo entre 1766 y 1768, cuando fue expulsado por colonos franceses.

Aparte de otros cometidos y cargos, entre 1776 y 1778 organizó la flota del Virreinato de Nueva España. Además, participó en varios conflictos militares, llegando a desempeñar el cargo de director general de la Armada. Toda esta trayectoria política y militar se vio acompañada de una relevante participación en descubrimientos científicos, gestión de distintos ámbitos de la cultura y responsabilidades técnicas, como se trata en los siguientes apartados.

Sus relatos sobre distintas zonas de América supusieron toda una revelación en múltiples campos, desde la naturaleza o minería, al modo de vida de los indígenas. En concreto, fue valiente al manifestar las injusticias

DENOMINACIÓN HABITUAL Y ALGUNOS PARTICIPANTES	FECHA	OBJETIVOS PRINCIPALES
Misión Geodésica Francesa o Hispanofrancesa.	1735-1744	Medida del arco de meridiano para determinar el achatamiento de la Tierra.
Exploración Danesa de Arabia.	1761-1767	Elucidación del Antiguo Testamento.
Expedición Botánica al Virreinato del Perú (Hipólito Ruiz y José Pavón).	1777-1788	Envío de plantas para aclimatar en Europa (inicio del Jardín Botánico de Madrid).
Expedición de Malaspina (Alejandro Malaspina y José de Bustamante).	1789-1794	Político y científico alrededor del mundo.
Expedición Americana de Alexander von Humboldt.	1799-1804	Astronomía, geografía, vulcanología, demografía...
<i>Pacific Fur Company</i> (Compañía Americana de Pieles).	1810-1813	Financiada por John J. Astor. Viajes por mar y por tierra al río Columbia.
Segundo viaje del HMS Beagle (Charles Darwin, entonces un joven naturalista).	1831-1836	Levantamiento hidrográfico para cartas náuticas.
Expedición de "La Recherche".	1838-1840	Estudio de las costas nórdicas (incluida Islandia).
Expedición francesa al río Mekong.	1866-1868	Cartografía y arqueología.

con las que se trataba a estos en algunos casos pero, a su vez, ha sido criticado por cierto desdén con el que se refería a su "desidia" y otros aspectos peyorativos. Ciertamente, la naturaleza del indígena americano fue fuente de importantes controversias en la época y la conquista supuso un gran impacto en su idiosincrasia y costumbres.

Ulloa se casó en Luisiana, en 1767, por poderes, con Francisca Melchora Rosa Ramírez de Laredo y Encalada, de la alta sociedad limeña y 33 años menor que él. Tuvieron nueve hijos de los que seis llegaron a edad adulta.

LA MISIÓN GEODÉSICA

Durante los siglos XVIII y XIX tuvieron lugar importantes expediciones científicas internacionales, como las recogidas en la tabla. Una de las pioneras fue la conocida como *Misión geodésica*, con la que se intentaba resolver una duda que dividía de forma apasionada a los eruditos en el siglo XVIII. Para la mayoría de los

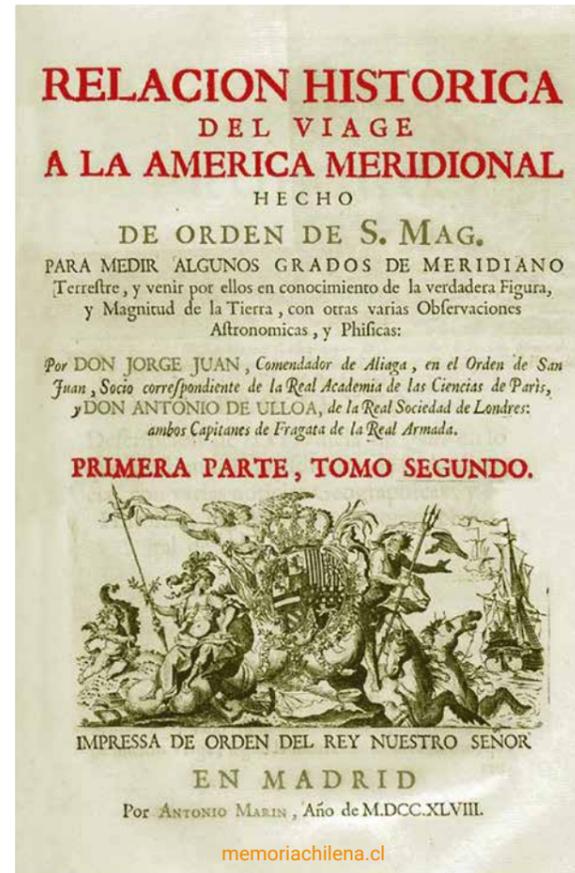
▲
Ejemplos de expediciones científicas emblemáticas de los siglos XVIII y XIX.

“Cuando España recibió de Francia el territorio de La Luisiana, se le nombró su gobernador”.

científicos ingleses la forma de la Tierra era de elipsoide oblató (achatada en los polos), mientras que los franceses pensaban que era del tipo elipsoide prolato. Este dilema, conocido como “naranja o limón” y “sandía o melón”, adquirió tintes nacionalistas y de división entre las dos grandes sociedades científicas de la época, la *Royal Society* (cuyo nombre completo era *Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*, fundada formalmente en 1660) y la *Académie Royale des Sciences* (fundada en París en 1666 con el apoyo de Luis XIV). Para Isaac Newton, según expresaba en su *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687), existía un achatamiento en los polos del orden de 1/230 (es decir, ~0,45%) según la teoría de gravitación universal y la fuerza centrípeta de la Tierra. Ello explicaba además cuestiones como la observación formulada por Richter, de que había que disminuir la longitud del péndulo en Guayana para que un reloj marcara la misma hora que en París. Por otra parte, la teoría de los vórtices, explicada por René Descartes en su *Principia Philosophiæ* y corroborada por medidas del arco del meridiano en Francia por Jacques Cassini (expuestas en su *Traité de la grandeur et la figure de la Terre*, publicado en 1718) y su hijo, establecía lo contrario.

El propio Voltaire hacía alusión a la polémica en sus *Lettres Philosophiques*: “Un Français qui arrive à Londres trouve les choses bien changées en Philosophie comme dans tout le reste. Il a laissé le monde plein; il le trouve vide. À Paris, on voit l’univers composé de tourbillons de matière subtile; à Londres, on ne voit rien de cela. Chez nous, c’est la pression de la Lune qui cause le flux des marées; chez les Anglais, c’est la mer qui gravite vers la Lune [...] À Paris, vous figurez la Terre faite comme un melon, à Londres elle est aplatie des deux côtés.”

El Padre Feijoo, destacado ilustrado español, indicaba: “una observación debajo de la Equinocial quitaría toda duda”. Por ello, la *Académie Royale des Sciences*, con el apoyo de Luis XV, reunió a matemáticos, astrónomos, militares y naturalistas, con idea de hacer dos expediciones para medir la longitud de un grado del arco del meridiano en dos zonas: la región ecuatorial, cerca de Quito, y en Laponia. La primera debía de transcurrir en dominios españoles, por lo que Luis XV solicitó permiso a su tío, Felipe V, rey de España, a lo que este accedió pero con la condición de que participaran también militares españoles. Por eso, junto a científicos franceses, de primer nivel, como los astrónomos Godin, Bouguer y de la Condamine, participaron los jóvenes guardiamarinas Jorge Juan, de 21 años, y Antonio de Ulloa, de 19



Portada de la publicación donde aparece por primera vez la referencia a la platina (hoy platino) como un metal distinto de los conocidos.

“El platino era utilizado de forma aislada ya por los indios precolombinos”.

años. En la expedición próxima al polo norte, dirigida por el matemático francés Maupertuis, participó el sueco Anders Celsius, acompañando a científicos franceses. En cuanto a la medida del arco del meridiano, no fue una tarea rápida pues implicaba recorrer sitios con dificultades orográficas, superar inclemencias climáticas y resolver aspectos administrativos, alternándolo con tareas militares y procediendo con técnicas complejas (medidas astronómicas, topográficas...). La consecuencia final es bien conocida, y se resume en la frase de Voltaire: “la expedición aplastó los polos y a Cassini”.

En el actual Ecuador existe un monumento conmemorativo y parece ser que esa expedición fue inspiradora del nombre que recibió el país cuando alcanzó su independencia y se separó de la Gran Colombia en 1830. Ulloa y Jorge Juan se refirieron a “Las tierras del ecuador” aludiendo a la línea equinoccial en su libro *Noticias Secretas de América*.

DESCUBRIMIENTO DEL PLATINO

Durante la expedición, entre otros descubrimientos, Ulloa se dio cuenta, como describió en el libro publicado en 1848, que en el Partido de Chocó (actual Co-

lombia) “...se hallan minerales, donde la *Platina* (piedra de tanta resistencia, que no es fácil romperla, ni desmenuzarla con la fuerza del golpe sobre el yunque de acero) es causa de que se abandonen; porque ni la calcinación la vence, ni hay arbitrio para extraer el metal, que encierra, sino a expensas de mucho trabajo y costo”.

El platino era utilizado, de forma aislada, ya por los indios precolombinos y era conocido por los españoles, en algunas zonas del Reino de Nueva Granada en el siglo XVI, con el nombre de “platina del Pinto”, en alusión a su parecido a la plata y a su localización cerca del río Pinto (actual Colombia). Pero fue Ulloa quien se dio cuenta de que se trataba de un nuevo metal y no una impureza indeseable del oro y la plata.

El platino es un elemento muy vinculado a España: además de su descubrimiento por Ulloa, se estudió aquí por Louis Proust (1754 - 1826) y François Chavaneau (1754 - 1842), como detalló Rodríguez Mourelo hace más de un siglo en un interesante trabajo que se recoge en la bibliografía. Cabe destacar que es uno de los tres elementos químicos, junto al vanadio y el wolframio, descubiertos por españoles. Pero, además, es el único con nombre y símbolo de etimología española.



Platino.

Para que sirva de ejemplo a mis hijos y posteridad más que por vanidad propia diré en resumen las cosas a que he contribuido en la Monarquía para que se establezcan y perfeccionen debiéndose a mis noticias, influjos y cuidados los fundamentos de los adelantamientos que han llegado hasta el presente:

- Lo primero fue la medición de los grados terrestres con todo lo que de estas operaciones se siguió para la perfección de la geografía, navegación y física terrestre.
- La navegación por los mares del sur y paso por el cabo de Hornos, habiendo dado las instrucciones convenientes para hacerlo con escuadras.
- La disposición para los Arsenales de Marina habiendo dispuesto el proyecto del de Cartagena de acuerdo con Sebastián Jeringan, ingeniero en jefe en el año de mil setecientos cuarenta y nueve que se aprobó por el rey Fernando Sexto, y se ejecutó en consecuencia.
- La perfección de jarcias y lonas, proporcionando de Holanda maestros hábiles para ello en 1750 con otras varias cosas para aligerar y facilitar las maniobras de los navíos.
- El proyecto y ejecución de los canales de navegación y riego en Castilla la Vieja y en León, en 1752.
- La geografía de la Península de España en el mismo año.
- La habilitación de la importante mina de azogues de Almadén hallándose totalmente perdidas las antiguas en el propio año y en el siguiente.
- El primer Entable (sic) del Estudio de la metalurgia teórico y práctico con hábiles sujetos en la facultad.
- El estudio de la cirugía para el servicio de la Armada y habilitación de sujetos hábiles bien instruidos en este arte en 1751.
- La enseñanza y habilitación de relojeros que se enviaron a Ginebra a aprender este arte.
- La de grabadores geógrafos en figura, países y piedras que se cometieron a París para su enseñanza.
- La reforma y perfección de la Imprenta en todas sus partes que son papel, tinta y tipos: siendo la primera obra que se imprimió después de perfeccionada la de mi viaje y observaciones al reino del Perú el 1748 con estampas finas.
- La de las encuadernaciones de libros de todos modos.
- La del establecimiento del gabinete real de Historia Natural habiéndolo principiado en 1752.
- La de las Fábricas de paños con particularidad en Escaray en Navarra y la de Segovia.
- Las primeras reglas, disposiciones y providencias para el gobierno de la provincia de Luisiana y acrecentamiento de su población hasta el término de la conspiración que hubo allí desde 1766 hasta 1768.
- La exploración, reconocimiento y examen de los Países en los Reinos de Nueva España y costas contiguas al Puerto de Veracruz, por el Norte y por el Sur y desde el mismo río Alvarado hasta el puerto de Tampico, con examen de sus montes y madera en el año de 1776 a 1778 y a este respecto otras tantas cosas no de tanta consideración.

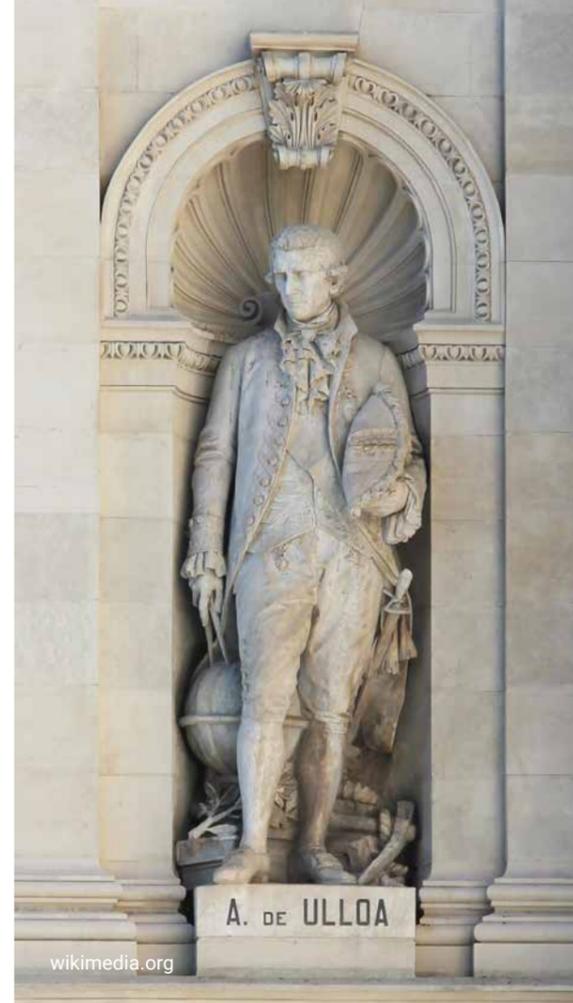
OBRA BIBLIOGRÁFICA Y OTRAS APORTACIONES DE ULLOA

En el texto que Ulloa escribió, a su vuelta de su retención en Inglaterra, también describe otros muchos fenómenos naturales interesantes, como los denominados posteriormente “anillos de Ulloa”. Se trata de un fenómeno óptico, también conocido como “gloria”, producido por luz retrodispersada (se sucede difracción, reflexión y refracción de la luz en gotas de agua) que forma anillos de colores (como los del arco iris, con lo que guarda similitud pero con origen algo diferente), relacionado con los denominados “espectros de Brocken”. Estos son sombras grandes de un observador, proyectadas en superficies superiores de las nubes al otro lado del sol, visibles en laderas de montaña con niebla (como se observó en la montaña alemana de Brocken) o desde aviones.

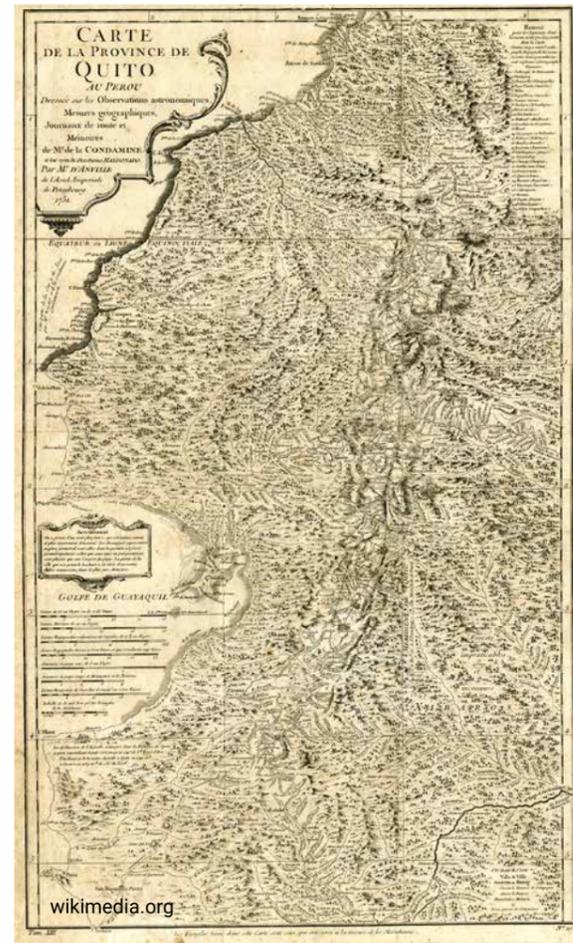
Ulloa publicó unas 40 obras. Afortunadamente, muchas de ellas digitalizadas y en libre acceso. Su lectura permite profundizar sobre la visión que poseía, sobre muchas zonas de Latinoamérica, un erudito español que las visitó y que es un personaje emblemático del pensamiento ilustrado del siglo XVIII. Además, a través de estas obras se puede apreciar una importante contribución realizada en diversos ámbitos de la Ciencia, la Ingeniería y la Armada.

Entre otras contribuciones, como informaciones novedosas sobre la electricidad y el magnetismo (de su amigo William Watson que conoció en Londres), la descripción de las auroras australes (no tan conocidas como boreales) y eclipses, la visualización con microscopio de la circulación sanguínea en colas de peces e insectos o el descubrimiento de fósiles de conchas marinas en los Andes (que consideraba, como otros científicos de la época, una prueba del diluvio universal), hay un buen número que él mismo destaca en su testamento, como se recoge en el recuadro de la izquierda.

◀ **Fragmento de uno de los testamentos de Ulloa, donde se ha respetado la ortografía original.**



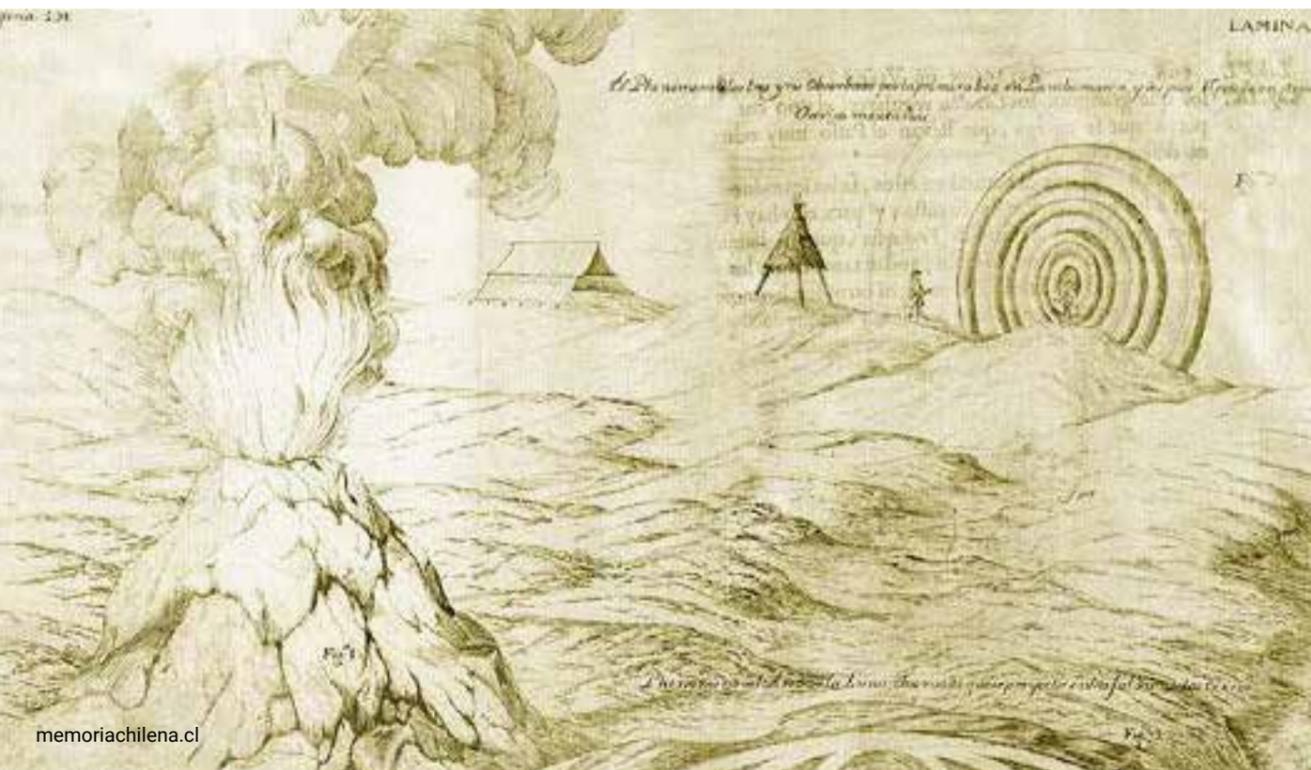
◀ **Escultura en la fachada de la sede del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, en Madrid (izquierda) y carta Geográfica de la Costa Occidental en la Audiencia de Quito (1751), por Pedro Vicente Maldonado (abajo).**



“Ulloa publicó unas 40 obras. Afortunadamente, muchas de ellas digitalizadas y en libre acceso”.

