



*con* CIENCIAS.digital

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/25](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/25)

Nº 25 MAYO 2020



**EN TIEMPOS DE  
CONFINAMIENTO**

Nº 25 / MAYO 2020

**REDACCIÓN**

Dirección:  
Ana Isabel Elduque Palomo

Subdirección:  
Ángel Francés Román

Diseño gráfico y maquetación:  
Víctor Sola Martínez ([www.vicsola.com](http://www.vicsola.com))

Comisión de publicación:  
Blanca Bauluz Lázaro  
María Luisa Sarsa Sarsa  
María Antonia Zapata Abad

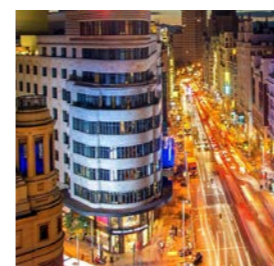
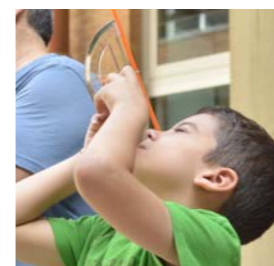
**EDITA**

Facultad de Ciencias,  
Universidad de Zaragoza.  
Plaza San Francisco, s/n  
50009 Zaragoza  
[web.ciencias@unizar.es](mailto:web.ciencias@unizar.es)

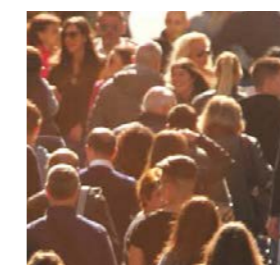
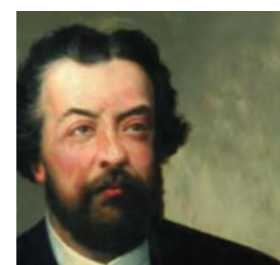
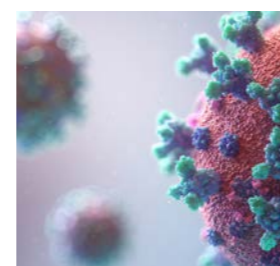
DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08  
ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)  
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.  
Fotografía de la portada: Ana I. Elduque,  
Catedral de Siracusa (Sicilia, Italia)

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



<b>EDITORIAL</b> .....	<b>2</b>
<b>EL NEUTRINO Y EL ORIGEN DE LA MATERIA</b> .....	<b>4</b>
Clara Cuesta Soria	
<b>CÓMO CONSTRUIR</b> .....	<b>16</b>
<b>"CONSTRUYENDO LA TABLA PERIODICA"</b> .....	
Miguel Calvo	
<b>ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS:</b> .....	<b>28</b>
<b>MÁS QUE LUDUS NATURAE</b> .....	
Gonzalo Pardo y Concepción Arenas	
<b>AGENDA 2030. ¿HACEN FALTA MÁS DATOS?</b> .....	<b>50</b>
Ana Isabel Elduque	
<b>LA ANTÁRTIDA,</b> .....	<b>60</b>
<b>UN PARAÍSO PARA LA INVESTIGACIÓN</b> .....	
Jesús Anzano, Jorge Cáceres, César Marina y L. Vicente Pérez-Arribas	
<b>BRUNO SOLANO Y LOS INICIOS</b> .....	<b>72</b>
<b>DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE ZARAGOZA</b> .....	
Fernando Bartolomé	
<b>GuíaME-AC-UMA: UN PROGRAMA DE APOYO AL</b> .....	<b>84</b>
<b>ALUMNADO DE ALTAS CAPACIDADES INTELECTUALES</b> .....	
Enrique Viguera Mínguez y Ana Grande Pérez	
<b>LAS PALABRAS DETRÁS DE LA PANDEMIA</b> .....	<b>94</b>
Ignacio de Blas	
<b>NOTICIAS Y ACTIVIDADES</b> .....	<b>108</b>
<b>ARTÍCULOS PUBLICADOS EN conCIENCIAS</b> .....	<b>126</b>
<b>COLABORADORES DE conCIENCIAS</b> .....	<b>132</b>



**EN TIEMPOS DE CONFINAMIENTO**

Este número será recordado por todos aquellos que editamos la revista como algo especial. Es el número del confinamiento.