REFERENCIAS

- de Ulloa A. “*Relación de Gobierno del Real de Minas de Huancavelica (1758-1763)*”, Ed. IEP, Instituto de Estudios Peruanos, Lima (2016).
- Ferreiro L. D. “*Measure of the Earth: The Enlightenment Expedition That Reshaped our World*”, Ed. Basic Books, New York (2011).
- Guille J. F. “*Los Tenientes de Navío Jorge Juan y Santacilia y Antonio de Ulloa y de la Torre-Guiral y la Medición del Meridiano*”, Ed. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, Alicante (España) (2008). Accesible en: <http://bit.ly/2vjWRiC>



▲
Ilustración de los hoy conocidos como "Anillos de Ulloa".

Una tarea que tuvo encomendada Ulloa, entre otras muchas como ya se ha citado, fue la dirección del conocido como Canal de Castilla, un canal de navegación y de riego que se planteó como una obra civil innovadora de ingeniería hidráulica. Con antecedentes en el siglo XVI, fue una de las ideas ilustradas que planteó el marqués de la Ensenada, junto con el Canal Imperial de Aragón. El objetivo era facilitar el transporte, principalmente de trigo, desde el interior de España hacia los puertos del norte. Iniciado bajo la dirección de Ulloa en 1753, quedaría obsoleto con el tiempo por la introducción del ferrocarril, pero aún hoy día se mantienen algunos de los canales construidos, regulados por la Confederación Hidrográfica del Duero.

Gran parte de la labor desarrollada por Ulloa se recoge, como tema central o secundario, en diversos museos (como el Naval de Madrid) y en exposiciones temporales. Así, se han realizado recientemente importantes exposiciones con motivo del tercer centenario del nacimiento de Carlos III (en 1716, el mismo año que Ulloa) o del de la creación en 1717 de la Real Academia de Guardiamarinas, que ayudó a convertir el "arte de navegar" en una ciencia.

Entre otras referencias a su obra, se puede destacar la alusión del ya aludido Voltaire sobre "le philosophe militaire Ulloa": "si célèbre par les services qu'il a rendu à la physique, et par l'histoire philosophique de ses voyages". Aunque está en un sitio céntrico y el edificio es de gran majestuosidad, poca gente repara en la escultura de Ulloa, esculpida por José Alcoverro y Amorós en 1899, que se encuentra en la fachada del edificio del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en la plaza de Atocha de Madrid.

En su testamento, ya aludido, Ulloa resume también su filosofía de la vida: "Que mi mujer, hijos y parientes que me sobrevivan le ofrezcan muchas gracias y alabanzas [a Dios] por los singulares beneficios que se ha servido hacerme manteniéndome en el mundo el tiempo de la vida con muchas felicidades y satisfacciones, por haberme sacado de los muchos peligros que he corrido con felicidad, con aires y lucimiento de las persecuciones injustas... Haberme concedido una familia lucida y bastante crecida de hijos que todos manifiestan ser buenos; por haberme dado posibles para criarlos con decencia, instruirlos y educarlos y para dejarles patrimonio razonable con que vivan y se coloquen en carrera correspondiente y útil al soberano y al público; todos los cuales son motivos para alabar y bendecir a nuestro Criador, alejando de la imaginación los motivos de sentimiento en una causa tan natural y tan precisa como la muerte corporal para pasar a la mejor vida."

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo recibido de la Universidad Politécnica de Madrid a través del proyecto de innovación educativa IE1718.0504 (*Chem-Innova*) y de la Fundación Obra Social La Caixa (proyecto *Ciencia y Tecnología al Alcance de Todos*).

Gabriel Pinto y Manuela Martín
Grupo de Innovación Educativa de Didáctica
de la Química,
Universidad Politécnica de Madrid.
Grupo Especializado de Didáctica e Historia
de la Física y la Química,
Reales Sociedades Españolas de Física y de Química.

- Gutiérrez Escudero A. "Entre España e Hispanoamérica: Antonio de Ulloa, un Hombre de su Tiempo. Sus Escritos y Publicaciones". En "Actas del II Centenario de Don Antonio de Ulloa", Ed. CSIC, Sevilla (1995), pp. 257-270.
- Juan J., de Ulloa A. En "Relacion Historica del Viage a la America Meridional Hecho de Orden de S. Mag. Para Medir Algunos Grados de Meridiano Terrestre, y Venir por ellos en Conocimiento de la Verdadera Figura, y Magnitud de la Tierra, con otras varias Observaciones Astronomicas, y Phisicas", Ed. A. Marín, Madrid (1748), Vol. 2, p. 606. Accesible en: <http://bit.ly/2tQd55j>
- Juan J., de Ulloa A. "Noticias Secretas de América", Ed. D. Barry, Londres (1826). Accesible en: <http://bit.ly/2t8mzG1>
- McDonald, D.; Hunt, L. B. "A History of Platinum and its Allied Metals", Ed. Johnson Matthey, Londres (1982).
- Moore, J. P. "Antonio de Ulloa: A Profile of the First Spanish Governor of Louisiana", *Louisiana History. The Journal of the Louisiana Historical Association*, Vol. 8(3), 189-218 (1967).
- Pinto, G. "Antonio de Ulloa and the Discovery of Platinum: An Opportunity to Connect Science and History through a Postage Stamp", *Journal of Chemical Education*, Vol. 94, 970-975 (2017).
- Rodríguez Mourelo, J. "Historia del Platino", *La Ilustración Española y Americana*, Vol. 20, 332-333 (1892).
- Whitaker, A. P. "Antonio de Ulloa", *Hispanic American Historical Review*, Vol. 15 (2), 155-194 (1935).

La sensibilidad de las nuevas técnicas de diagnóstico no invasivo por imagen, combinadas con la especificidad de anticuerpos dirigidos frente a dianas tumorales concretas, identificadas gracias a la revolución de los genomas del cáncer, permiten el desarrollo de herramientas de imagen biomédica equivalentes a hacer el análisis de una biopsia de todo un tumor sin tocarlo, aproximándonos las promesas de la medicina personalizada.

Biopsia virtual: ver el cáncer invisible

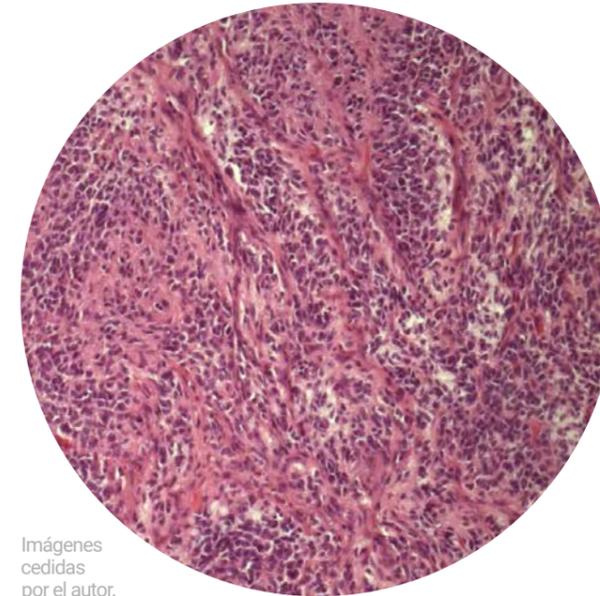
Alberto Jiménez Schuhmacher



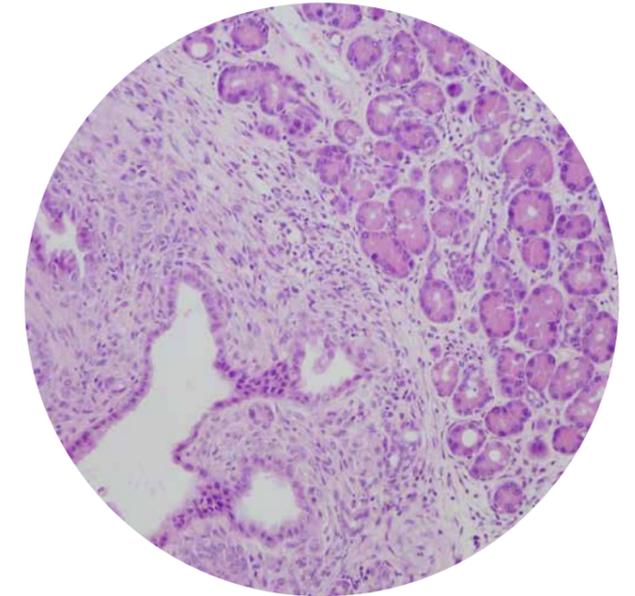
La consulta de un enfermo con su oncólogo hoy es distinta a cómo era hace una década y es muy diferente a cómo será antes de lo que imaginamos. Vivimos una revolución en los laboratorios que hace que percibamos que estamos alcanzando un punto de inflexión en la Guerra contra el Cáncer.

El cáncer, en esencia, es una enfermedad de nuestros genes. Consiste en el crecimiento descontrolado de células que han acumulado daños en el ADN, mutaciones en genes importantes para la división y supervivencia de las células haciéndolas inmortales, egoístas y viajeras.

Todos entendemos que la gripe, el sarampión, el SIDA y el ébola son enfermedades diferentes, con síntomas diferentes y presentan tratamientos distintos pese a ser todas causadas por virus. Del mismo modo debemos entender que el cáncer no es una enfermedad, son más de 200. Tradicionalmente un tumor recibe el nombre en función del lugar donde aparece. Sabemos que no es lo mismo un cáncer de mama que uno de pulmón, uno cerebral o de páncreas. Pero incluso dentro de un mismo órgano, no es lo mismo un cáncer de mama de tipo basal, que luminal o triple negativo. Tampoco son lo mismo uno de pulmón de célula microcítica que un adenocarcinoma de célula no pequeña. Unos tumores responden a tratamientos, otros se estirpan y ya está y, para otros, tenemos que seguir investigando. Por lo tanto, a un tumor debemos ponerle nombre y apellidos.



Imágenes cedidas por el autor.



LA HERÁLDICA DE UN TUMOR

Los cánceres se han clasificado tradicionalmente por su histología, por su forma al microscopio, por el sitio en el que surge, por las células que lo originan y por su capacidad de invadir y esparcirse a otros tejidos y órganos. Estas clasificaciones tienen mucha importancia para los oncólogos y son determinantes a la hora de decidir un tratamiento u otro. Pero el cáncer es una enfermedad de nuestros genes, no basta ya con mirar al microscopio.

El ADN humano, nuestro genoma, ese largo verso que determina nuestra vida consta de 3.000.000.000 de nucleótidos, de bases químicas que forman un alfabeto de 4 letras A, T, C y G (Adenina, Timina, Citosina y Guanina). Para poder leer el primer genoma, todas las letras, se necesitaron más de 10 años y se invirtieron más de 3.000.000.000 de dólares. Hoy somos capaces de leer un genoma en tan solo unas horas y su coste no supera los mil euros y sigue bajando. Hay quien dice que en el futuro será más caro almacenar la información de un genoma que leerlo. Estas mejoras tecnológicas y su abaratamiento nos están permitiendo descifrar el naufragio genómico de los tumores.

Las tecnologías actuales de secuenciación y análisis masivos de parámetros biológicos nos están llevando hacia nuevas clasificaciones, no tanto basadas en



Imagen de histología de un glioblastoma (tumor cerebral) y de adenocarcinoma pancreático ductal. Tinciones de hematoxilina eosina para ver su anatomía microscópica.

la histología, en la forma de un tumor, sino hacia otras formas de clasificar tumores basadas en sus alteraciones moleculares. Estas nuevas clasificaciones moleculares agrupan los tumores en base a las alteraciones genéticas, a aquellos genes que están mutados, sobreexpresados o reprimidos (silenciados) que tanta repercusión tienen en su tratamiento, evolución y respuesta. La heráldica de un tumor por tanto está cambiando. La clasificación de muchos tumores está cambiando no ya hacia la histología sino hacia las alteraciones genéticas concretas que acumulan, en su genoma, las células tu-

morales. Además, esta nueva mirada humana hacia los genomas de un tumor nos está descubriendo que los tumores son más heterogéneos de lo que pensábamos.

De la clasificación histológica tradicional estamos pasando a la clasificación molecular, complementaria, no excluyente, y por fin empezamos a comprender por qué dos tumores aparentemente similares al microscopio responden de forma tan diferente a algunos tratamientos.

Las tecnologías de secuenciación de ADN son cada vez más sensibles y accesibles económicamente. Actualmente ya podemos leer el ADN liberado por las células de un tumor al torrente sanguíneo, lo que conocemos como biopsia líquida. En poco tiempo estas técnicas serán más sensibles para detectar tumores que las tradicionales técnicas de cribado como la mamografía o colonoscopia. Hay quien cuenta que ya lo son. En un tiempo no muy lejano, cuando baje un poco el precio y se estandarice su uso en la clínica, analizaremos el ADN y las células liberadas por un tumor en un sencillo análisis de sangre. Dispondremos de tantos datos de pacientes que podremos comparar nuestros perfiles genéticos en bases de datos. Pero, aunque las mutaciones y otras alteraciones de ese ADN tumoral leído en una biopsia líquida nos dará pistas de su localización, deberemos encontrarlos.

LA DETECCIÓN DEL CÁNCER

Un tumor, dependiendo de su localización y malignidad, puede dar unos síntomas u otros. Cuando hay sospecha de que un paciente puede tener un tumor, en muchos casos se realiza una prueba de imagen no invasiva. La imagen biomédica consiste en fotografías que ayudan a los médicos a tomar decisiones. Por ejemplo, una fotografía de rayos X, una radiografía, nos dice si un hueso está roto. Una ecografía, una fotografía de ultrasonidos nos desvela el sexo de un bebé, si se encuentra bien. Las ecografías y las radiografías, así como algunas variantes como son las mamografías, también pueden ayudarnos a detectar tumores.

Las principales pruebas de imagen no invasiva que se usan en la detección de tumores son la tomografía axial computerizada, la resonancia magnética nuclear y la tomografía por emisión de positrones. A menudo los llamamos *escáneres*, pero cada uno tiene sus peculiaridades y se emplean para detectar tumores diferentes y nos proporcionan información muy distinta.

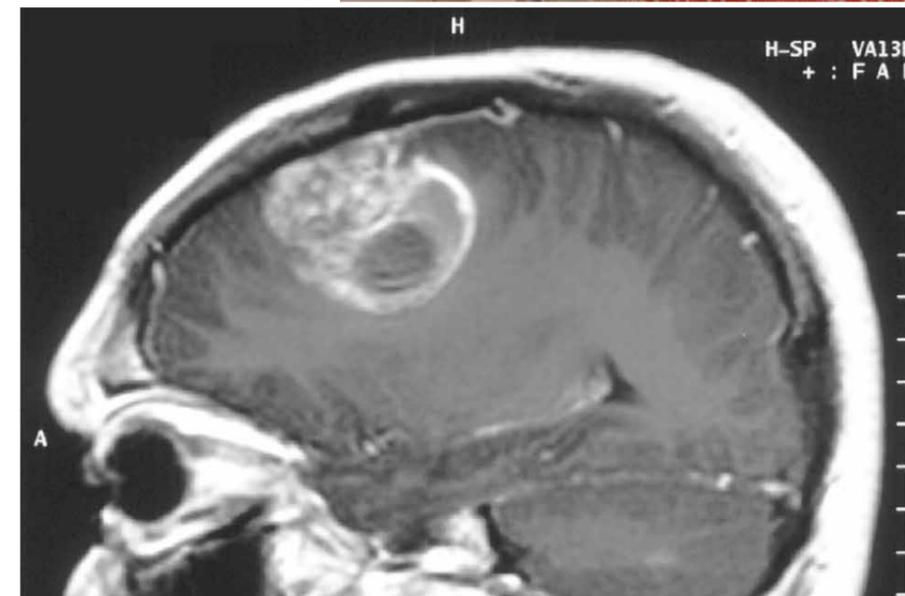
La tomografía axial computerizada, el famoso TAC, se trata de una técnica que combina la tecnología de los rayos X con el cálculo. Consiste en la generación de una imagen tridimensional que se obtiene tras la adquisición de miles de "radiografías" desde distintos ángulos y empleando un ordenador que permite reconstruirla a partir de cientos de planos superpuestos y entrecruzados. De esta "radiografía en 3D" podemos obtener imágenes seccionales, "cortes" muy precisos. Es una técnica muy sensible y que permite además emplear contrastes capaces de atenuar los rayos X consiguiendo que destaquen positiva o negativamente las estructuras del entorno. Esta técnica puede revelarnos detalles anatómicos pero no funciona muy bien en tejidos blandos.

La resonancia magnética nuclear no usa radiación ionizante como el TAC, detecta otras propiedades físicas de nuestros átomos. Para ello emplea campos magnéticos potentes con el fin de alinear la magnetización nuclear de átomos, generalmente de hidrógeno, ubicados en las moléculas del agua del cuerpo del paciente. Mediante campos de radiofrecuencia se altera sistemáticamente el alineamiento de esa magnetización causando que los núcleos de hidrógeno produzcan un campo magnético rotacional detectable por el escáner. Unas propiedades físicas tal vez complejas de explicar en unas líneas pero que nos

▶
Escáner de tomografía por emisión de positrones.



wikimedia.org

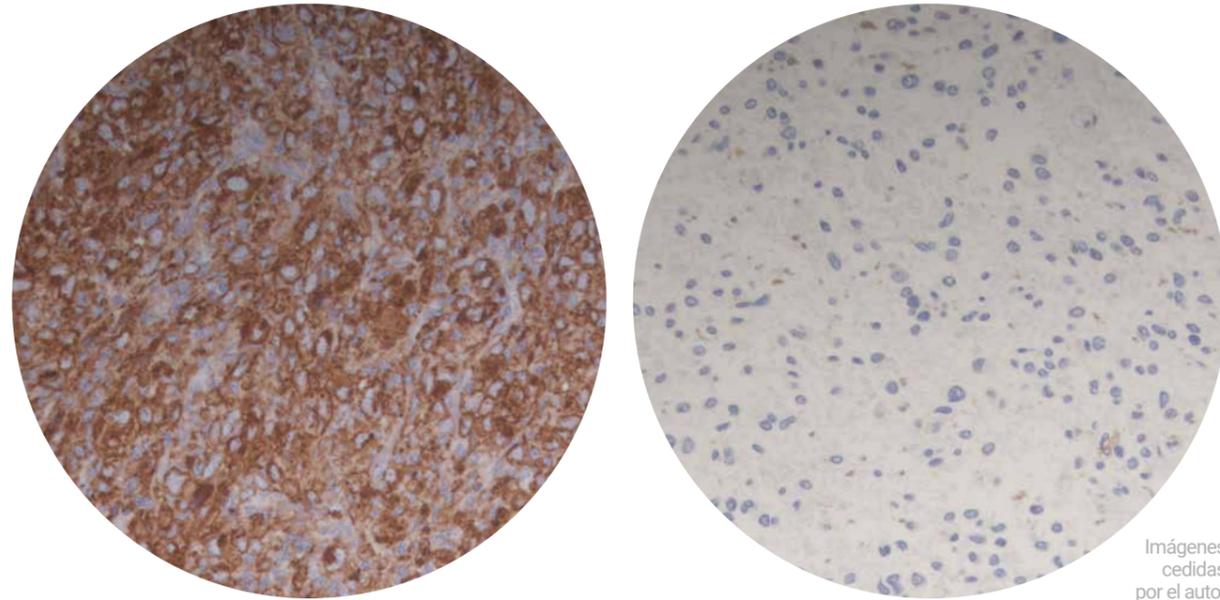


◀
Imagen de resonancia de un tumor cerebral.



▶
Corte de TAC de un paciente con cáncer de pulmón. El tumor se ve blanco en el fondo oscuro (pulmón).

“Unos tumores responden a tratamientos, otros se estirpan y ya está y, para otros, tenemos que seguir investigando”.



Imágenes cedidas por el autor.

▲
Imágenes de inmunohistoquímicas positiva y negativa. Tumores cerebrales analizados para un biomarcador por inmunohistoquímica. Las células que expresan la diana se tiñen de color marrón.

dan una técnica que nos proporciona detalles anatómicos espectaculares de los órganos, tejidos blandos y estructuras internas del cuerpo.

Pero la técnica más sensible sin lugar a dudas es la tomografía por emisión de positrones (PET). Además se puede cuantificar y nos puede aportar información acerca de la biología de un tumor. Consiste en marcar una molécula con un átomo que emita positrones que, al liberarse, se aniquilan con electrones cercanos, produciendo 2 fotones emitidos en la misma dirección, pero en sentidos opuestos. Con un escáner, que consiste en un anillo de detectores y un procesamiento informático, obtenemos una imagen tridimensional espectacular. Es muy sensible pero su resolución anatómica es pobre. Para solucionarlo el PET puede combinarse con TAC y/o resonancia. Si bien esta técnica tiene un gran potencial, es una técnica que está infrautilizada. En la inmensa mayoría de las ocasiones se usa glucosa marcada con positrones (Fluorodesoxiglucosa o ¹⁸F-FDG). Como en general las células tumorales captan más azúcar que las sanas, el PET nos permite encontrar, por ejemplo, tumores y pequeñas metástasis. Es muy útil para muchos tumores. ¡Más del 30% de los pacientes con cáncer cambian de régimen de tratamiento tras un escáner PET! En la actualidad se están incorporando más moléculas con más afinidad y especificidad como sondas basadas en el metabolismo de aminoácidos, en la proliferación, la hipoxia, angiogénesis y basados en la detección de receptores tumorales.