La revista nació digital desde el inicio, aunque siempre hemos impreso unos cuantos números en forma tradicional. En el fondo, al igual que nos recuerdan algunos de nuestros lectores asiduos, somos unos románticos y el papel todavía conserva un glamour inalcanzable para una pantalla. La vocación digital es la que nos ha permitido elaborar este nuevo número sin grandes problemas técnicos ni mayores dilaciones en el tiempo. En el equipo de dirección no es que nos consideremos unos adelantados a nuestro tiempo, pues hace ya más de trece años que comenzamos esta andadura, pero las ventajas económicas que la edición digital ofrecía ante la impresa eran irrenunciables. Ahora, en plena pandemia, un nuevo argumento se une al anterior. Como casi todo en el mundo, si queremos hacer cosas deberemos ser capaces de hacerlo en el hiperespacio. conCIENCIAS seguirá siendo digital.

En este número nos encontramos variedad, que es nuestra seña de identidad. Jesús Anzano nos cuenta su aventura antártica. Por poco, como así le ocurrió a un compañero de expedición, se ven sorprendidos a su llegada por la explosión de la pandemia. Qué paradoja debe ser volver de la Naturaleza casi intacta a un mundo en cuarentena.

En otros artículos hemos visto cómo la Naturaleza ejecuta per se auténticas obras de arte dignas del más esplendido de los maestros. Los geólogos son bien conocedores de ello por todo el tiempo que emplean contemplándola. Concha Arenas y Gonzalo Pardo nos narran que, además de belleza, es posible encontrar mucha información si se mira con ojos conocedores de las Ciencias de la Tierra. No siempre el saber se esconde detrás de un frío laboratorio.

El año pasado se celebró el CL aniversario de la publicación de la Tabla Periódica. Mucho se ha trabajado sobre este tema y aquí nos hemos hecho eco de ello. En este número, Miguel Calvo profundiza en la historia de los elementos químicos. Son mucho más que un par de

letras y un hueco en la Tabla Periódica. Son los ladrillos de la materia de la que estamos hechos.

Hablando de materia. Los físicos casi nos tenían convencidos de que había materia y antimateria. Aunque no lo entendiéramos muy bien, estas ideas propias casi de la ciencia ficción suelen tener mucho predicamento entre los legos. Clara Cuesta nos quiere ofrecer un poco de luz científica sobre la cuestión y que consigamos entender mejor lo complejo que es el universo en el que estamos inmersos y del que formamos parte.

Y nos trasladamos a 1893, año en el que se inaugura la Facultad de Ciencias de Zaragoza. Fernando Bartolomé nos comenta el camino que llevó a su fundación utilizando, en su artículo, las propias palabras del que fuera su primer decano Bruno Solano.

La Agenda 2030, y los ODS como objetivos concretos, son mucho más que algo relativo al medioambiente. Afectan a nuestra sociedad de forma integral, en modos y hábitos. En horizontes temporales y geográficos. Si antes de la pandemia ya estaba claro que o cambiábamos todos o esto se nos iba de las manos, ahora, después de unas pocas semanas de enfermedad mundial, creo que los reluctantes a la idea de la necesidad de cambios deben haber disminuido notablemente. O, al menos, así lo espero y lo he querido reflejar en mi artículo.

Continuamos con un tema totalmente diferente. Con frecuencia oímos hablar de niños y adolescentes con altas capacidades. Nos imaginamos a niños con una inteligencia por encima de sus compañeros, aunque también los representamos un poco reclusos sobre sí mismos. Enrique Viguera y Ana Grande nos hacen ver que las altas capacidades no implican que los niños puedan

transitar solos por el camino del aprendizaje. Pero el acompañamiento que precisan es bastante diferente y debe ser establecido por auténticos especialistas.

Comenzamos hablando de la pandemia y finalizamos con ella. Llevamos días y días escuchando a especialistas, periodistas y tertulianos usar unos términos para referirse a la enfermedad y su evolución en lo que muy pocos han sido formados. Nacho de Blas lleva desde las páginas de la prensa diaria explicando la evolución de la enfermedad. Como experto del tema nos ofrece una primera entrega del tema, en esta ocasión sobre la terminología de la pandemia. Seguro que su lectura nos ayudará a entender mejor las explicaciones que dan los que auténticamente saben del tema.

Pues hasta aquí ha llegado el número. Espero que lo disfrutes y que no haga falta ningún confinamiento para que tengas tiempo para leerlo.

Hasta el próximo número.

Ana Isabel Elduque Palomo  
Directora de conCIENCIAS



“Como casi todo en el mundo, si queremos hacer cosas deberemos ser capaces de hacerlo en el hiperespacio. conCIENCIAS seguirá siendo digital”.

“Los neutrinos se han visto rodeados de misterio desde que su existencia fue propuesta por primera vez por Wolfgang Pauli en 1930”.