Existe otras herramientas de medicina nuclear y molecular como el SPECT (del inglés, *single photon emission computed tomography*), similar al PET que emplea trazadores radioactivos, un escáner para registrar los datos y un ordenador para construir imágenes bi y tridimensionales.

Una técnica ideal debe ser sensible, presentar una gran resolución y ser cuantificable. Cada una tiene sus ventajas, pero también se pueden combinar o hacer secuencialmente. Y no solo sirven para identificar tumores, se emplean para hacer un seguimiento y comprobar si los tratamientos están funcionando.

EL DIAGNÓSTICO DEL CÁNCER

Una vez se ha detectado un posible tumor, el diagnóstico final a menudo precisa de un análisis de tejidos o células del mismo para lo que se precisa tomar una muestra, lo que se conoce como una biopsia, o se realiza posteriormente tras su extirpación mediante cirugía.

Las biopsias pueden obtenerse mediante una punción con una jeringuilla especial o llevando a cabo una cirugía. Para que un patólogo pueda confirmar con seguridad si un área sospechosa tiene cáncer, la muestra debe ser procesada para su observación al microscopio. La muestra preparada se tiñe con colorantes específicos que nos revelan su anatomía microscópica y nos hablan de detalles fisicoquímicos. Pero también podemos estudiar cómo se encuentran determinadas moléculas revelando su presencia mediante técnicas de inmunohistoquímica.

Estas técnicas de análisis emplean anticuerpos, que son proteínas que genera nuestro sistema inmunitario para defendernos de agentes extraños como microbios infecciosos. Los anticuerpos constan de una región que identifica y se pega como un imán a una molécula extraña, que se conoce como antígeno, como son las proteínas de la cubierta de una bacteria o un virus. Otra parte del anticuerpo sirve de señal para que otras células de nuestras defensas los eliminen. Pero también podemos generar anticuerpos específicos frente a proteínas humanas y otras moléculas en otros animales, principalmente en ratones y en conejos. Estos anticuerpos obtenidos en el laboratorio se incuban con una muestra de tejido y posteriormente se revelan, se hacen visibles, mediante reacciones bioquímicas. Las inmunohistoquímicas nos permiten detectar el origen de una célula, buscar marcadores tumorales,

“Las biopsias pueden obtenerse mediante una punción con una jeringuilla especial o llevando a cabo una cirugía”.

estudiar algunas mutaciones, entender aspectos de la biología del tumor que nos revelan cómo se comportan sus células, si se dividen mucho, si entran en apoptosis y también permiten encontrar si tienen presente una posible diana terapéutica. Además, en muchos casos podemos estudiar una biopsia molecularmente, para buscar si tiene un gen alterado, si se expresa o no y para cuantificar otros parámetros biológicos.

Desafortunadamente, en muchos casos, una biopsia no es suficiente para poder determinar sus características ya que muchos tumores son muy heterogéneos y se precisa hacer varias. Estas biopsias, en algunas ocasiones pueden favorecer su reaparición, las temidas recidivas. En otras ocasiones no es necesario tomarla, o no puede tomarse, y el tumor entonces se analiza tras su extirpación.

LOS TUMORES CEREBRALES: EL CÁNCER INVISIBLE

El glioblastoma es el tumor cerebral más frecuente y maligno en adultos. Presenta un pronóstico desolador siendo su esperanza de vida de apenas unos 15 meses desde el diagnóstico. Los pacientes reciben cirugía, quimio y radioterapia y estos tumores casi siempre recidivan. Pese a que se ha avanzado mucho en su caracterización molecular, apenas han cambiado sus tratamientos en las últimas décadas. Estos tumores suponen un reto extraordinario en la investigación y recién

temente se han empezado a encontrar nuevas aproximaciones basadas en la inmunoterapia, en reeducar al sistema inmunitario del paciente y en el uso de virus oncolíticos que abren una ventana hacia la esperanza.

A menudo, los pacientes con tumores cerebrales acuden al médico por dolores de cabeza, alteraciones en la visión, falta de coordinación, pérdidas de memoria o parálisis, entre otros síntomas. Cuando existe una sospecha de que el paciente pueda tener un tumor cerebral, la prueba de imagen de elección es la resonancia magnética. Si bien la imagen que nos proporciona una resonancia nos ofrece buenos detalles anatómicos, esta puede confundir un tumor con otros tipos de lesiones, con inflamación, edemas o cicatrizaciones entre otras. En pacientes operados, en ocasiones, es difícil discernir entre una cicatrización de la cirugía y una recidiva. Además, la imagen obtenida por resonancia nos habla de la forma, la cartografía del tumor, pero no nos da detalles de su biología y no puede cuantificarse.

En el caso de los tumores cerebrales, la imagen PET con ¹⁸F-FDG, la glucosa marcada con positrones, es poco eficaz porque el cerebro consume mucho azúcar. Si bien podría haber una linealidad entre el grado de un glioma y la señal PET, esta se pierde con los tratamien-

tos. Necesitamos mejores imágenes para poder sacar la máxima información de los tumores cerebrales.

Para el diagnóstico final de muchos tumores cerebrales se requiere de una biopsia. Pero, como hemos indicado anteriormente, tomar una biopsia a veces no es suficiente porque el tumor es muy heterogéneo y además tomar este tipo de muestras implica algunos riesgos e incluso puede favorecer recidivas. Es por esto que, en muchas ocasiones, el diagnóstico se hace tras la extirpación por cirugía del mismo. Hoy en día hay biomarcadores que predicen la respuesta del glioblastoma a algunos tratamientos y, en un futuro que está ahí llegando, habrá más y para más tratamientos.

¿Y si pudiéramos obtener la misma información de una biopsia a través de pruebas de imagen? Ese es uno de los retos hacia los que nos enfrentamos para poder acelerar las promesas de la medicina personalizada.

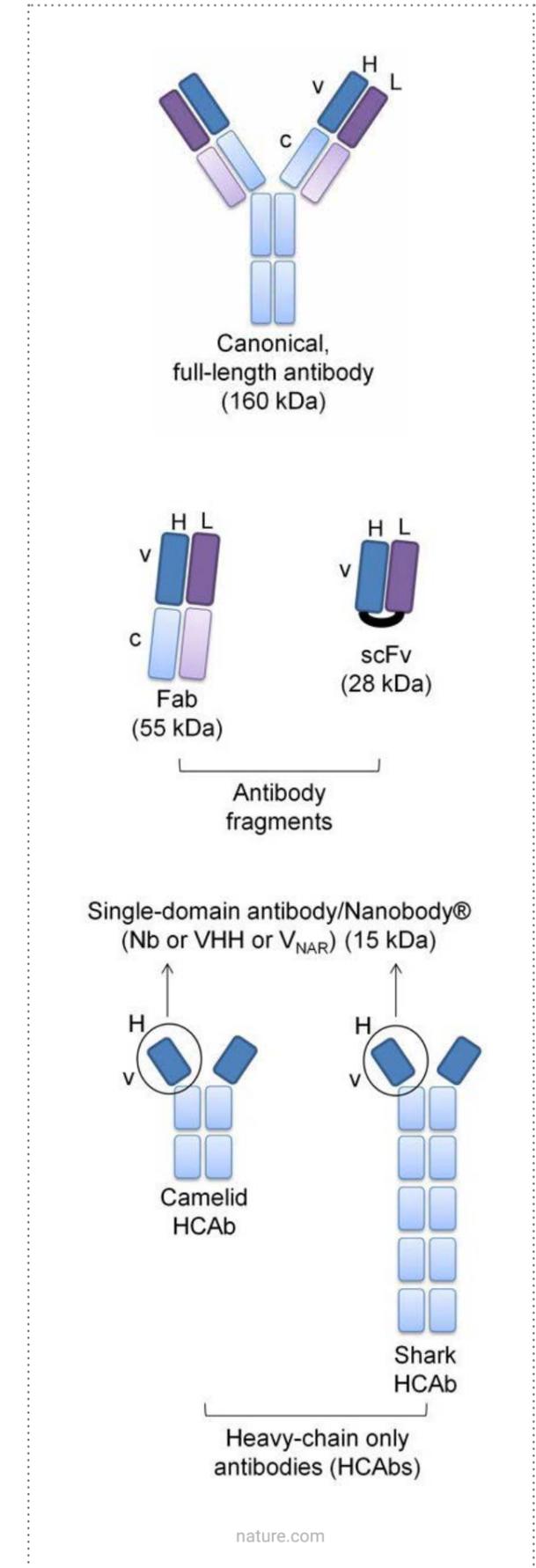
EL INMUNO-PET COMO UNA BIOPSIA VIRTUAL

Como hemos descrito anteriormente, una biopsia consiste, en esencia, en coger un trozo de tejido y analizarlo mediante análisis histológicos, inmunohistoquímicos y moleculares. En nuestro laboratorio queremos

hacer una especie de *biopsia virtual*, analizar todo el tumor dentro del paciente sin tocarlo, obteniendo toda la información posible de la biología del tumor. Para ello estamos trabajando en el desarrollo de técnicas de "imagen inmunodirigida", que combinan la selectividad y especificidad de anticuerpos frente a un marcador tumoral con la sensibilidad de las técnicas de imagen PET. Esta técnica se conoce como inmuno-PET.

Para desarrollar sondas de imagen inmunodirigidas, estamos marcando anticuerpos que reconocen biomarcadores tumorales con isótopos emisores de positrones, con el fin de inyectarlos en modelos experimentales y buscarlos con un escáner PET. Una vez modificados para su uso en humanos, validados y probados en pacientes, confiamos que esta aproximación nos permita obtener un diagnóstico y una monitorización no invasiva de los pacientes a lo largo del tiempo utilizando una "inmunohistoquímica" de cuerpo completo, 3D, *in vivo* y cuantificable mediante PET.

Para realizar un buen inmuno-PET debemos tener en cuenta tres elementos. El primero es la diana. Idealmente debe expresarse, estar presente, en el tumor pero no en tejido sano y debe localizarse en la membrana celular para ser accesible al anticuerpo. El se-



Comparación de la estructura general de un anticuerpo, compuesto por cadenas ligeras y pesadas, frente a un nanobody, compuesto únicamente por una cadena pesada

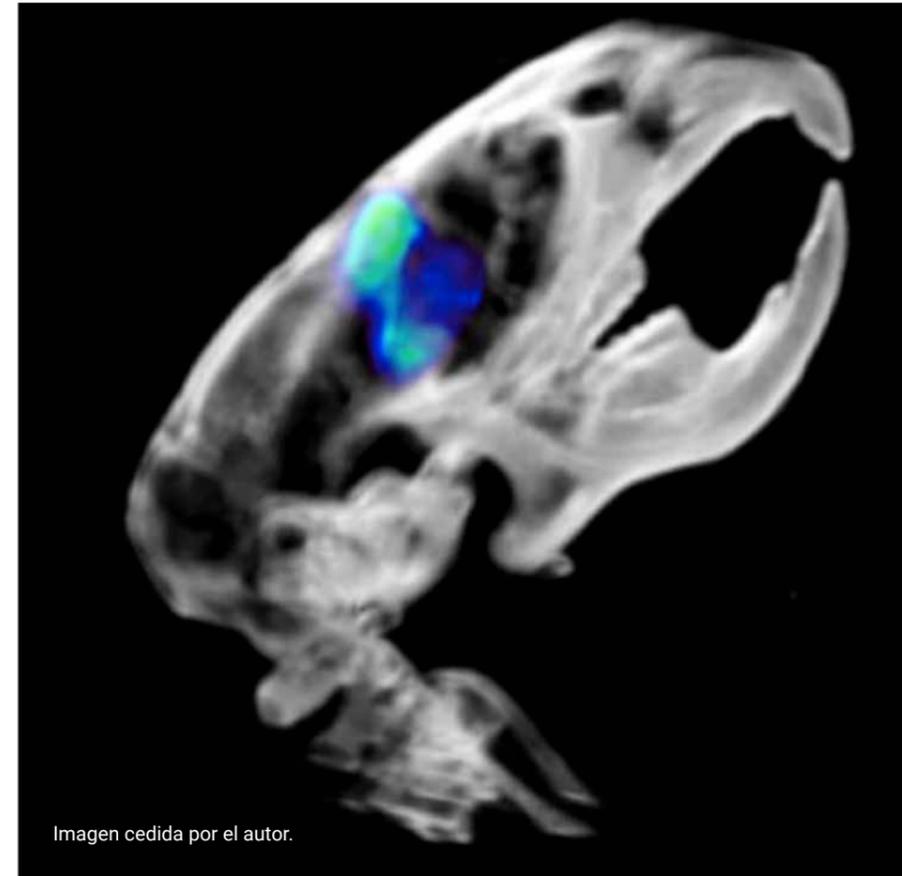
gundo elemento es disponer de un buen anticuerpo, muy específico y que reconozca al antígeno intacto. Podemos alterarlo mediante ingeniería de proteínas para que su farmacocinética y biodistribución mejore. Finalmente el isótopo PET, los hay con distinta vida media y sistema de producción.

La revolución de los genomas del cáncer ha desvelado alteraciones clínicamente relevantes que aún no han sido integradas en el manejo de pacientes debido, en parte, a la falta de biomarcadores para imagen no invasiva. Cada día se añaden los datos de más y más pacientes, de sus genomas pero también de muchos otros parámetros junto con sus historias clínicas, que son accesibles a la comunidad científica. Para elegir una buena diana nos hemos convertido al *dataísmo* y buscamos biomarcadores en estas bases de datos mediante análisis bioinformáticos. Para desarrollar una buena sonda de inmuno-PET, es preciso que la diana del anticuerpo, el biomarcador, sea muy abundante en las células tumorales, que se localice idealmente en su membrana y que prácticamente no se expresen en tejido sano. La sonda de inmuno-PET tendrá un valor añadido si además su diana nos habla del tumor, nos ayuda en el diagnóstico y nos orienta si es mejor poner uno u otro tratamiento.

El segundo elemento crucial en el inmuno-PET es el anticuerpo dirigido a reconocer el biomarcador. Es preciso que sea muy específico y que reconozca su epítipo, la región del antígeno a la que se pega de forma intacta, como se encuentra en el tumor y no tras procesar una muestra para analizarla por inmunohistoquímica. Los anticuerpos completos tienen una vida media larga en sangre, esa es una buena característica para usarlos como inmunoterapia. Sin embargo, ese tiempo necesario para su aclaramiento por vía hepática hace que no sean tan buenos para imagen porque se tarda en obtener un buen contraste entre la señal y el fondo. Pero podemos mejorar la farmacocinética y biodistribución del anticuerpo modificándolo y de este modo conseguir que llegue mejor a todo el cuerpo, incluso al cerebro, y se elimine más rápidamente por vía renal. Mediante ingeniería de proteínas podemos conservar las regiones hipervariables de un anticuerpo, las partes responsables de unirse al antígeno, para hacer minianticuerpos. Además se pueden producir otras formas de anticuerpos en dromedarios, llamas y tiburones porque de manera natural producen unos anticuerpos especiales que modificados son mucho más pequeños, pueden alcanzar más fácilmente el cerebro y se eliminan rápidamente por vía renal.

“Estas sondas de imagen para inmuno-PET tienen una gran versatilidad y permiten combinar el diagnóstico y la terapia, usando una misma molécula”.

La tercera pieza importante del inmuno-PET es el isótopo emisor de positrones, el radionucleido. Se pueden incorporar directamente a las moléculas que queremos marcar o se pueden usar agentes quelantes, moléculas adaptadoras, como la deferoxamina. Los más usados son ^{18}F ($t_{1/2}=1.8\text{h}$), ^{89}Zr ($t_{1/2}=78.4\text{h}$), ^{124}I ($t_{1/2}=100.2\text{h}$), ^{64}Cu ($t_{1/2}=12.7\text{h}$) y ^{86}Y ($t_{1/2}=14.7\text{h}$). Estos radionucleidos se producen en un acelerador de partículas llamado ciclotrón. La instalación que alberga a un ciclotrón es muy costosa (unos 8 millones de euros) y requiere de personal muy especializado. Otra innovación que estamos persiguiendo es la fuente de positrones. A nuestros anticuerpos les uniremos radioisótopos que, en lugar de proceder de átomos generados en un ciclotrón, que requiere una instalación del tamaño de una cafetería grande, mucho personal y un elevado coste, serán producidos en un generador de $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ del tamaño de una *Nespresso*, que cuesta unos pocos miles de euros y podrá ponerse al lado de cada escáner PET. Esto nos permitirá abaratar los costes y favorecer su



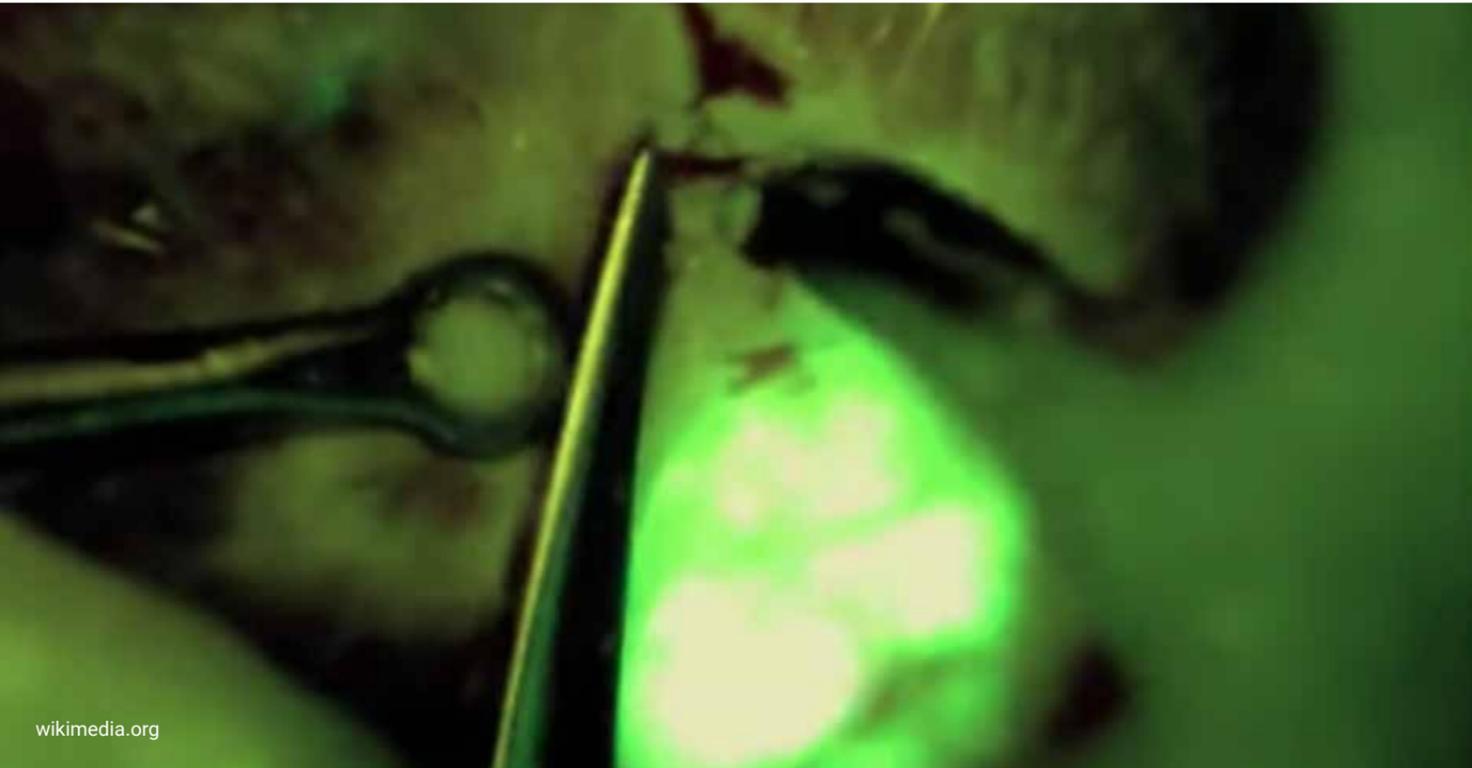
◀
Reconstrucción 3D de una imagen PET combinada con TAC de un modelo de ratón con glioblastoma. En blanco el cráneo, en verde el tumor identificado por una sonda de imagen que nos indica que es de alto grado y responde peor a la quimioterapia.

accesibilidad a todo el mundo. En el laboratorio queremos desarrollar muchos de estos anticuerpos, muchas cápsulas de esta *cafetera*-PET. Soñamos con tener un catálogo de cápsulas-PET que nos permita interrogar al tumor sin tocarlo. Si eres positivo para el *café Roma* y el *Ristretto*, mejor dar radioterapia y si sale bien el *Arpeggio* se te trataría con inmunoterapia directamente.

El inmuno-PET permite muchas modificaciones. Podemos, por ejemplo, desacoplar la radioactividad del anticuerpo y unirla mediante química click a un paciente. Esta estrategia permite inyectar primero el anticuerpo a un paciente, esperar a que reconozca a su diana y a los días inyectar el agente quelante con el radionucleido que se unirá muy específicamente y dentro del paciente, reduciendo los tiempos de exposición a la radiación. La química click nos permite también unirle a nuestros anticuerpos, y formas derivadas, otro tipo de moléculas para que podamos explotarlo en otras modalidades de imagen.

EL FUTURO TERAGNÓSTICO

Estas sondas de imagen para inmuno-PET tienen una gran versatilidad y permiten combinar el diagnóstico y la terapia, usando una misma molécula, convirtiéndose en un tratamiento teragnóstico que combina la terapia y el diagnóstico. Algunos radionucleidos como el ^{124}I , además de poder ser detectados en un escáner PET, también emiten una energía capaz de dañar el ADN de las células tumorales a las que se pegan sirviendo de tratamiento. Estas sondas permiten modificaciones para poder ser detectadas por varias modalidades de imagen a la vez. En la actualidad, estamos modificando al agente quelante que transporta el radionucleido para que tenga unido un grupo que emita fluorescencia. De este modo, el cirujano que opere al paciente tendrá, en primer lugar, una imagen más precisa del tumor obtenida por inmuno-PET antes de operar y durante la cirugía, iluminando con una lámpara de una longitud de onda determinada, podrá ver si que-



wikimedia.org

▲
Cirugía guiada por fluorescencia.

da alguna célula fluorescente sin extirpar. Incluso con una segunda longitud de onda buscamos poder romper el compuesto fluorescente para que sea tóxico.

Hemos llegado a un punto de inflexión en la Guerra contra el Cáncer. La revolución de los genomas del cáncer nos ha cambiado la mirada humana que teníamos frente a este grupo compuesto por cientos de enfermedades y ha abierto una nueva era en la oncología. Vivimos ante la promesa-realidad de la biopsia líquida que, en menos de lo que pensamos, se hará de rutina en nuestros análisis de sangre o de otros fluidos corporales. Detectaremos un perfil de mutaciones que nos indicarán que una persona puede tener un tumor... ¡Pero habrá que encontrarlo! Algunas pistas están en el ADN, como el tipo de mutaciones o sus patrones de metilación. Tal vez la biopsia virtual pueda ayudarnos a encontrar los cánceres invisibles.

Alberto Jiménez Schuhmacher
Grupo de Oncología Molecular
Instituto de Investigación Sanitaria Aragón.

“Hemos llegado a un punto de inflexión en la Guerra contra el Cáncer”.

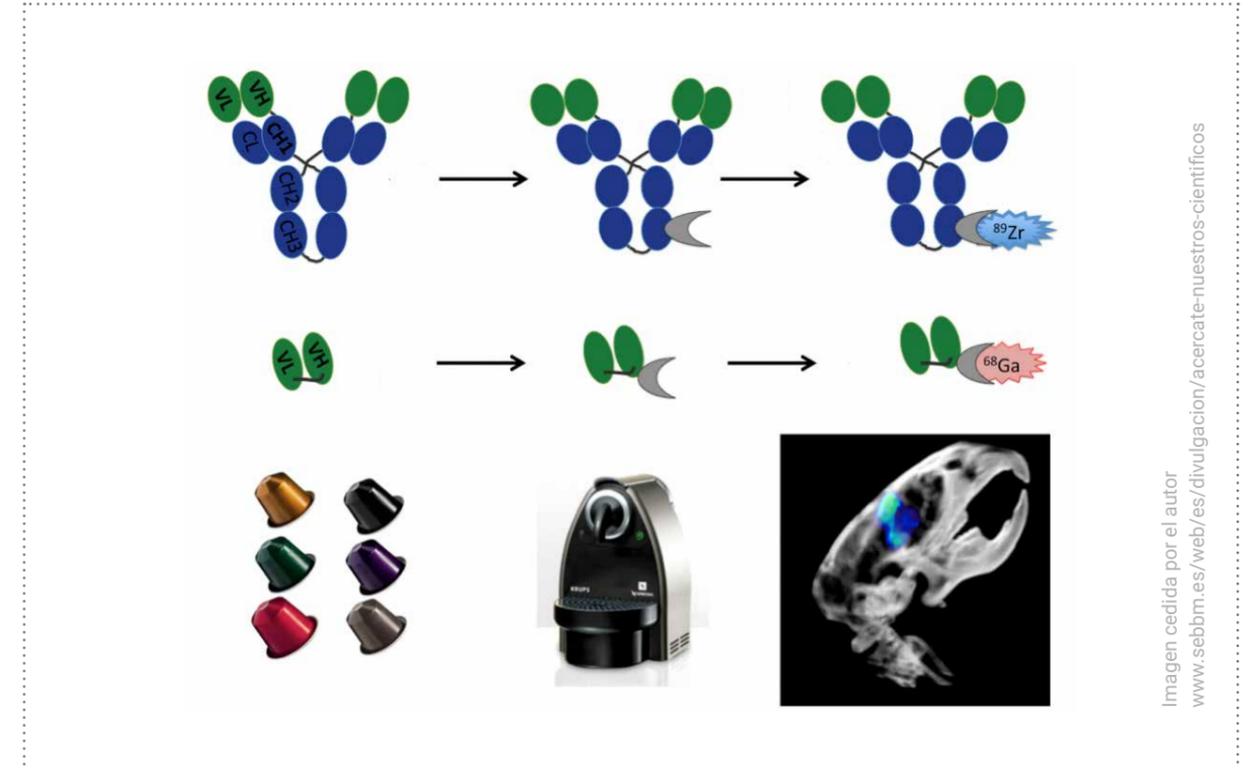


Imagen cedida por el autor
www.sebbm.es/web/es/divulgacion/acercate-nuestros-cientificos

▲
Pasos claves en el desarrollo de sondas para biopsias virtuales:

(Arriba) Para realizar una prueba de concepto generamos anticuerpos monoclonales (mAb) muy específicos frente a los biomarcadores determinados mediante análisis bioinformáticos. La funcionalidad del anticuerpo y la diana son validados en muestras de pacientes y cultivos celulares. Posteriormente, para su uso en inmuno-PET los mAb son conjugados con un agente quelante (por ejemplo deferoxamina, DFO) y marcados con ^{89}Zr ($t_{1/2}=78.4\text{h}$). El conjugado mAb-DFO- ^{89}Zr es inyectado en modelos xenoinjertados y se adquieren imágenes con un escáner PET a diferentes tiempos para determinar la cinética.

(Centro) Una vez validada la diana y el anticuerpo, miniaturizamos el mAb para mejorar su farmacocinética y biodistribución. Esta fase se realiza mediante ingeniería de proteínas combinando distintos dominios de las regiones variables de los anticuerpos (dominios VH y VL). Estos derivados de anticuerpos se eliminan más rápidamente de la circulación y permiten una adquisición más temprana.

Favorecen también el uso de radioisótopos producidos en un generador de $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ (^{68}Ga $t_{1/2}=1.1\text{h}$). Este generador es de pequeño tamaño, como el de una cafetera Nespresso.

(Abajo) En el laboratorio queremos desarrollar muchos de estos anticuerpos, un portfolio de cápsulas-PET para esta cafetera PET que nos permitan interrogar al tumor sin tocarlo. La fotografía muestra una imagen de una biopsia virtual con una sonda mAb-DFO- ^{89}Zr frente a una diana localizada en la superficie de células de un glioblastoma humano xenoinjertado en un ratón. Reconstrucción en 3D de un inmuno-PET (color). Para disponer de localización anatómica más precisa se combina con una imagen obtenida por tomografía axial computerizada.

Construyendo...



EL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

GRADOS

- Grado en Biotecnología
- Grado en Física
- Grado en Geología
- Grado en Matemáticas
- Grado en Óptica y Optometría
- Grado en Química

MÁSTERES

- Máster en Biología Molecular y Celular
- Máster en Física y Tecnologías Físicas
- Máster en Geología: Técnicas y Aplicaciones
- Máster en Modelización e Investigación Matemática, Estadística y Computación
- Máster en Química Industrial
- Máster en Química Molecular y Catálisis Homogénea
- Máster en Nanotecnología Medioambiental (ENVIRONNANO)
- Máster en Materiales Nanoestructurados para Aplicaciones Nanotecnológicas (NANOMAT)
- Máster Erasmus Mundus en Ingeniería de Membranas

¡MATRICÚLATE!

ciencias.unizar.es/web

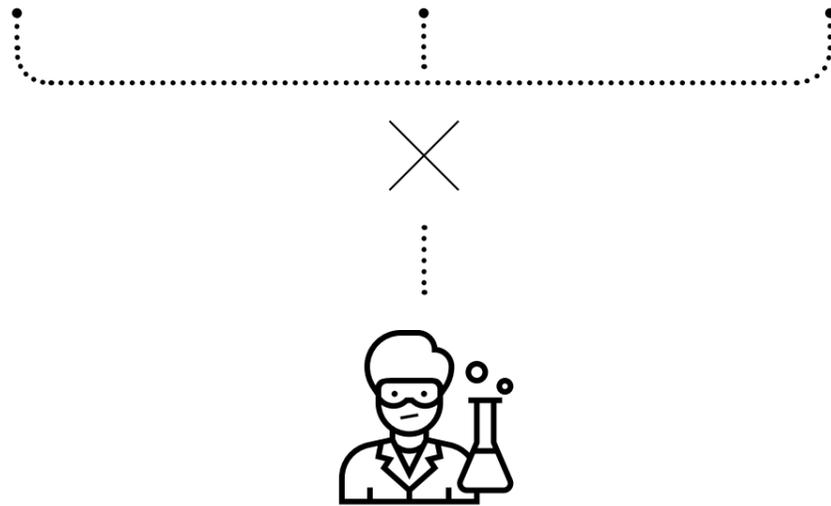




La Ciencia en crisis: los investigadores contra las revistas académicas

“Lejos quedan los tiempos en los que el propio investigador publicaba su trabajo y lo distribuía entre sus colegas, como hiciera nuestro Santiago Ramón y Cajal”.

Miguel Ángel Sabadell



En diciembre de 2013 saltaba la polémica. El premio Nobel de Medicina Randy Schekman declaraba un boicot a las grandes revistas científicas *Nature*, *Science* y *Cell*. El motivo era que el sistema de publicación académica actual es más un ancla que una vela para el futuro de la Ciencia. El biólogo señalaba en un artículo ampliamente difundido su mal endémico: “las mayores recompensas a menudo son para los trabajos más llamativos, no para los mejores”.

Para entenderlo debemos ser conscientes de cuáles son los dos pilares sobre los que se asienta la Ciencia. Uno, el más evidente, es la investigación misma. El otro es menos obvio pero fundamental: la difusión del conocimiento o cómo un científico da a conocer los resultados de su trabajo. Lejos quedan los tiempos en los que el propio investigador lo publicaba y distribuía entre sus

colegas, como hiciera nuestro Santiago Ramón y Cajal. Lo que hace es redactar un artículo y enviarlo a una revista académica, cuyo propietario suele ser una gran empresa editorial. Entonces empieza un peculiar proceso de publicación que, por norma general, se dilata de varios meses a un año hasta que sale a la luz. Y no es porque haya *overbooking* de artículos. Lo que hace el director de la revista es enviar copias a dos o tres científicos, anónimos y que no reciben remuneración económica, que son expertos en el tema del artículo para que certifiquen su calidad. Es el proceso llamado *peer review* o revisión por pares. En este sentido la mayoría de las revisiones buscan si hay errores metodológicos, signos de incompetencia investigadora, o si el artículo es una aplicación obvia de resultados ya conocidos. En el caso de revistas de prestigio, como *Science*, *Nature*, *Cell* o *Proceedings of the National Academy of Science* el proceso es más duro: el editor decide de entre todos los manuscritos recibidos cuáles cumplen con el (difuso) objetivo de ser de gran interés para luego empezar el *peer review*. La aplicación de estos criterios es lo que hace que el número de artículos rechazados varíen de una revista a otra. Si, en general, el nivel de aceptación es del 70%, las revistas antes mencionadas suelen aceptar solo el 5% de los trabajos que reciben. Publicar en ellas da un mayor prestigio al científico, y este es el meollo de la cuestión.

Lo que Schekman señala es la gran incongruencia del sistema: el Olimpo se alcanza publicando en revistas como *Nature* y *Science*, lo que no deja de ser irónico pues hace que el sistema de valoración del trabajo científico pase por editoriales privadas cuyo negocio es, en realidad, vender revistas.

¿Por qué son tan prestigiosas? Todo empieza con una premisa muy razonable: cuanto más importante es una investigación más la citan el resto de los científicos. Por tanto, las revistas más citadas por los artículos que publican son las más importantes y, para mantener su estatus, deben imponer unos estándares de calidad muy elevados: el artículo debe ser realmente muy bueno para que se acepte su publicación.

¿Se puede cuantificar la calidad de una revista académica? Sí. Para ello se utiliza lo que se llama el índice de impacto, que cuantifica el número de veces que trabajos de investigación posteriores citan sus artículos. ¿Y por qué los científicos sueñan con publicar en las revistas de mayor impacto? Por una razón mucho más mundana que la de poner en circulación su investigación: porque es la referencia que se usa en el sistema

“Las revistas más citadas por los artículos que publican son las más importantes y, para mantener su estatus, deben imponer unos estándares de calidad muy elevados”.

de ciencia internacional para pedir subvenciones, optar a ayudas o conseguir puestos de trabajo. Un científico joven, si quiere prosperar, debe conseguir publicar en una revista de prestigio. El famoso adagio “publish or perish” (publica o perece) no tiene nada que ver con la calidad de la ciencia en sí, sino con las remuneraciones y reconocimiento de los científicos.

Desde mediados del siglo XX el número de científicos ha crecido tanto que no hay dinero suficiente para financiar todas las investigaciones, ni tampoco hay puestos en universidades e institutos de investigación para satisfacer la creciente demanda. Esto implica que el reparto debe hacerse atendiendo a un criterio de calidad de las investigaciones realizadas y por eso consejos de departamento universitarios, comités de asignación de fondos o tribunales de oposición a profesor titular



**Randy Schekman,
Premio Nobel de
Medicina (2013).**

vistas académicas están destruyendo la Ciencia desde dentro. El biólogo y premio Príncipe de Asturias Peter Lawrence lo ha dicho con claridad meridiana: “la evaluación del trabajo científico y su tasación por los burócratas está asesinando la Ciencia”.

Todo esto ha hecho que la investigación científica no sea un fin en sí mismo, sino un medio: el verdadero fin del científico es publicar en las revistas de alto impacto. Como bien escribió Peter Lawrence, hace más de una década en *Nature*, “los artículos científicos se han vuelto símbolos para el progreso en la profesión científica, y los verdaderos propósitos de comunicación y registro están desapareciendo”. El inmunólogo Dan Zabetakis compara las revistas académicas con *Vogue*: “el asunto no es el de la calidad de la Ciencia, sino la autovalidación al publicar en las llamadas revistas de élite. En otras palabras, eres importante simplemente porque has publicado en Science/Nature/Vogue”. Y para hacerlo el artículo tiene que versar sobre un tema que los editores consideren “sexy”. El problema es que en su elección, dicen Schekman y Lawrence, priman los criterios editoriales sobre los científicos pues las revistas son, primero y ante todo, un negocio. Y nada malo: en 2011 las editoriales académicas generaron unos ingresos de 9.400 millones de dólares según la consultora Outsell.

Un ejemplo de este criterio de selección científico lo tenemos en algo aparentemente tan poco proclive a ello como son los premios Nobel. Miremos los de Física: los miembros de la Academia de Ciencias sueca han demostrado a lo largo de la Historia su querencia hacia la Física Teórica y de Partículas. Por eso que la Geofísica jamás ha sido ni será premiada con el celebrado galardón: no lo hizo en los 30 cuando Inge Lehmann determinó la estructura del núcleo de la Tierra, ni en los 60 cuando Jason Morgan, Dan McKenzie y Xavier Le Pichon formularon la tectónica de placas, la teoría central de la Geofísica moderna.

Muchos científicos denuncian que a las revistas les interesa más el impacto mediático porque buscan aumentar el número de suscripciones y de publicidad, no fomentar la investigación. Schekman las compara a los diseñadores de moda con sus ediciones limitadas de bolsos y trajes: “saben que la escasez hace que aumente la demanda, de modo que restringen artificialmente el número de artículos que aceptan”. Y no solo eso, como se persigue que los artículos publicados sean los más citados (y así aumentar el prestigio de la revista), la mejor forma de conseguirlo es publicando “artículos

o catedrático hacen una única pregunta: ¿cuántos artículos ha publicado y dónde? Y aquí es donde surge la trampa: se supone que la calidad de su trabajo viene definida por la de las revistas donde han aparecido sus artículos, definida a partir de su índice de impacto.

Ahora bien, este planteamiento tiene importantes errores de principio. Si aplicara este protocolo de contratación al Nobel de Física Peter Higgs, el pobre estaría en el paro por no ser suficientemente productivo: solo ha publicado 10 artículos en 50 años. Peor aún es que este método de valoración es incapaz de reconocer la excelencia investigadora salvo en el caso más obvio, a toro pasado. Pongamos el ejemplo de Andrei Geim y Konstantin Novoselov, dos físicos rusos que ganaron el premio Nobel en 2010 por un trabajo que realizaron hacia 2004. En aquella época cualquier evaluador diría que su trabajo era normalito: una docena de publicaciones y unos pocos miles de citas. Entre 2004 y 2010 su número de publicaciones solo subió entre dos y tres veces pero el número de citas se multiplicó exponencialmente, alcanzando las varias decenas de miles. Hoy cualquier comité evaluador diría que su trabajo es de excelencia. Mas como dice el físico Francesco Sylos Labini, lo fácil es recompensar lo que ya se sabe que es excelencia in-

vestigadora; lo complicado es reconocer lo que va a ser excelencia mañana entre toda la pléthora de investigaciones que se realizan hoy en día. Y ese es el quiz de la cuestión a la hora de asignar fondos para investigación.

En el caso de las publicaciones científicas, el cuadro de lo que sucede es bien simple. El editor de una revista académica como *Cell* busca mantener y aumentar su negocio. Eso implica que su revista tenga un mayor índice de impacto, pues aumentará su prestigio y, con él, el deseo de los científicos de publicar en ella. Luego su política editorial debe estar dirigida a este objetivo, independientemente de si coincide o no con el de aumentar el conocimiento efectivo del mundo en que vivimos, el motivo último por el que existe la Ciencia. Si hay temas que no son llamativos o que no están de moda, la investigación realizada, por muy buena que sea, la dejará a un lado. ¿Y quién define cuáles son los temas importantes? Precisamente las propias revistas, que son las que tienen la sartén por el mango.

Para científicos como Schekman, el objetivo de las editoriales de las revistas científicas de prestigio no es velar por la calidad de la Ciencia, sino por su plan de negocio. Es por eso que Schekman piensa que las re-

“Para científicos como Schekman, el objetivo de las editoriales de las revistas científicas de prestigio no es velar por la calidad de la Ciencia, sino por su plan de negocio”.

que tendrán mucha repercusión porque estudian temas atractivos o hacen afirmaciones que cuestionan ideas establecidas". ¿A dónde lleva esta política? A crear serpientes de verano, temas de moda y promocionar temas polémicos. Un ejemplo de este tipo de política la ha aplicado la revista *Nature*, que en ocasiones ha puesto el impacto mediático por encima de sus propias consideraciones de calidad.

La década de los años 70 fue la edad de oro de la parapsicología y de los fenómenos paranormales. Algunos científicos estaban interesados en investigar a psíquicos, personas que decían tener "poderes". Uno de ellos era el ilusionista israelí Uri Geller, por el que se interesaron dos físicos del Stanford Research Institute. El artículo que se derivó de sus "existosos" experimentos con Geller estuvo dando tumbos por distintas revistas científicas, que lo rechazaban por inconsistente, mal diseñado, conclusiones no acordes con los resultados... Y llegó a *Nature*. Su editor, el geofísico David Davis, aceptó publicarlo. Tras un largo proceso de podado de las partes más absurdas apareció el 18 de octubre de 1974. Para guardarse las espaldas, Davis publicó un extenso editorial tratando de justificar lo injustificable. En él calificó los resultados de "débiles," "desconcertantemente vagos," "limitados," "defectuosos" e "ingenuos". ¿Si tan malo era por qué lo publicó? Quizá la respuesta la encontremos en la publicidad subsiguiente que recibió la revista, citada en todos los medios de comunicación. Y como efecto colateral, gracias a *Nature* el ilusionista Uri Geller se convirtió en estrella... y en millonario.

“Como efecto colateral, gracias a *Nature* el ilusionista Uri Geller se convirtió en estrella... y en millonario”.

**Uri Geller,
ilusionista israelí.**



Casi década y media después, en 1988, *Nature* volvía a la carga con un artículo del inmunólogo francés Jacques Benveniste, donde decía haber encontrado pruebas experimentales que apoyaban la homeopatía: de algún modo, el agua parecía recordar la sustancia con la cual había interactuado, traspasándole sus propiedades. La publicación del artículo en el número del 30 de junio fue acompañada por otra justificación editorial de su proceder. En esta ocasión, además, el editor John Maddox había llegado a un acuerdo con Benveniste: lo publicaría si dejaba que *Nature* enviase un equipo a su laboratorio para comprobar cómo se había hecho la investigación. He aquí lo verdaderamente sorprendente: esto no se haría *antes* de publicar el artículo sino *después*; una curiosa política de calidad. Una vez más *Nature* volvió a estar en el centro del ciclón informativo, lanzó a la fama a un anónimo investigador francés e hizo un impagable regalo a los departamentos de marketing y publicidad de las compañías homeopáticas: por fin la "ciencia oficial" reconocía que la homeopatía tenía base científica.