# El neutrino y el origen de la materia

Clara Cuesta Soria



**C**uando observamos el universo, vemos estrellas y galaxias de todas las formas y tamaños. Lo que no vemos, sin embargo, es que el universo está lleno de unas partículas llamadas neutrinos. Estas partículas, que no tienen carga y apenas tienen masa, se crearon menos de un segundo después del Big Bang, y un gran número de ellos permanecen intactos en el universo hoy en día porque interactúan muy débilmente con la materia; de hecho, cada centímetro cúbico de espacio contiene alrededor de trescientos de estos neutrinos creados tras el Big Bang.

Billones de neutrinos atraviesan nuestros cuerpos cada segundo, casi todos ellos se han producido en reacciones de fusión en el núcleo del Sol. Cuando las estrellas masivas mueren, la mayoría de su energía se libera en forma de neutrinos en violentas explosiones de super-

novas. Aunque las supernovas aparecen como objetos brillantes cuando se observan con telescopios ópticos, esta luz representa solo una pequeña fracción de la energía total de las supernovas.

Los físicos detectaron los primeros neutrinos de una supernova en 1987 cuando una estrella colapsó a unos 150000 años luz de distancia en la Gran Nube de Magallanes, la galaxia más cercana a la Vía Láctea. Dos grandes experimentos subterráneos: el detector Kamiokande en Japón y el experimento Irvine-Michigan-Brookhaven en EE.UU. detectaron neutrinos de la supernova 1987A horas antes de que la luz de la explosión llegara a la Tierra. El evento marcó el nacimiento de la astronomía de neutrinos. Nuevos telescopios de neutrinos se construyeron después, como el experimento IceCube en la Antártida, para detectar neutrinos producidos a miles de millones de años luz de distancia.

Sin embargo, los neutrinos siguen siendo las partículas elementales menos comprendidas. Es necesario extender el modelo estándar para incorporar la masa de los neutrinos, algunas teorías argumentan que, para ello, la hasta ahora válida distinción entre materia y antimateria debe abandonarse. La masa del neutrino puede, incluso, explicar nuestra existencia.

#### DESCUBRIMIENTO DE LOS NEUTRINOS

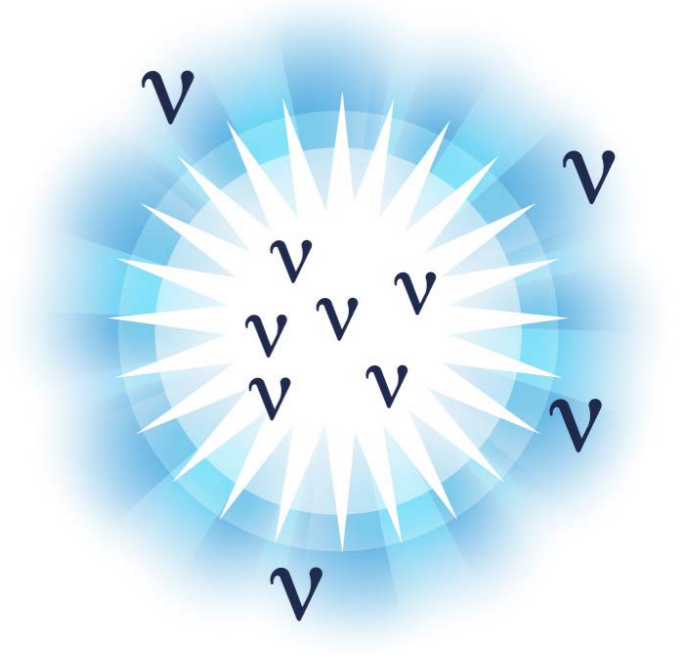
Los neutrinos se han visto rodeados de misterio desde que su existencia fue propuesta por primera vez por Wolfgang Pauli en 1930. En aquel momento, las personas expertas en Física estaban perplejas porque en la desintegración beta parecía romperse la ley de conservación de la energía. En la desintegración beta, un neutrón en un estado inestable se transforma en un protón y emite un electrón al mismo tiempo. Tras un periodo de confusión y debate, se encontró que la energía del electrón irradiado seguía un espectro continuo con energía inferior a la esperada. El hallazgo incluso condujo a Niels Bohr a especular que la energía podría no conservarse en el misterioso mundo de los núcleos.

Pauli también se esforzó en resolver este misterio. Incapaz de asistir a una reunión de física en diciembre de 1930, envió una carta a las "damas y caballeros radiactivos" en la que propuso un "remedio desesperado" para mantener la validez de la ley de conservación de la energía. El remedio de Pauli fue introducir una nueva partícula neutra. Apodado el "neutrón" de Pauli; la nueva partícula se emitiría junto con el electrón en la desintegra-

ción beta para que la energía total se conservara, y que sería invisible para las técnicas de detección de la época.