A la vista de todo esto podemos preguntarnos, como hace Schekman, si publicar en una revista de alto impacto asegura que se trata de un artículo de calidad. La respuesta del premio Nobel es un rotundo 'no': primero porque la calidad de una investigación no depende exclusivamente de la revista donde se publica; el índice de impacto es un promedio y no refleja el valor de un artículo en concreto. Segundo, que un artículo sea muy citado no implica que realmente sea un gran ar-

tículo. Un ejemplo son los dos trabajos publicados en *Physical Review Letters* por Lisa Randall y Rama Sundrum en 1999, que se convirtieron en los más citados en un año. En ellos estos físicos teóricos propusieron que nuestro universo posee 5 dimensiones y todas las partículas elementales excepto el gravitón –la partícula responsable de la gravedad– se mueven en una "hoja" de ese universo que tiene una dimensión menos –en el argot técnico, 3+1 dimensiones, tres espaciales y una temporal–. ¿Por qué fueron tan citados? Porque el modelo de Randall-Sundrum permite una gran multitud de variantes y eso se traduce en artículos. En un campo como la Física Teórica, donde normalmente suele tenerse una idea publicable al año, el trabajo de estos físicos fue como si hubieran llegado los Reyes Magos.

El ataque al sistema de revistas tradicionales va en aumento, sobre todo por el coste asociado que significa publicar la propia investigación. Porque, al contrario que en el resto de las revistas que existen en el mercado editorial, cuando un científico quiere publicar sus resultados debe pagar por ello. Y no es pecata minuta: un artículo en *Cell Reports* cuesta 5.000 dólares. Y lo más sangrante: para poder leerlo, también hay que pagar. De este modo las revistas tradicionales meten la mano dos veces en el bolsillo del Estado: la primera por publicar las investigaciones financiadas con dinero de los ciudadanos; la segunda cuando las bibliotecas de las universidades y centros de investigación deben pagar las suscripciones a esas revistas, que tampoco son baratas. Así, si usted se suscribe



al periódico El Mundo, con acceso ilimitado a toda la información y toda la hemeroteca, le costará 9,99 euros al mes; una semana de suscripción al The Times y al Sunday Times es de poco más de 7 euros. Pero si quiere leer un único artículo de la revista *Biochimica et Biophysica Acta* de la editorial Elsevier le costará más de 29 euros. Además, la revista mantiene unos derechos eternos sobre el artículo. ¿Quiere leer un artículo de 1967? También deberá pagar más de 29 euros. Además los precios de las revistas han ido subiendo de manera imparable: según revela la Universidad de Illinois, en menos de dos décadas el coste medio de un ejemplar de una revista académica ha subido un 188%. Y se hablaba de la especulación inmobiliaria...

Las editoriales justifican su escalada de precios a que han tenido que hacer un esfuerzo económico importante para afianzar sus revistas y desarrollar y mantener la infraestructura digital necesaria que ha revolucionado la comunicación científica en las últimas dos décadas. Pero según un estudio de 2008 de Cambridge Economic Policy Associates, las grandes empresas editoriales como Nature Publishing Group o los gigantes Elsevier o Springer han tenido un margen de beneficios del 35%. A la luz de estos datos no es de extrañar que el Deutsche Bank dijera en un informe de

2005 que "las editoriales proporcionan muy poco valor añadido al proceso de publicación... si realmente fuera tan complejo y costoso como afirman serían inalcanzables unos márgenes de beneficio de casi el 40%". Y es que las reglas de mercado no se cumplen dentro del mundo de las publicaciones científicas; si normalmente las grandes empresas ofrecen sus productos a precios bajos porque por su volumen de negocio pueden permitírselo, en el campo de las revistas académicas, las editoriales más potentes, las que tienen un mayor número de revistas bajo su control, son las que tienen los precios más caros.

A la vista de todo esto no es de extrañar que los científicos estén enfadados. Una revista normal genera su propio contenido y paga a autores y editores. Una revista académica recibe el contenido gratis, el proceso de revisión por pares también les sale gratis, lo mismo que parte de la edición. Y mejor aún, todo ese contenido, que se obtiene a través de ayudas públicas y privadas, es retenido de por vida por la propia editorial, a la

que debes pagar si quieres verlo. En vista de todo esto, muchos investigadores no se creyeron las palabras de Philip Campbell, que fuera editor-jefe de *Nature* hasta 2018, cuando dijo que el coste de publicación de un artículo en *Nature* asciende a los 30.000 euros. ¿En qué se les va el dinero?

A principios del siglo XXI el horno empezaba a no estar para bollos. En 2001 se lanzó un boicot que suscribieron más de 30.000 investigadores de 161 países contra las editoriales que se negaron a "liberar" los artículos de sus revistas a los 6 meses de haber sido publicados. Ese mismo boicot, desde las filas de los matemáticos, fue relanzado en 2012 por el matemático Timothy Gowers contra Elsevier por su política de precios. Es una especie de "¡basta ya!" a las editoriales que han ido subiendo sistemáticamente por encima de la inflación los precios de las suscripciones y, peor aún, por encima de los presupuestos de las bibliotecas: para mantener las suscripciones a las revistas, muchas han tenido que disponer de los fondos destinados a la compra de libros.

Para añadir más leña al fuego, las editoriales son absolutamente opacas con su política de suscripciones con grandes universidades; es lo que Kenneth Frazier, director de las bibliotecas de la Universidad de Wisconsin, ha llamado la Gran Ganga: las universidades firman acuerdos con las grandes editoriales por paquetes que incluyen la versión electrónica de un gran número de revistas del grupo, aunque en él haya algunas que ni necesitan ni deseen. Es parecido a los paquetes de la televisión de pago: crees que es mejor pagar por un paquete que incluye canales que no deseas. Frazier afirma que esta política solo beneficia a las editoriales y nada a las bibliotecas pues "incrementan nuestra dependencia de editoriales que ya han demostrado su determinación de monopolizar el mercado de la información". Todo está bien calculado porque las bibliotecas no conservan copias electrónicas permanentes de las revistas a las que se suscriben. Luego si después de 10 años cancelan su suscripción electrónica, pierden todos los números de las revistas a las que han estado suscritos, algo que nunca podía pasar cuando se distribuían en papel.

¿Qué alternativa queda? Desde hace unos años están proliferando las revistas de acceso libre, "que son gratuitas para cualquiera que quiera leerlas y no tienen caras suscripciones que promover" dice Schekman. Estas revistas, sigue el premio Nobel, "pueden aceptar todos los artículos que cumplan unas normas de

“En menos de dos décadas el coste medio de un ejemplar de una revista académica ha subido un 188%. Y se hablaba de la especulación inmobiliaria...”

calidad, sin topes artificiales. Muchas están dirigidas por científicos en activo, capaces de calibrar el valor de los artículos sin tener en cuenta las citas". Diferentes instancias internacionales, como la propia Unión Europea, impulsan decididamente la filosofía del libre acceso como parte fundamental de un programa de difusión gratuita del conocimiento. De hecho, es obligatorio el Acceso Abierto (Open Access) para todas las publicaciones científicas resultantes de los proyectos financiados por el programa Horizonte 2020.

Sin embargo, la modalidad de acceso abierto no es la panacea de la solución. Las editoriales simplemente han cambiado de pagador: los artículos son gratis para el lector pero cargan todo el coste al autor. Por ejemplo, una de las editoriales líderes del acceso abierto es BioMed Central, que carga alrededor de 1.500 euros por artículo publicado. Las sociedades científicas que publican sus revistas tampoco se quedan atrás en esta escalada de precios. La American Chemical Society puede llegar a cobrar al autor más

de 3.600 euros por publicar su artículo de forma que esté accesible a todo el mundo y la editorial no posea los derechos sobre el mismo.

La guerra entre las revistas de suscripción y las recién llegadas de acceso abierto está en su punto álgido y el campo de batalla no podía ser otro que la calidad de las investigaciones publicadas. Así, el 4 de octubre de 2013 aparecía en *Science* un artículo del biólogo y periodista científico John Bohanon donde exponía cómo había enviado un falso artículo a 304 revistas de acceso abierto sobre unas moléculas extraídas de los líquenes que inhibían el crecimiento de células cancerosas. Entre las 255 revistas que contestaron, 157 aceptaron el artículo. Poco tardó *Science* en airear los resultados y afirmar que el proceso de revisión por pares de esas revistas era malo cuando no inexistente. Curiosamente, la misma revista *Science*, que se vanagloria de su excelente proceso de revisión, había aceptado en 2011 un artículo del biólogo Michael Eisen sobre su falso descubrimiento de una bacteria que tenía en su ADN azufre en lugar de fósforo. Según su propia confesión, lo hizo tras haber leído “bastantes artículos verdaderamente malos en *Science* y para demostrar lo chapucero que era su *peer review*”, porque, en su opinión, las revistas como *Science* les interesa más publicar artículos “sexys”.

Lo más llamativo en esta guerra es que se está disparando directamente a la línea de flotación que sustenta toda la comunicación científica actual, el dogma sacrosanto del control de calidad: el sistema de revisión por pares o *peer review*¹.

La crítica a este sistema obsoleto viene por distintos frentes. Por un lado está la que abunda en la larga lista de trabajos fundamentales que han sido rechazados por los revisores y editores de las revistas. Así, en 1981 *Nature* rechazó un artículo del bioquímico inglés Robert H. Michell que ha sido citado en la literatura científica más de 1.800 veces. O el clásico de Hans Krebs, que la misma revista rechazó en junio de 1937 y por el que recibió el premio Nobel de Medicina. El principal artículo de Stephen Hawking, que trataba sobre la evaporación de los agujeros negros (hoy conocido como evaporación Hawking), también fue rechazado por *Nature*. Cuando el geofísico Tuzo Wilson describió que las islas Hawaii se habían formado secuencialmente a medida que la placa de Pacífico se movía sobre un punto caliente en el interior del manto terrestre (hoy la teoría reconocida para la formación de islas volcánicas), la revista *Journal of Geophysical Research* lo re-

“Cuando el geofísico Tuzo Wilson describió que las islas Hawaii se habían formado secuencialmente (hoy la teoría reconocida para la formación de islas volcánicas), la revista *Journal of Geophysical Research* lo rechazó”.

Volcán Kilauea, Hawaii.



chazó. “Me dijeron que el artículo carecía de matemática, no tenía nuevos datos y que contradecía la visión en boga de entonces. Por tanto, no debía ser bueno”. José María Campanario, de la Universidad de Alcalá de Henares, ha recopilado un exhaustivo listado de científicos, entre los que se cuentan 36 premios Nobel cuyo trabajo merecedor del premio fue juzgado como poco importante y rechazado por las revistas científicas.

Para el Premio Nobel de Medicina de 1999 Günter Blobel, el sistema actual de revisión por pares es verdaderamente pernicioso. Un año después de recibir el galardón dijo en una conferencia que el principal problema de la investigación científica aparecía “cuando tus artículos son rechazados por culpa de algún estúpido revisor que considera casi un dogma las viejas ideas”. Según *The New York Times*, este comentario “fue recibido con aplausos por cientos de colegas y jóvenes científicos en el auditorio”.

La revisión por pares tampoco es capaz de impedir el fraude, la bestia negra de la investigación científica. El paleontólogo hindú Vishwa Jit Gupta estuvo engañando a la comunidad paleontológica sobre los fósiles que decía descubrir en el Himalaya durante 25 años. En 1989 la revista *Nature* publicó que había mentido en 300 artículos. El surcoreano Woo Suk Hwang mintió en su artículo sobre células madre publicado en *Science*;

1. **Peer review:** hacer que el trabajo científico de un investigador sea revisado por otros colegas aparece por primera vez en el libro “Ética de la medicina” del sirio Ishaq ibn Ali al-Rahwi (854-931). Allí se explica que el médico debe tomar notas del estado del paciente siempre por duplicado y pasar una copia al consejo local de médicos, que deberán examinarlas y decidir si ha actuado correctamente. En Europa fue el fundador de la revista *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Henry Oldenburg, quien en 1665 lo introdujo en el proceso de publicación de artículos científicos. Desde mediados del siglo XX la revisión por pares se ha convertido en la piedra angular de la ciencia y en uno de sus más sacrosantos dogmas. Pero no siempre ha sido así. Los famosos artículos de Einstein no pasaron por este proceso: los editores de *Annalen der Physik*, Max Planck y Wilhelm Wien –ambos futuros premios Nobel– los publicaron sin solicitar una revisión pues se dieron cuenta de la calidad de los mismos. Curiosamente, el artículo de Watson y Crick sobre la estructura de doble hélice del ADN, que les valió el premio Nobel, tampoco pasó por este proceso. Hoy, un comportamiento así sería impensable.



“El objetivo planteado es muy claro: arrebatar el control de calidad de la investigación de las manos de las revistas y colocarlo en quien realmente debe tenerlo, la propia comunidad científica”.

en 2002 los Laboratorios Bell despidieron al físico Jan Hendrik Schön por inventarse los resultados de su investigación sobre semiconductores en 15 artículos publicados en *Science* y *Nature*; y en 2011 la Universidad de Tilburg suspendió al psicólogo social Diederik Stapel por su larga carrera falseando datos y resultados de sus investigaciones: hasta 55 artículos publicados en diferentes revistas, *Science* incluida. El comité que revisó este espectacular fraude afirmó que resultaba “inconcebible que los revisores de revistas de prestigio internacional hayan sido incapaces de ver que los experimentos de Stapel eran irrealizables en la práctica y no se dieran cuenta de resultados estadísticos imposibles”.

En opinión de diversos científicos, el *peer review* actual es caduco y desfasado, producto de una época donde las comunicaciones electrónicas no existían. Internet ha revolucionado la forma que tenemos de intercambiar y compartir información. ¿Realmente la Ciencia necesita un control de calidad tan obsoleto? Es lento (retrasa la publicación al menos medio año), opaco (nadie sabe quién es el revisor), aislado (no hay intercambio de información entre los revisores) y se encuentra en manos de los editores de las revistas, que son los que tienen la última palabra en cuanto a su publicación.

Los científicos que están hartos de la arbitrariedad del *Science Citation Index* y de que su futuro investigador dependa de las consideraciones editoriales de las revistas comerciales, están buscando nuevas formas para sustituir el tradicional *peer review*. Porque de una cosa

están seguros: no se puede abolir el sistema de revisión y dejarlo en una especie de todo vale. Es necesario un sistema que asegure razonablemente que los datos publicados son correctos, pues no se tiene ni el tiempo ni el dinero necesario para ir repitiendo los experimentos de los demás y comprobar los resultados. Hay tímidos intentos de cambiar las cosas, como la revista de acceso abierto PLoS ONE, que hace públicos los nombres de los revisores de cada artículo. Pero no es suficiente.

Entre las alternativas se encuentra el proyecto *Overleaf*, que se lanzó en 2014. En esta plataforma cada artículo no contiene solo los resultados de la investigación, sino que incluye todos los comentarios añadidos por lectores, revisores, autores y editores; es un documento vivo que se va perfilando y modificando con cada comentario. *Overleaf* refleja el dinamismo inherente a la Ciencia, en contraposición a la visión estática que trasluce el mundo tradicional de las revistas científicas. Según sus creadores, *Overleaf* “incrementa el aperturismo y la transparencia, y fortalece las investigaciones subsiguientes”.

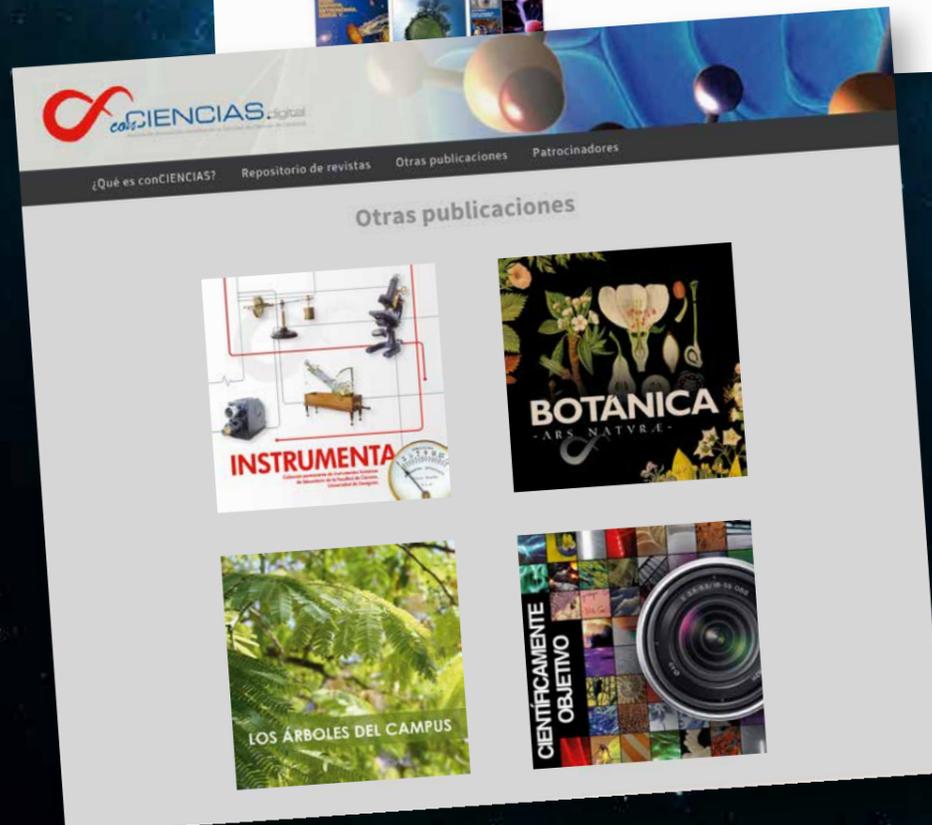
Otro camino que se está explorando es el de implantar pasos previos al *peer review*. En la plataforma ArXiv, dedicada a la Física, las Matemáticas y las Ciencias Computacionales, los autores envían los artículos casi en su forma definitiva para debatirlos con el resto de sus colegas y corregirlos en función de las recomendaciones recibidas. Algo similar es el proyecto LIBRE (LIBerating REsearch), lanzado en octubre de 2013 y desarrollado

por la organización sin ánimo de lucro Open Scholar C.I.C. Es una plataforma que permite a los autores invitar a colegas suyos a que revisen su trabajo, tal y como se haría en una revista. Los textos de esas revisiones se unen al artículo original y las identidades de todos los científicos implicados aparecen apropiadamente acreditadas. Según sus creadores, “el éxito de esta plataforma depende de la capacidad de la comunidad académica de aceptar una nueva cultura de investigación abierta, transparente e independiente para liberarse de los intereses comerciales que nada tienen que ver con una verdadera búsqueda del conocimiento”.

Similares palabras suelen escucharse en boca de los defensores del acceso abierto, que se parecen más a declaraciones políticas que a una simple defensa de la libertad de información científica. “Es la hora de cuestionar la idea de que la revisión por pares solo puede ser llevada a cabo por los editores de las revistas académicas” dicen desde Open Scholar. ¿Por qué las revistas, dicen, no van a aceptar publicar artículos que han sido revisados por la comunidad científica en lugar de por un pequeñísimo grupo de expertos? El objetivo planteado es muy claro: arrebatar el control de calidad de la investigación de las manos de las revistas y colocarlo en quien -en su opinión- realmente debe tenerlo, la propia comunidad científica.

Miguel Ángel Sabadell
Editor de Ciencia de la revista MUY INTERESANTE

¡¡Más de 10 años divulgando la Ciencia!!



divulgacionciencias.unizar.es

Pedro J. Miana

“La primera obra científica escrita por una mujer en España fue publicada el 20 de enero en 1738 en Zaragoza. Se titulaba *Tyrocinio arithmetico, Instrucción de las quatro reglas llanas*. Su autora, María Andrea Casamayor de la Coma”.

María Andrea Casamayor: matemática ilustrada

TYROCINIO ARITHMETICO, INSTRUCCION DE LAS QUATRO REGLAS LLANAS,

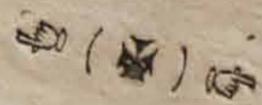


QUE SACA A LUZ

CASANDRO MAMES DE LA MARCA, T
Araioa, Discipulo de la Escuela Pia;

Y LO DEDICA

A LA MISMA ESCUELA PIA DEL COLEGIO
de Santo Thomàs de Zaragoza.



CON LICENCIA DE LOS SUPERIORES
En Zaragoza: Por Joseph Fort, enfrente el C
Vicente Ferr



▶
**Marcapáginas de María
 Andrea Casamayor.**
 Eulogia Merle.

MUNCYT-FECYT

Tal vez para la mayoría de los lectores resulte desconocido que la primera obra científica escrita por una mujer en España fue publicada el 20 de enero en 1738 en Zaragoza. Se titulaba *Tyrocinio arithmetico, Instrucción de las quatro reglas llanas*. Su autora, María Andrea Casamayor de la Coma, era hija del comerciante Juan José Casamayor y de la zaragozana Juana Rosa de la Coma. Poco se conoce de su vida y de sus obras. Algunos recientes estudios han aportado nuevos datos, hasta ahora desconocidos, que a continuación presentamos. Casi doscientos años más tarde, María de la Rigada y Ramón fue la segunda mujer en publicar una obra matemática, *Aritmética*, en 1924.

INFANCIA EN LA ZARAGOZA DE COMIENZOS DEL SIGLO XVIII

Se desconoce la fecha exacta del nacimiento de María Andrea Casamayor, aunque sí la fecha de boda de sus padres, el 13 de abril de 1705 en la basílica del Pilar, y la fecha de nacimiento de sus cuatro hermanos y una hermana, desde 1706 a 1716. Es curioso señalar que en el *Vecindario de Zaragoza de 1723*, que se conserva en el Archivo de la Diputación Provincial de Zaragoza, en la casa número 11 de la ya desaparecida Calle del Pilar, se describe lo siguiente:

Cassa de don Jayme Bellido, y en ella Juan Joseph Casamayor, mercader, cassado, cinco hijas y vn hijo, criada y aprehendiz.

A pesar del error en el género de los hijos, la descripción nos muestra una familia acomodada de la época de la ilustración aragonesa. En el censo citado, se cifra en 30039 los habitantes de la ciudad de Zaragoza. Su estructura de población empieza a evolucionar de la medieval, surgiendo una clase media burguesa donde creció la pequeña María Andrea. Por otro lado, casi el 20% de la población es pobre. Uno de los objetivos de este movimiento ilustrado es la formación y educación de las clases más desfavorecidas.

El 27 de octubre de 1731 llegaron a Zaragoza los dos primeros escolapios, y en septiembre de 1732 comenzaron a dar clases de forma regular, siendo uno de ellos Juan Francisco Alonso. Nacido en Tramacastilla en 1713, vistió el hábito escolapio en 1728. Del colegio de Zaragoza pasa a mediados del siglo XVIII al colegio de Valencia, donde fallece en 1763.

La escasa información sobre la infancia y formación de María Andrea Casamayor se localiza principalmente en dos fuentes: en la monumental obra de Félix Latassa y Ortín, *Biblioteca nueva de los escritores aragoneses que florecieron desde 1500 hasta 1802* de seis volúmenes, y en el propio *Tyrocinio arithmetico*. Copias digitalizadas de ambas obras pueden localizarse en la web de la Biblioteca Nacional.

LA IMPORTANCIA DEL TYROCINIO ARITHMETICO

El nombre del autor que aparece en la portada del *Tyrocinio Arithmetico* (de traducción aprendizaje aritmético) es Casandro Mamés de la Marca y Araioa, un perfecto anagrama (mismas letras en distinto orden)



▲
**Retrato de Félix
 Latassa y Ortín.**

del nombre de la autora. Más de 100 años después, en 1845, Gerónimo Borao, catedrático de Matemáticas de la Real Sociedad Económica Aragonesa de Amigos del País y futuro Rector de la Universidad de Zaragoza, firma otra obra de matemáticas "*Curso de aritmética*" con el anagrama de Rogerio Mobona.

Casandro se reconoce como discípulo de la Escuela Pía y lo dedica a la misma Escuela Pía del "Colegio de Santo Tomás de Zaragoza". Es más, prosigue afirmando "*Sentencia es de el Oraculo Divino, que los Rios buelven al Mar, las aguas que les participó: y reconociendo, que mi corto Raudal, tuvo origen en ese Oceano de Cien-*



Archivo Escuelas Pías de Aragón.

▲
Biblioteca Colegio
Santo Tomás de
las Escuelas Pías.
Zaragoza (principio
siglo XX).

“Son ejercicios de nivel elemental y muestran un hábil manejo de la aritmética y del mundo mercantil”.

cias, y Artes...” Finaliza esta dedicatoria localizando su obra de Almodovar de el Pinar. Este pueblo de la provincia de Cuenca fue uno de los más importantes del siglo XVIII, siendo conocido como el “pueblo de las carretas” al estar dedicado al transporte de mercancías. Sin duda era un emplazamiento ideal donde aplicar las reglas matemáticas en las que se centraba el libro.

Recibe la aprobación para publicar su obra del Fray Domingo Pedro Martínez, Rector y Regente de Estudios del Colegio de San Vicente Ferrer en Zaragoza. Así este afirma:

“he visto, tan gustoso, como admirado, el Tyrocinio Arithmetico, de Casandro Mames de la Marca, y Araioa; Gustoso, por el acierto, y claridad, con que su Autor, aun en lo minimo, se muestra maximo: y Admirado, porque,

CARTA DE EL AUTOR, DEDICATORIA A LOS
RRmos. PP. Escolapios del Colegio de Santo
Thomàs de Zaragoza.

RRmos. PP.

SENTENCIA es de el Oraculo Divino,
que los Rios buelven al Mar, las aguas
que les participò: Y reconociendo, que mi
corto Raudal, tuvo origen en esse Occea-
no de Ciencias, y Artes; seria, no poco ingrata, vio-
lencia, el no dexar su reconocida corriente, que (agra-
decida, en su modo) busca la Proteccion de tan No-
ble, Sabio, Authorizado Principio; para que à la
sombra de tal Patrocinio, se disimulen mis yerros.
Creo, de la generosidad de animo de tan Piadoso, Doc-
to Congressso, que (aun siendo, esta rendida oferta,
tan corta, como por si manifesta, y tan menos como
mia) no desdenarà el afecto, con que, reconocido la
consagro. Dios guarde, y prospere à VV. RRmas. en
sus mayores merecidos aumentos, para el aprovecha-
miento comun, como yo se lo pido, y todos necessitamos.
Almodovar de el Pinar. Enero à 20. de 1738.

De VV. RRmas. Siervo, y Discipulo,
que mas obligado, les venera,
Casandro Mames de la Marca, y Araioa.

A 2

APRO-

Fotografía cedida por el autor.

◀
Dedicatoria del
Tyrocinio Arithmetico.

conociendole, no puedo dejar de extrañar, que se em-
plee, en obra de tan poco credito, y mas quando ya ay
tanto escrito de esto; pero continuando el gusto, ceso
la admiracion, acordandome, de lo que, alguna vez, le
he oido dezir: y es, que su sin, en esta Obrilla, solo es,
facilitar esta instruccion a muchos, que no pueden lo-
garla de otro modo.”

La censura la realiza el padre escolapio Juan Francis-
co, Cathedrático de Matemáticas en el Colegio de Santo
Thomàs de Aquino de la Escuela Pía de esta Ciudad de
Zaragoza, quien afirma:

“No solo no contiene cosa que se oponga a las buenas
y Christianas costumbres; sino que la juzgo precisa, y
conveniente para la publica utilidad, y justificación del
Comercio Mercantil”.

El libro contiene diez capítulos en los que se presentan
gran cantidad de ejemplos prácticos de cómo actuar
ante diversas situaciones mercantiles y con cada una
de las reglas aritméticas. Por ejemplo: se han de partir
175 cahizes de trigo á 7 (p. 67). Se explican las diver-
sas unidades de longitud, peso y monedas que convi-
vían en el Reino de España, sus relaciones y se trabaja
con ellas: así se compran 8 arrobas y 6 libras por pre-
cio de cada arroba de 12 sueldos y 6 dineros de plata
(p.57). Son ejercicios de nivel elemental y muestran un
hábil manejo de la aritmética y del mundo mercantil.

Tal vez el libro más famoso de tratado mercantil y ma-
temáticas sea el Liber Abaci (1202) de Leonardo de
Pisa, Fibonacci. En la Zaragoza del siglo XVIII, además
del Tyrocinio, se publicaron varios libros sobre estas
materias. En 1724 se reedita Arithmetica practica muy

útil y necesaria para todo genero de Tratantes y Mercaderes del valenciano Geronimo Cortés, la cual se había publicado en 1604. Francisco Xavier García publica su *Arithmetica especulativa y practica y arte mayor o algebra mayor o algebra* en 1733.

FAMA Y RECONOCIMIENTO PÓSTUMO

En la página 305 del volumen 5 de la obra de Félix Latassa se aportan más datos sobre María Andrea. Señala que falleció el 23 de octubre de 1780, siendo herederos dos de sus hermanos. También da a conocer el manuscrito de su segunda obra de título: *“El Parasi solo de Casandro Mamés de la Marca y Arioa. Noticias especulativas, y prácticas de los Numeros, uso de las Tablas de las Raizes, y Reglas Generales para responder à algunas Demandas, que con dichas Tablas se resuelven fin la Algebra”*. Era un manuscrito de 109 hojas que por el título es de un nivel muy superior al *Tyronicio*. Además añade el siguiente comentario:

Son muchas las Cuentas, Calculos, Sumas, y Reglas que se dán en dicho Escrito, trabajo que apreció el referido Padre Maestro Martinez.

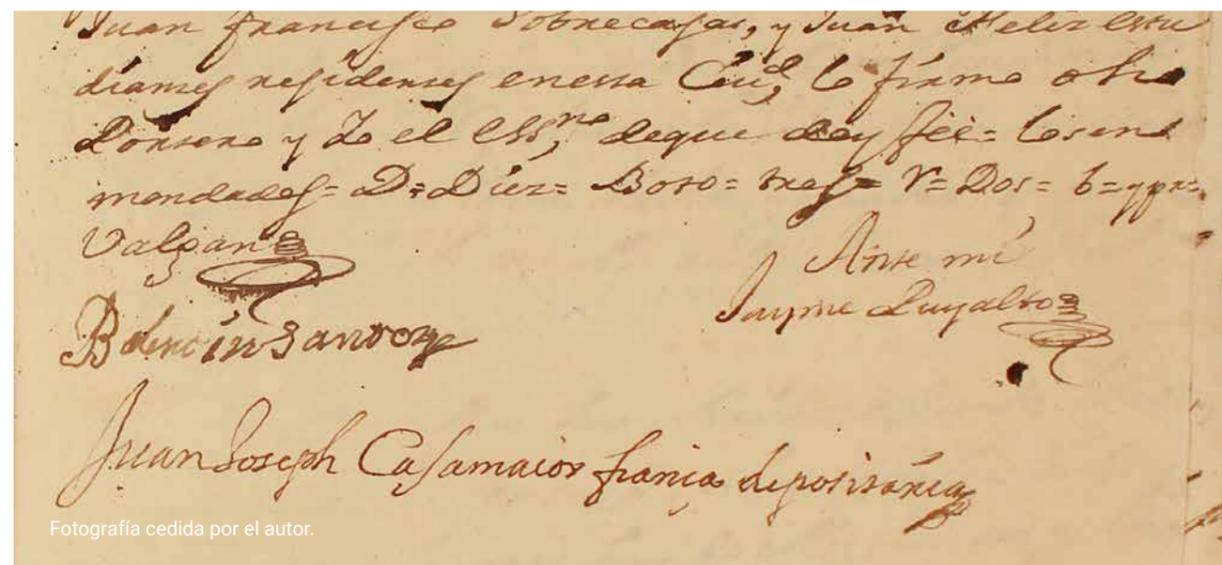
Fray Pedro Martínez falleció el 14 de noviembre de 1739, un año después de la publicación del *Tyronicio*. Por ello, y teniendo en cuenta su informe sobre el *Tyronicio*, parece lógico que el *Parasí* fuera escrito a la vez o simultáneamente al *Tyronicio*.

Manuel Serrano y Sanz en *Apuntes para una biblioteca de escritoras españolas* de 1903 incluye a María Andrea afirmando *“se dedicó al estudio de las matemáticas ciencia que poseyó como pocas de su sexo”*, junto con parte de los datos de la fuente de Félix Latassa.

La escritora y periodista Concepción Gimeno de Flaquer (Alcañiz 1850 - Buenos Aires 1919) en su libro *Las mujeres de raza latina* (1904) menciona a Casamayor como ejemplo de mujer científica aragonesa.

“Si han brillado las aragonesas por el valor, también en las lides del saber: Claudia Marcela, esposa de Marcial, colaboraba en sus obras literarias; gran popularidad alcanzó como novelista María del Pilar Sinués; muy ilustradas fueron Clotilde, Aurora Príncipe, Cecilia Arcilano, Condesa de Aranda, Luisa Moncayo, Isabel Tresfel y María Andrea Casamayor.”

Firma del padre de María Andrea, Juan Joseph Casamaior.



Fotografía cedida por el autor.

Un extracto de este libro también puede encontrarse en el diario *El Imparcial* del lunes 25 de enero de 1904.

EN LA ACTUALIDAD

Poco a poco se ha ido recuperando la figura de esta ilustre zaragozana. La escritora María José Casado Ruiz de Loízaga, en su maravilloso libro *Las damas de laboratorio* (2006), le dedica uno de los capítulos, acompañando a Madame Curie o Hypatia de Alejandría. También en el libro *Mujeres matemáticas: las grandes desconocidas* (2017), de Amelia Verdejo Rodríguez, recuperan su persona y obras. Finalmente, en el libro *Aragonautas. Aragoneses olvidados. Náufragos de la historia* (2017), de José Francisco Ruiz Pérez, presenta una pequeña biografía de María Andrea Casamayor con el subtítulo de la prosperidad a través de las Matemáticas.

En el año 2009, el Ayuntamiento de Zaragoza, y a propuesta del Partido Aragonés Regionalista, PAR, se decidió dar su nombre a un grupo de viviendas en el zaragozano barrio de Las Fuentes. También en 2009, el Ayuntamiento de Gijón decidió homenajearla dedicándole una calle. En enero de 2018 se ha realizado una propuesta para que esta vez sea el Ayuntamiento de Huesca quien actúe de igual manera.

El Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT, www.muncyt.es) de Alcobendas ha bautizado una de sus salas donde se realizan talleres científicos como Aula Andrea Casamayor.

Eulogia Merle realizó una colección de 27 marcapáginas sobre “Mujeres en la Ciencia. Un homenaje a algunas de las mujeres que jugaron un papel fundamental en la historia de la investigación científica” para MUNCYT. María Andrea fue una de estas mujeres que apareció al lado de Rosalind Franklin o Ada Byron.

Actualmente en Paracuellos del Jarama (Madrid) está previsto la construcción del Colegio Público Andrea Casamayor.

Se está rodando el documental *La mujer que soñaba con números* una producción de *Sintregua Comunicación* y que bajo la dirección de Mireia R. Abrisqueta, se estrenará el próximo Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, 11 de febrero de 2019. Cuenta con el apoyo de la Facultad de Ciencias y el Instituto Universitario de Matemáticas y Aplicaciones (IUMA) de la Universidad de Zaragoza entre otras instituciones.

María José Moreno en el papel de una madura María Andrea Casamayor en *La mujer que soñaba con números* (2019).



Pedro J. Miana
Dpto. de Matemáticas
IUMA & Universidad de Zaragoza
pjmiana@unizar.es

Fotografía cedida por el autor.

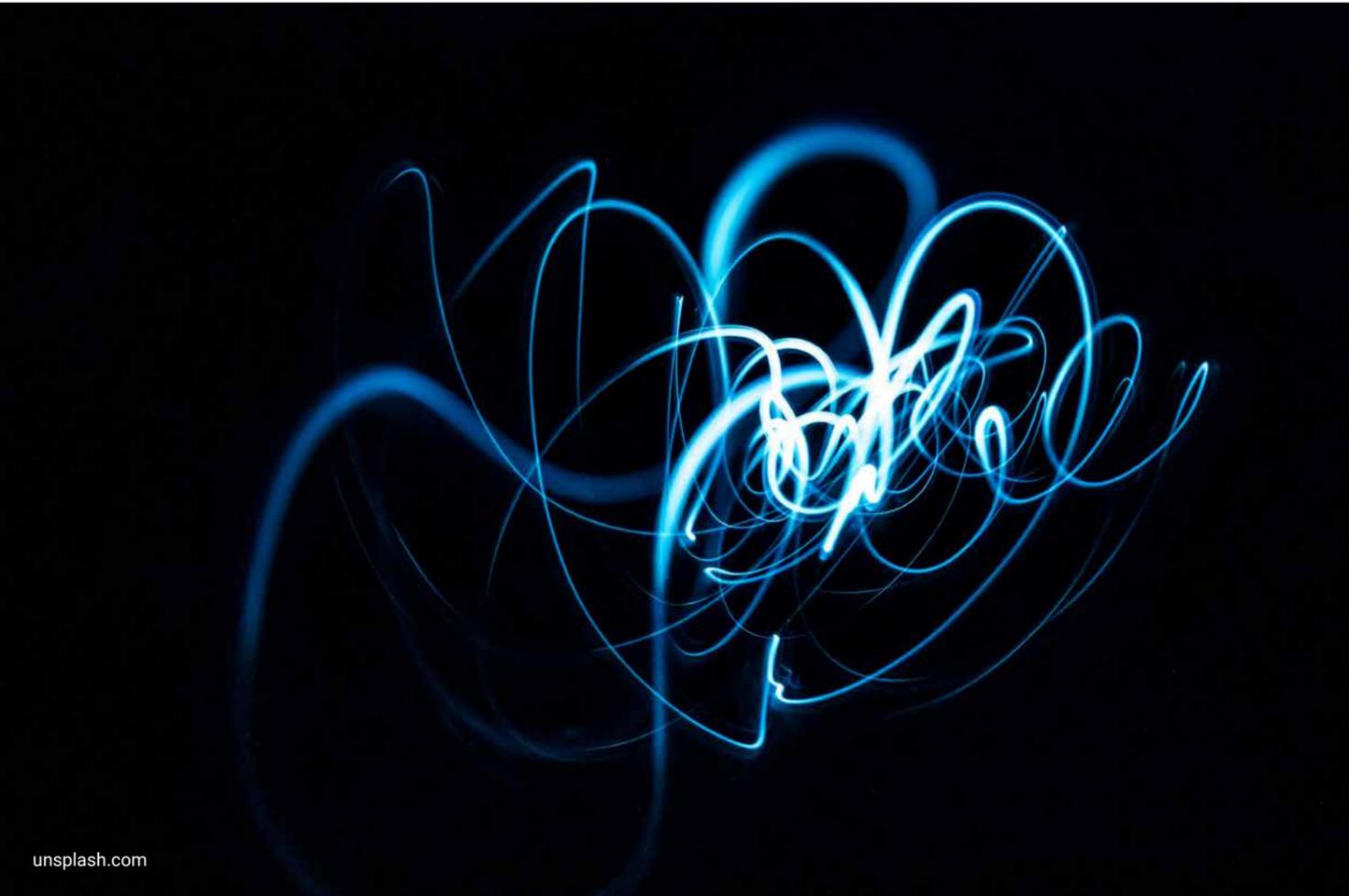
Un mundo lleno de ondas

Juan Pablo Martínez Jiménez

Dispersión de la
luz blanca por un
prisma óptico

Peter Martin/Hemera/Thinkstock





unsplash.com

Cuando J. Clerk-Maxwell¹ publicó en 1865 su trabajo 'A dynamical theory of the electromagnetics fields' difícilmente era consciente de las puertas que abría al desarrollo de la Ciencia y de la Tecnología. La unificación completa de la descripción y comportamiento de las ondas electromagnéticas, entre las que se incluye la luz, facilitó la comprensión y tratamiento matemático de ese gran mundo que hoy conocemos como Ondas electromagnéticas.

La posterior comprobación experimental de dicho trabajo realizada por Heinrich R. Hertz (1888) y la comprobación de la generación, transmisión y detección de ondas electromagnéticas en el laboratorio supuso el inicio de un desarrollo científico y tecnológico sobre el cual se sustenta gran parte de la tecnología cotidiana.

Pero realmente ¿qué es una onda electromagnética? Para los físicos está claro que es la propagación de un campo electromagnético (podemos precisar que la propagación de un campo eléctrico y otro magnético, pero como ambos están biunívocamente ligados, conocido el uno queda determinado el otro). Pero entonces ¿qué es el campo eléctrico? Simplemente es un concepto físico-matemático para describir la fuerza eléctrica que se ejerce sobre la unidad de carga eléctrica en cada punto del espacio y en cada instante de tiempo. Esta fuerza es ejercida por otras cargas eléctricas y se manifiesta en el espacio, para el caso de dos cargas puntuales, con una magnitud directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas (Ley de Coulomb, 1785).

Si modificamos o desplazamos una distribución de cargas, cambiará la interacción entre las carga eléctricas y ese cambio lleva asociado una modificación del campo eléctrico que hay en todo el espacio.

Algo similar ocurre con el campo magnético que describe, en esencia, la interacción entre corrientes eléctricas (cargas en movimiento) entre las que hay que incluir las corrientes electrónicas atómicas que dan origen al magnetismo natural.

ONDAS ARMÓNICAS

Desde un punto de vista práctico nos interesan los campos electromagnéticos que tienen una estructura periódica, ya que son los utilizados tanto para transportar energía como para propagar información. Además estos campos periódicos podemos describirlos como una superposición de ondas armónicas (teorema de Fourier), ondas de forma sinusoidal donde se reflejan claramente sus propiedades.

La expresión general de una onda armónica para el campo eléctrico viene dada por:

$$\vec{E}(\vec{R}, t) = \vec{E}_0(\vec{R}) \cdot \text{sen}(\vec{k} \cdot \vec{R} - 2\pi f \cdot t + \varphi)$$

donde cada uno de los parámetros nos proporciona información. En la amplitud de la onda, \vec{E}_0 , encontraremos la dirección del campo eléctrico y su valor máximo.

Si el campo se mantiene o no siempre en la misma dirección lo caracterizaremos con el concepto de polarización, que más adelante comentaremos. Además, en el valor de la amplitud encontraremos también re-

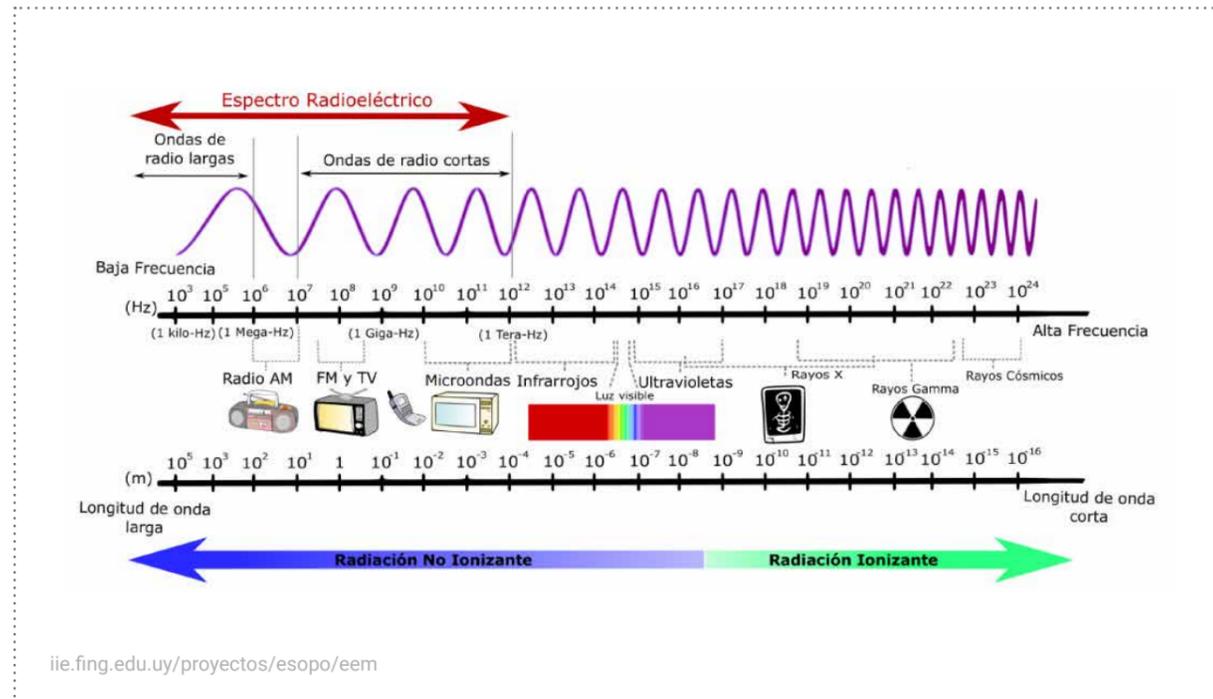
1. **James Clerk Maxwell** (13 de junio de 1831-5 de noviembre de 1879) fue un científico escocés especializado en el campo de la física matemática. Su mayor logro fue la formulación de la teoría clásica de la radiación electromagnética, que unificó por primera vez la electricidad, el magnetismo y la luz como manifestaciones distintas de un mismo fenómeno. Las ecuaciones de Maxwell, formuladas para el electromagnetismo, han sido ampliamente consideradas la "segunda gran unificación de la física", siendo la primera aquella realizada por Isaac Newton.

“La unificación completa de la descripción y comportamiento de las ondas electromagnéticas, entre las que se incluye la luz, facilitó la comprensión de las Ondas electromagnéticas”.

flejada la cantidad de energía que propaga la onda e información sobre su posible atenuación.

La frecuencia f nos dice el número de veces que el campo electromagnético oscila cada segundo, una oscilación por segundo es lo que se llama un hercio o Hertz (Hz), lo cual nos va a permitir clasificar el espectro electromagnético a la vez que discutir los posibles efectos energéticos que puede causar cada onda sobre la materia en caso de ser absorbida. Como vemos en la imagen de la página siguiente, esta frecuencia puede ser desde cero hasta más de un cuatrillón de veces por segundo (1 cuatrillón = 10^{24} , ¡Un uno seguido de veinticuatro ceros!).

El espectro completo de ondas electromagnéticas incluye desde las ondas de muy baja frecuencia, del or-



▲
Diagrama del espectro electromagnético mostrando la frecuencia, el tipo y la longitud de onda.

den de unas decenas de hercios donde se encuentra la propia corriente eléctrica que alimenta nuestras casas (50 Hz), hasta las posibles radiaciones de muy alta frecuencia (rayos gamma y rayos cósmicos). Entre ambos límites están todas las ondas de radio (AM y FM), las de televisión, las microondas (utilizadas en telefonía móvil, en los radares y en hornos caseros e industriales), los infrarrojos (que causan esa sensación de calor), la pequeña franja del espectro que supone la luz visible, el ultravioleta (responsable entre otros muchos efectos de la pigmentación de la melanina de nuestra piel para obtener el bronceado) y los rayos X utilizados, entre otras aplicaciones, en diagnóstico sanitario.

Cuando nos referimos a la propagación de una onda electromagnética en el vacío (el aire a presión atmosférica puede considerarse como tal en muchas ocasiones) nos encontramos que **todas** las ondas electromagnéticas se propagan con la misma velocidad, la conocida como 'velocidad de la luz'. Cuando las ondas se propagan en un medio material no lo hacen todas con la misma velocidad, ya que el medio se comporta de manera diferente frente a las diferentes frecuencias teniendo lugar una relación de dispersión, tal y como ocurre cuando incidimos con luz blanca sobre un prisma óptico.

La dirección de propagación de una onda viene contenida en la dirección del vector de ondas \vec{k} , cuyo módulo, inversamente proporcional a la longitud de onda λ (distancia espacial entre dos máximos consecutivos de la onda), nos permite deducir la velocidad de propagación de dicha perturbación.

La naturaleza de todas las ondas electromagnéticas es la misma y sus características energéticas pueden clasificarse en función de su frecuencia. En particular, la luz solo supone una pequeña franja del espectro, desde el rojo hasta el violeta, con la peculiaridad de que llevamos incorporados los detectores (ojos) en nuestro organismo. Detectores a través de los cuales adquirimos gran parte de información pero que no son todo lo extremadamente sensibles, por su capacidad integradora, para obtener la información completa que puede incorporar una onda luminosa.

HABLEMOS DE ENERGÍA

Cuando las ondas se propagan por el espacio lo hacen transportando una cantidad de energía. En principio, la cantidad de energía máxima viene limitada por las propiedades del medio por el que se propaga la onda, y se verá reflejada en el valor máximo de la

amplitud del campo eléctrico que soporta el medio (o del magnético, recordemos que no son independientes). La limitación viene asociada a que campos eléctricos intensos interactúan con el medio material aumentando la absorción de la onda. Si dicho campo es muy elevado puede provocar, durante su propagación, ionizaciones atómicas y/o moleculares, con la consiguiente ruptura y modificación de la estructura del medio. Cuando se trata de transportar cantidades de energía grandes, se suele hacer en longitudes pequeñas, y se utilizan sistemas confinados (*guías de onda*) que permitan esa utilidad (por ejemplo del generador a la antena, hornos industriales, etc.)

Debemos considerar que la onda transporta la energía en forma de paquetes (*cuantos o fotones*) de energía. En 1905, Albert Einstein demostró con el efecto fotoeléctrico (premio Nobel en 1921 por este hecho) la hipótesis de Max Planck sobre la cuantificación de la energía. La energía de cada uno de esos paquetes viene dada por $E = h \cdot f$ (h es la conocida constante de Planck de valor $6,63 \cdot 10^{-34}$ J/s y f la frecuencia de la onda). En consecuencia aquí nos encontramos con que la frecuencia sí es muy relevante. Cada paquete de energía es indivisible y es, por tanto, la cantidad de energía que absorberá un átomo o molécula del medio.

Si tenemos en cuenta que la densidad atómica (número de átomos por unidad de volumen) es muy elevada, y que los propios átomos reaccionan rápidamente a esa absorción de energía, resulta que los procesos que involucran la absorción de dos fotones por el mismo átomo, en un pequeño intervalo de tiempo, son prácticamente imposibles. Como consecuencia, y desde el punto de vista de la posible interacción onda-materia, las radiaciones se clasifican como ionizantes o no ionizantes. Las primeras son aquellas que cada fotón, o paquete mínimo de energía que transporta la onda, tiene energía suficiente para producir la ionización del átomo o molécula arrancándole un electrón. Este fenómeno puede producirse si la energía del fotón es superior a unos pocos electronvoltios, lo que fija que

la frecuencia de la radiación sea superior a los 10^{15} Hz (mil billones de Hz) y que dentro del espectro electromagnético sitúa este tipo de radiación en el rango del ultravioleta o frecuencias superiores.

Las radiaciones, con frecuencias inferiores a la anterior, son incapaces de producir la ionización y por tanto la alteración de las moléculas biológicas tipo ADN o similar. Entre este tipo de radiaciones obviamente se encuentra la luz visible, infrarrojos, microondas, etc. Su efecto principal, debido a la absorción de la energía, es el calentamiento del medio y, en algún caso, pueden ser necesarias para activar algún otro tipo de reacción química, como la comentada anteriormente de la pigmentación de la melanina.

La exposición a radiaciones ionizantes (ultravioleta lejano, rayos X,...) sí que entraña un cierto riesgo de alteración molecular aunque, si la dosis es pequeña, obviamente es un efecto probabilístico y también lo será la probabilidad de efectos nocivos, siendo necesario valorar, en cada caso, los beneficios conseguidos frente a los riesgos asumidos al utilizarlas. En algunos casos, será necesario establecer dosis máximas de exposición en un intervalo temporal para minimizar los riesgos pero, en la actualidad, sería por ejemplo impensable renunciar al poder diagnóstico de, entre otras radiaciones, las radiografías sanitarias y/o industriales. Radiaciones de este tipo (rayos X) generadas por un acelerador (normalmente lineal) se utilizan también para los tratamientos de radioterapia de haz externo.

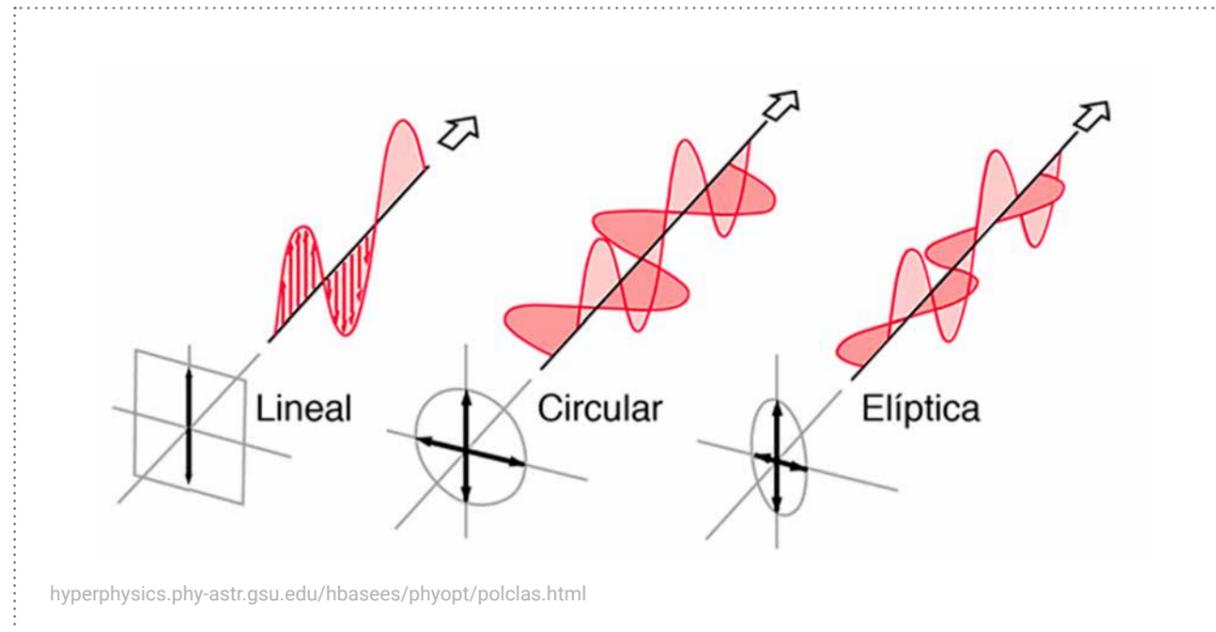
Su misión es destruir el tumor cancerígeno resultando ser una aplicación destructiva pero beneficiosa. La radiación no distingue entre células benignas y malignas, por lo que es necesario determinar con precisión la posición y tamaño del tumor y, si es posible, aplicarla en forma de multihaz, desde diferentes direcciones, que converjan sobre el tumor para que la densidad de energía solo supere los límites 'mortales' en la zona del tumor cancerígeno y no en las células adyacentes.

En nuestro entorno cotidiano, probablemente uno de los mayores usos de las ondas electromagnéticas es la transmisión de información; para ello debemos codificar la onda de alguna manera que luego podamos decodificar para extraer la información transmitida.



◀
Torre España,
Madrid.

“En nuestro entorno cotidiano, probablemente uno de los mayores usos de las ondas electromagnéticas es la transmisión de información”.



Las señales de radiofrecuencia y las microondas son las frecuencias más usadas, cuando hablamos de propagación libre en el espacio, y el infrarrojo y las microondas cuando hablamos de propagación guiada.

Quizás en este momento debemos recuperar el concepto de polarización. Hemos dicho anteriormente que la amplitud de la onda, E_0 , nos daba información de la dirección de vibración del campo eléctrico. Si esta dirección de oscilación del campo eléctrico permanece constante, diremos que la onda está polarizada linealmente en la dirección dada. Sin embargo es posible que cambie durante el proceso de propagación, si la dirección del campo gira conforme la onda se propaga, manteniendo la amplitud constante en todas las direcciones perpendiculares a la dirección de propagación, diremos que tiene una polarización circular (el vector amplitud campo eléctrico barre círculos conforme se propaga la onda), mientras que hablaremos de polarización elíptica si la amplitud del campo eléctrico oscila entre un valor máximo y otro mínimo durante esa propagación. En este caso barrerá una elipse y de ahí que la llamaremos polarización elíptica.

▲
Tipos de polarización de las ondas (descomposición de la onda en dos ondas planas perpendiculares en el caso de la polarización circular y elíptica).

“En nuestro entorno cotidiano, probablemente uno de los mayores usos de las ondas electromagnéticas es la transmisión de información”.

La observación de las antenas convencionales para sintonizar la televisión terrestre nos sorprende con la disposición horizontal de los elementos de la misma, no por capricho sino para captar mejor la señal de TV que suele tener polarización lineal en la dirección horizontal. Las antenas lineales de radio de los aparatos receptores suelen alargarse en la dirección vertical por la misma razón que ya sabrá discernir el lector. Si nos fijamos en las polarizaciones circulares, nos daremos cuenta de que tenemos dos sentidos de giro del campo eléctrico, dando lugar a polarización levógira o dextrógira. Probablemente el lector ya conozca que la visión en tres dimensiones es posible porque vemos el mismo objeto desde dos posiciones próximas pero diferentes, la posición de los ojos. Para poder visualizar una película en 3D necesitaremos pues rodar dos películas con dos cámaras próximas. Luego en la proyección es necesario asegurarnos de que cada ojo vea su película correspondiente. Esa selección se consigue proyectando cada una de las películas con polarización diferente, y seleccionando con el correspondiente polarizador (lámina que solo deja pasar la luz con una polarización determinada) la película que ve cada ojo, acción que se consigue con las típicas gafas. La interpretación subjetiva de nuestro cerebro hará el resto del trabajo y percibiremos la película en 3D. Se utilizan gafas con polarizadores circulares, levógiro en un ojo y dextrógiro en el otro, porque si fuesen polarizadores lineales cualquier leve inclinación de la cabeza, para apoyarla en la cabeza de la pareja o simplemente esa pequeña cabezada inoportuna, dificultarían el objetivo perseguido.

Poco hemos hablado del campo magnético en una onda electromagnética, esto es debido a que, como hemos citado anteriormente, siempre está asociado al campo eléctrico y presentando un comportamiento similar. Cuando hablamos de ondas electromagnéticas propagándose en medios ilimitados, siempre tenemos que el campo eléctrico y el magnético son perpendiculares y, a su vez, son perpendiculares a la dirección de propagación (se dice que forman un triédro dextrógiro ya que responden a la orientación habitual de los ejes de coordenadas). Por eso decimos que las ondas electromagnéticas son transversales, pero es prudente recalcar que esto no ocurre siempre cuando consideramos una propagación confinada, por ejemplo en una guía de ondas metálica donde pueden aparecer campos eléctricos y magnéticos que no sean perpendiculares ni entre sí, ni a la dirección de propagación.



No podemos terminar sin dedicar unas líneas a dos situaciones ampliamente conocidas, el retraso en la imagen y sonido en las retransmisiones, generalmente deportivas, vía satélite y el uso de los cables coaxiales en los laboratorios de investigación y medida o en la transmisión de señales.

Todos hemos 'sufrido' a la hora de ver una retransmisión deportiva, o de cualquier otro tipo, que si simultaneábamos el televisor con el transistor el sonido de este último iba del orden de un segundo, o incluso más, por delante de la imagen y sonido del primero. Los satélites de telecomunicaciones (Astra, Hispasat, etc) están anclados a la Tierra en órbitas geoestacionarias para girar solidariamente con ella y cubrir siempre la misma zona de cobertura. Dichas órbitas se encuentran a una distancia aproximada de 36.000 km sobre la superficie terrestre. En una retransmisión, la señal (onda electromagnética en el rango de las microondas) suele realizar el viaje de ida y vuelta al satélite dos veces (foco de la noticia-satélite-centro de realización-satélite-receptor doméstico), una distancia aproxima-

da de 144.000 km que a la velocidad 'c' de las ondas electromagnéticas supone un tiempo de 0,48 segundos, a lo que habrá que sumarle algunas décimas de segundo más debidas al procesado digital de la señal. La señal de radio en propagación terrestre apenas recorrerá unos centenares de kilómetros, que en el peor de los casos propagándose a la misma velocidad 'c' le supondrá escasamente uno o dos milisegundos.

Finalmente debemos dedicarle unas líneas al cable coaxial, dos conductores cilíndricos coaxiales, uno normalmente macizo dentro de otro hueco, siendo el externo normalmente una malla de hilos metálicos para conferirle cierta flexibilidad. Es el tipo de cable que propaga la señal desde la antena de TV hasta el receptor y a su vez el tipo de cable más usado en los laboratorios de investigación y medida.

Sus propiedades intrínsecas, de apantallar el interior de lo que ocurre en el exterior y también el exterior de lo que ocurre en el interior, lo convierten en el cable ideal tanto para evitar interferencias en la señal que propaga

como para que esta genere 'ruido' hacia el exterior. En este caso se trata de propagación guiada y los campos están confinados y se propagan en su interior entre ambos conductores. Una vez fijado el aislante que rellena el espacio entre los dos conductores, hay dos características que condicionan su uso: que la potencia transmitida a lo largo del cable sea máxima y/o que la atenuación en la propagación de la señal sea mínima. Si pensamos en propagar una onda TEM (transversal electromagnética), ambas propiedades dependen del cociente entre los radios de los dos cilindros (externo e interno). La primera propiedad, con dieléctrico aire o equivalente, se consigue con un cociente entre radios de 1,65 y la segunda con 3,65 y eso, trasladado a la impedancia del cable que también depende de dicho cociente, supone que la máxima transferencia de potencia se consigue para cables con impedancia de 30 Ω y la mínima atenuación para 77,5 Ω . Por esa razón, los cables de antena de TV utilizan cables similares a los del segundo tipo (impedancia 75 Ω), la señal es débil e interesa se atenúe lo mínimo posible antes de alcanzar el receptor. En sistemas que debemos soportar una

gran transferencia de potencia, para alimentar una antena que debe radiar luego esa energía a todo el espacio por ejemplo, habrá que utilizar los primeros. ¿Y en el laboratorio? En condiciones generales utilizaremos una solución intermedia, cociente entre radios igual a 2,3 e impedancia igual a 50 Ω , que supone una atenuación solo superior en un 10 % a la mínima y una transferencia de potencia posible de casi el 86 % de la máxima.

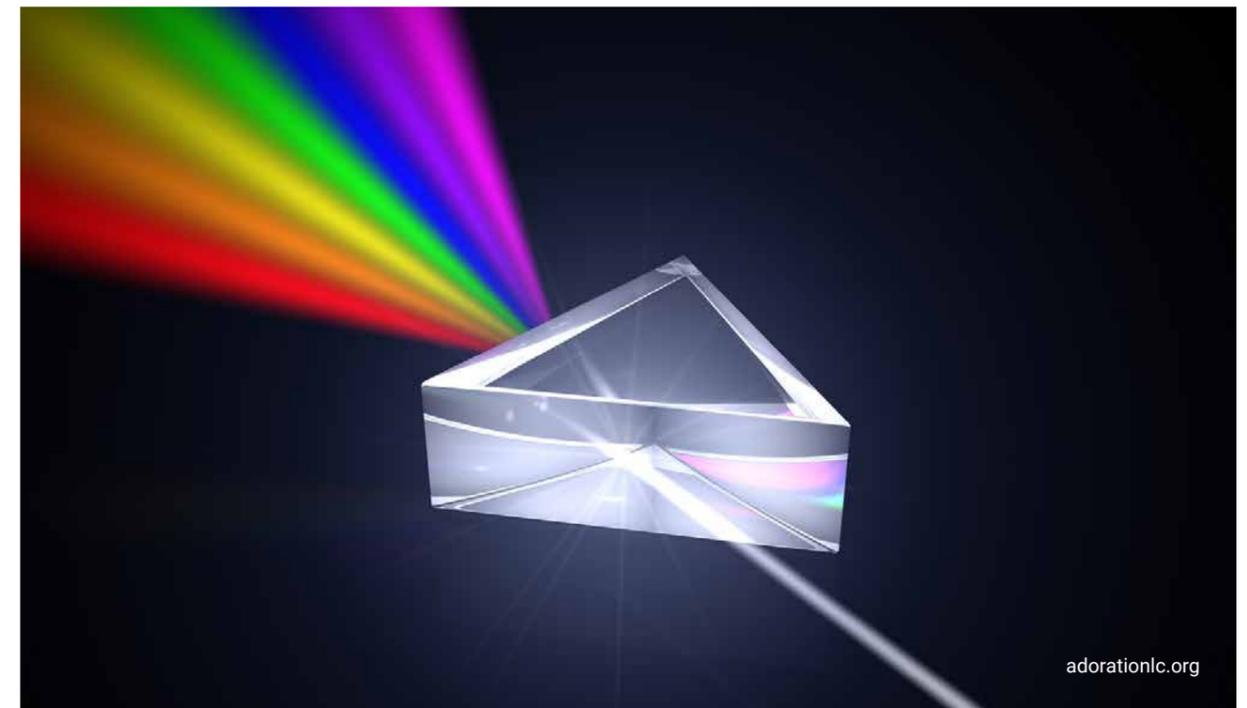
Probablemente el lector echará de menos otras referencias a radares meteorológicos o de vigilancia, láseres de corte industrial o quirúrgicos, radiaciones de electrodomésticos, interferencias entre señales, toda la problemática de compatibilidad electromagnética, etc. Todo ello no será más que una justificación adicional del título del artículo.

Juan Pablo Martínez Jiménez
Dpto. Física Aplicada
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

Cables coaxiales.



Luz blanca atravesando un prisma.



PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS



INSTRUMENTA

Depositorio de instrumentos históricos del laboratorio de la Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza.



Triquinoscopia

Es un microscopio compuesto de necesidad sencilla. A mediados del siglo pasado, se utilizó para la observación de los tejidos de los organismos vivos, pero la introducción del parafinado en la preparación de las muestras permitió su uso en la observación de las células y tejidos muertos.



INSTRUMENTA

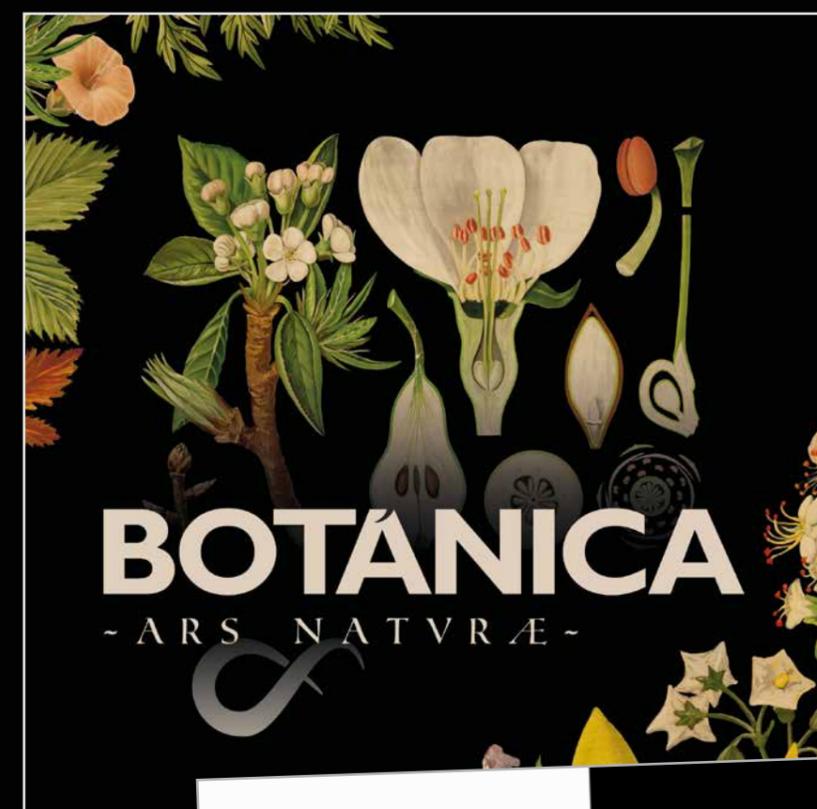


MIROBALANO, Prunus cerasifera

A diferencia de los otros especies del género, el mirobalano o cañal de agua no es un árbol frutal sino un árbol ornamental. Su fruto es el cañal de agua, que se utiliza como alimento para el ganado. Su madera es muy dura y resistente, por lo que se utiliza para la fabricación de herramientas agrícolas.



LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS



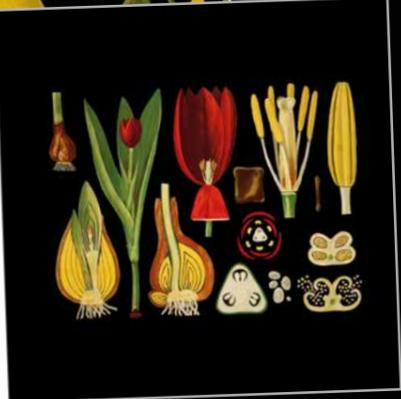
BOTÁNICA - ARS NATURÆ



Tulipano

Tulipa praecox L. (Syn. Liliaceae)

Fecha de edición: 2010



Descárgalas gratis



INSTRUMENTA
ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/instrumenta.pdf

LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS
ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/los_arboles_del_campus.pdf

BOTÁNICA ARS NATURÆ
ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/botanica_ars_naturae.pdf

CONCURSO DE CRISTALIZACIÓN EN LA ESCUELA DE ARAGÓN

El 4 mayo tuvo lugar la entrega de premios de la V edición del Concurso de Cristalización en la Escuela en Aragón, en el Aula Magna de la Facultad de Ciencias.

Hasta llegar al día de la final, 1429 estudiantes estuvieron realizando experimentos de cristalización en las aulas de los centros educativos, tutelados por sus profesores, con el objetivo de diseñar experimentos, aplicar el método científico, trabajar en equipo... y, por supuesto, disfrutar con la Cristalografía, la cristalización, en definitiva, disfrutar con la Ciencia.

El día de la final, la Universidad de Zaragoza recibió a participantes de 50 centros, fundamentalmente de Educación Secundaria (ESO, Formación Profesional y Bachillerato), si bien también participaron un Centro de Educación de Adultos de La Almunia, dos Centros de Primaria: C.E.I.P. Ramón y Cajal (Pina de Ebro) y C.E.I.P. Valdespartera (Zaragoza), y un grupo de la Escuela de Arte de Zaragoza. Estos centros proceden de 23 localidades aragonesas diferentes, en concreto, Aínsa, Albarracín, Andorra, Ateca, Ayerbe, Belchite, Binéfar, Borja, Bujaraloz, Calatayud, Cariñena, Castejón de Sos, Cella, Cuarte de Huerva, Ejea de los Caballeros, Épila, Huesca, La Almunia de Doña Godina, Maella, Mallén, Monreal del Campo, Pina de Ebro y Zaragoza.

Los equipos participantes presentaron sus trabajos en el hall de la Facultad de Educación: los cristales obtenidos, un póster en el que mostraban los objetivos que se habían marcado, la metodología aplicada así como los resultados y conclusiones obtenidos, y su cuaderno de laboratorio en el que se reflejaba el día a día del trabajo. Once equipos presentaron, además, videos científicos cortos sobre cristales y cristalización. Cuatro centros elaboraron blogs científicos sobre cristalización. A lo largo de la mañana los estudiantes presentaron y defendieron sus trabajos frente a un jurado de expertos en Cristalografía, Geología, Mineralogía, Química y Divulgación Científica, así como al numeroso público que esa mañana se acercó a ver los stands de los participantes.

En esta quinta edición, el nivel de los proyectos presentados fue excelente. Encontramos experimentos de cristalización con miel, proyectos con el objetivo de modificar la forma externa de los cristales añadiendo diferentes metales de transición, cristales coloreados con diferentes pigmentos e incluso curvas y gráficos

elaborados por los estudiantes que mostraban la relación entre la concentración de las disoluciones y el tamaño de los cristales.

En el acto final se entregaron los siguientes premios: premio al "Mejor póster" al IES Benjamín Jarnés (Belchite), premio al "Mejor blog científico" a la Escuela de Arte de Zaragoza, premio al "Mejor video" al I.E.S. Sierra de San Quílez (Binéfar), premio por "Votación popular" al Colegio Santa Ana (Zaragoza), Premio "Mención especial del Jurado" al I.E.S. Juan de Lanuza (Borja), al C.E.I.P. Ramón y Cajal (Pina de Ebro) y al I.E.S. Castejón de Sos (Huesca); accésits al I.E.S. Miguel de Molinos (Zaragoza), I.E.S. de Maella (Maella) y al Colegio Santa Ana (Zaragoza).

Por último, se entregó el tercer premio a Escuelas Pías Santa Engracia (Zaragoza), el segundo premio al I.E.S. Salvador Victoria (Monreal) y el primer premio al I.E.S. Zaurín (Ateca).

El concurso se apoya básicamente en dos pilares, por una parte, el profesorado de los centros educativos, que decide por iniciativa propia involucrarse en este proyecto y anima y motiva a sus estudiantes para que participen. El segundo pilar fundamental, para el desarrollo del proyecto, es contar con la financiación necesaria. Desde la organización se agradeció a los patrocinadores, fieles patrocinadores, que año tras año apoyan esta actividad: Vicerrectorado de Estudiantes, Instituto de Ciencias Ambientales de Aragón, Facultad de Ciencias, Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea, Facultad de Educación, Delegación del CSIC en Aragón, Dpto. de Ciencias de la Tierra, Dpto. de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Oficina de Atención a la Diversidad, Cátedra Industrias Químicas del Ebro, Cátedra Savirón de Divulgación Científica, Real Sociedad Española de Química, Sociedad Española de Mineralogía, Grupo Especializado en Cristalografía y Crecimiento Cristalino y Factoría de Cristalización.

Dados los estupendos resultados obtenidos y la altísima motivación por parte de los participantes, la sexta edición del Concurso de Cristalografía en la Escuela de Aragón comenzará dentro de poco. Os mantendremos informados.

Equipo Editorial



Diferentes momentos del concurso.



Fotografías cedidas por la organización.

SEMANA DE INMERSIÓN EN CIENCIAS 2018

Durante la *semana del 11 al 15 de junio* la Facultad albergó una nueva edición de la *Semana de Inmersión en Ciencias*, una de las actividades dirigidas a estudiantes de enseñanza secundaria y bachillerato con más solera y que despierta mayor interés. Este año, 112 estudiantes de 1º de bachillerato y 4º de la E. S. O fueron seleccionados entre más de 350 solicitudes. La acogida tuvo lugar en el Aula Magna donde se veían caras de curiosidad y, sobre todo, mucha ilusión.

Los estudiantes, divididos en secciones, pasaron la semana en los distintos laboratorios de la Facultad realizando actividades tutelados por profesores, investigadores y personal de los servicios de apoyo a la investigación (SAIs) de nuestro centro y de los institutos de investigación relacionados (ISQCH, ICMA, CIBA, IUMA, IUCA). En total, más de 150 personas involucradas en el diseño y desarrollo de las actividades a los que el Decanato agradece su colaboración y dedicación año tras año, en la que sin duda es la actividad más emblemática de la Facultad para centros de secundaria.

La Semana contempla la realización de un amplio abanico de actividades. Así, los estudiantes tuvieron la oportunidad de familiarizarse con distintos aspectos de la Ciencia. En la *sección de Física* se trataron temas como los líquidos criogénicos y sus aplicaciones, el diseño microelectrónico, los nuevos materiales, partículas elementales e interacciones fundamentales, distancias en el Universo, impresoras 3D con Hardware y Software libres, técnicas de holografía e instrumentación en laboratorios de salud visual.

En la *sección de Biotecnología*, los alumnos tuvieron la oportunidad de familiarizarse con técnicas propias de temas como la Genómica, Biología Molecular, apoptosis, inmunidad o cáncer entre otros. Uno de los días los participantes visitaron las instalaciones del Centro de Investigación Biomédica de Aragón (CIBA).

En la *sección de Química* los alumnos ataviados con sus batas y gafas de seguridad fueron capaces de sintetizar aditivos alimenticios, descontaminar agua, preparar polímeros, detectar distintos agentes responsables de los aromas del vino, entre otros temas de apasionantes.

Los alumnos de este año de la *sección de Geología* en su salida de campo fueron capaces de detectar dolinas con modernos sistemas de detección, y se familiarizaron con diversos conceptos relacionados con rocas sedimentarias, volcanes y se iniciaron en la preparación y estudio de fósiles.

Y por último, en la *sección de Matemáticas* los alumnos trabajaron resolviendo problemas en grupo, enfrentándose a la estadística en la vida cotidiana o a la representación y estudio de superficies mediante herramientas informáticas.

Tras una semana llena de emociones y descubrimientos, la semana concluyó con la sesión de clausura, en la que se hizo entrega de los diplomas de asistencia a los participantes.

Elísabet Pires
Vicedecana de Proyección Científica y Social

“La Semana contempla la realización de un amplio abanico de actividades”.

►
Diferentes momentos de las jornadas.



Fotografías cedidas por la Facultad de Ciencias.

ENCUENTROS CON LA CIENCIA 2018

Los segundos jueves de cada mes, los amantes del conocimiento tienen una cita en "Encuentros con la Ciencia", en Ámbito Cultural de El Corte Inglés de Zaragoza. El ciclo consta de nueve charlas de carácter divulgativo cuyo principal objetivo es acercar la Ciencia a la sociedad.

Encuentros con la Ciencia en Zaragoza lleva desarrollándose de forma ininterrumpida desde hace quince años con un gran éxito de asistencia de público y cuen-

ta, en su organización, con la participación de distintas instituciones académicas, profesionales y de divulgación científica.

Las temáticas desarrolladas en las charlas durante la edición de 2018 han sido muy variadas y han contado con la asistencia de un numeroso público.

Equipo Editorial



PROGRAMA "ENCUENTROS CON LA CIENCIA 2018"

- "Quiralidad, la Química a través del espejo"
Fernando Gomollón Bel
11 de enero
- "La seguridad de los alimentos, una responsabilidad compartida"
Juan José Badiola Díez
8 de febrero
- "La magia de los cristales"
Fernando J. Lahoz Díaz
8 de marzo
- "Un mundo lleno de ondas (electromagnéticas)"
Juan Pablo Martínez Jiménez
12 de abril
- "Cómo mejorar nuestro liderazgo"
Javier Aceña Medina
10 de mayo
- "El Mundo del Silencio y la Arqueología"
Manuel Martín-Bueno
14 de junio
- "Ordesa y Monte Perdido, joyas de la naturaleza aragonesa".
Javier del Valle Melendo
18 de octubre
- "Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, 100 años de gestión para la conservación y usos compatibles".
Manuel Montes Sánchez
8 de noviembre
- "¿Por qué hemos subido a la Luna y no hemos curado el cáncer todavía?".
Alberto Jiménez Schuhmacher
13 de diciembre



“Las temáticas desarrolladas en las charlas durante la edición de 2018 han sido muy variadas”.

Diferentes momentos de las jornadas.



Fotografías cedidas por la organización.



Diferentes momentos de las jornadas.

PRÓXIMAMENTE:

ENCUENTROS CON LA CIENCIA

Ciclo de charlas de divulgación científica



**“ORDESA Y MONTE PERDIDO,
JOYAS DE LA NATURALEZA ARAGONESA”**
Javier del Valle Melendo
18 de octubre

**ÁMBITO CULTURAL
EL CORTE INGLÉS**
Paseo de la Independencia 11
Zaragoza

OCTUBRE-DICIEMBRE 2018 - 19'30 H.

ORGANIZAN:
Ana Isabel Elduque (Universidad de Zaragoza)
José Manuel Vicente (Academia General Militar)
Alberto Virto (Colegio Oficial de Físicos de Aragón)
Miguel Ángel Sabadell (MUY Interesante)
Juan José Ortega (Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra)
Juan Pablo Martínez (Real Sociedad Española de Física en Aragón)

PATROCINAN:
Cátedra José María Savirón de Divulgación Científica
Colegio Oficial de Físicos de Aragón
Real Sociedad Española de Física en Aragón
Cátedra IQE
Ámbito Cultural de El Corte Inglés

COLABORAN:
Academia General Militar de Zaragoza
Revista MUY Interesante
Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra
Albireo Cultura Científica
Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza

**“PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO,
100 AÑOS DE GESTIÓN PARA LA CONSERVACIÓN
Y USOS COMPATIBLES”**
Manuel Montes Sánchez
8 de noviembre

**“¿POR QUÉ HEMOS SUBIDO A LA LUNA
Y NO HEMOS CURADO EL CÁNCER TODAVÍA?”**
Alberto Jiménez Schuhmacher
13 de diciembre

PRÓXIMO TALLER DE IMPRESIÓN 3D

Dentro del programa de actividades que la Facultad de Ciencias ofrece cada año a los Centros de Educación Secundaria y Bachillerato, y dado el éxito conseguido en las ediciones anteriores, se ha organizado una nueva edición del Taller de impresión 3D, dirigido a estudiantes de 4º de ESO y 1º de Bachillerato.

De acuerdo con la experiencia acumulada de ediciones anteriores, proponemos para el curso 2018-19 una actividad que plantea el desarrollo de un proyecto de impresión 3D más orientado, en esta ocasión, al diseño e impresión de objetos que a la construcción de las impresoras. El objetivo principal es acercar a los alumnos de secundaria y bachillerato al mundo de la impresión 3D y mostrar su aplicación a múltiples facetas de la educación.

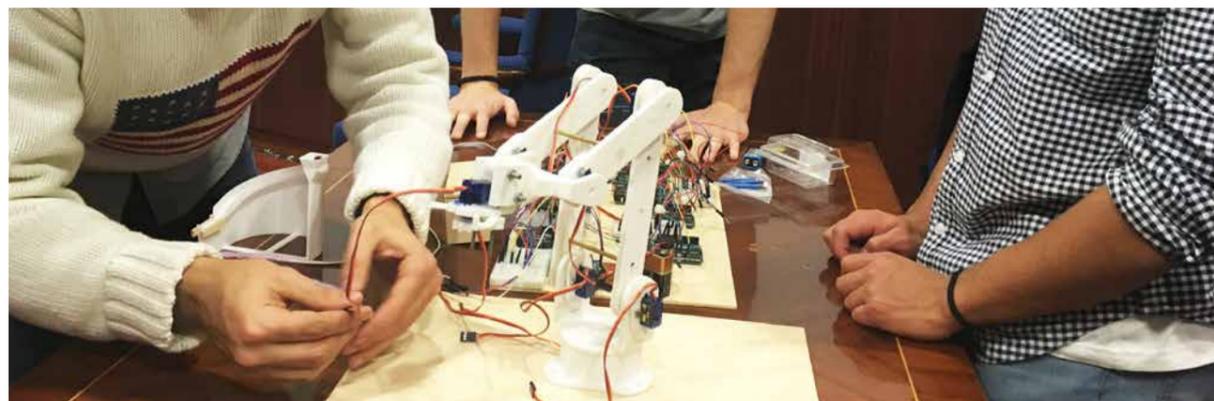
Como paso previo, se realizará una introducción general al software y hardware *open-source* que se utiliza habitualmente en las impresoras 3D, con el fin de adquirir los conocimientos iniciales necesarios para llevar a cabo el proyecto.

En el taller pueden participar tanto centros que posean ya una impresora 3D y deseen optimizar sus prestaciones como aquellos otros interesados en adquirir una nueva y ponerla en funcionamiento.

El taller constará de unas sesiones presenciales de octubre a enero, que se llevarán a cabo en la Facultad de Ciencias, en las que el Profesor José Barquillas presentará los fundamentos de la impresión 3D y el manejo de programas de diseño. A partir de enero, los equipos participantes desarrollarán de forma autónoma sus proyectos, que serán presentados en una sesión de clausura que tendrá lugar a finales del mes de mayo de 2019.

Equipo Editorial

Diferentes momentos del taller.



Fotografías cedidas por la Facultad de Ciencias.

Ya disponible en la red...



Descárgalo gratis:



https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/cientificamente_objetivo.pdf



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



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



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



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



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/17



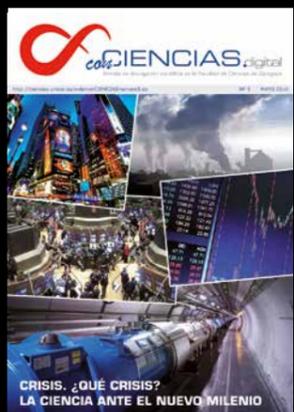
divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/18



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/19



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/20



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



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



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



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



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/21



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



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



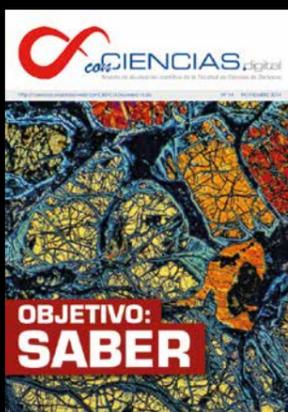
divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/11



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



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



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



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



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/16



¡DESCÁRGALAS GRATIS!



CIENCIA, siempre

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/22