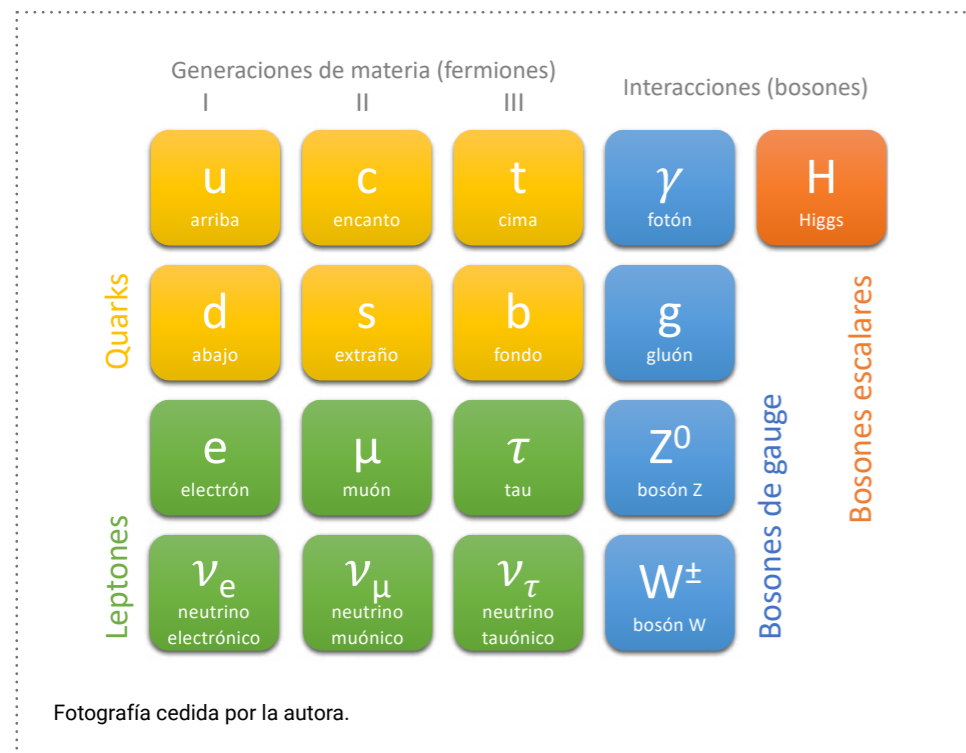
Dos años después, James Chadwick descubrió la partícula que ahora se conoce como el neutrón, pero estaba claro que esta partícula era demasiado pesada para ser el "neutrón" que Pauli había propuesto. Sin embargo, la partícula de Pauli jugó un papel crucial en la primera teoría de desintegración beta formulada por Enrico Fermi en 1933 y que luego se conoció como teoría de la interacción débil. Puesto que Chadwick había tomado el nombre de "neutrón" para su partícula neutra, Fermi tuvo que inventar un nuevo nombre; siendo italiano, "neutrino" era la opción obvia: un pequeño neutrón.

Como los neutrinos interactúan tan débilmente con la materia, Pauli apostó una caja de champán a que



▲  
**Neutrinos y el origen de la materia.**

DUNE



◀ **Modelo estándar de la física de partículas.**

interpretación más probable de este resultado es que los neutrinos muónicos se convirtieron u “oscilaron” en neutrinos tauónicos al pasar por la Tierra, invisibles para Super-Kamiokande pues era incapaz de identificar neutrinos tauónicos.

Super-Kamiokande también observó el déficit de neutrinos solares. Las reacciones de fusión que tienen lugar en el Sol solo producen neutrinos electrónicos, pero estos pueden oscilar posteriormente en los neutrinos muónicos y tauónicos. Fue el equipo del Observatorio de Neutrinos de Sudbury (SNO), en Canadá, el que pudo identificar cuántos neutrinos muónicos o neutrinos tauónicos interaccionan en el detector, confirmando que el número total de los neutrinos del Sol estaba de acuerdo con los cálculos teóricos. Los resultados de SNO combinados con los de Super-Kamiokande proporcionaron evidencia clara de neutrinos masivos y ambos experimentos ganaron el Premio Nobel de Física en 2015.

“En 1998, la colaboración Super-Kamiokande anunció la primera evidencia de neutrinos masivos.”

nadie detectaría uno. De hecho, este fue el caso hasta 1956, cuando Clyde Cowan y Fred Reines detectaron los antineutrinos emitidos por un reactor nuclear en el río Savannah en Carolina del Sur, EE.UU. Cuando su resultado se anunció, Pauli satisfizo su apuesta.

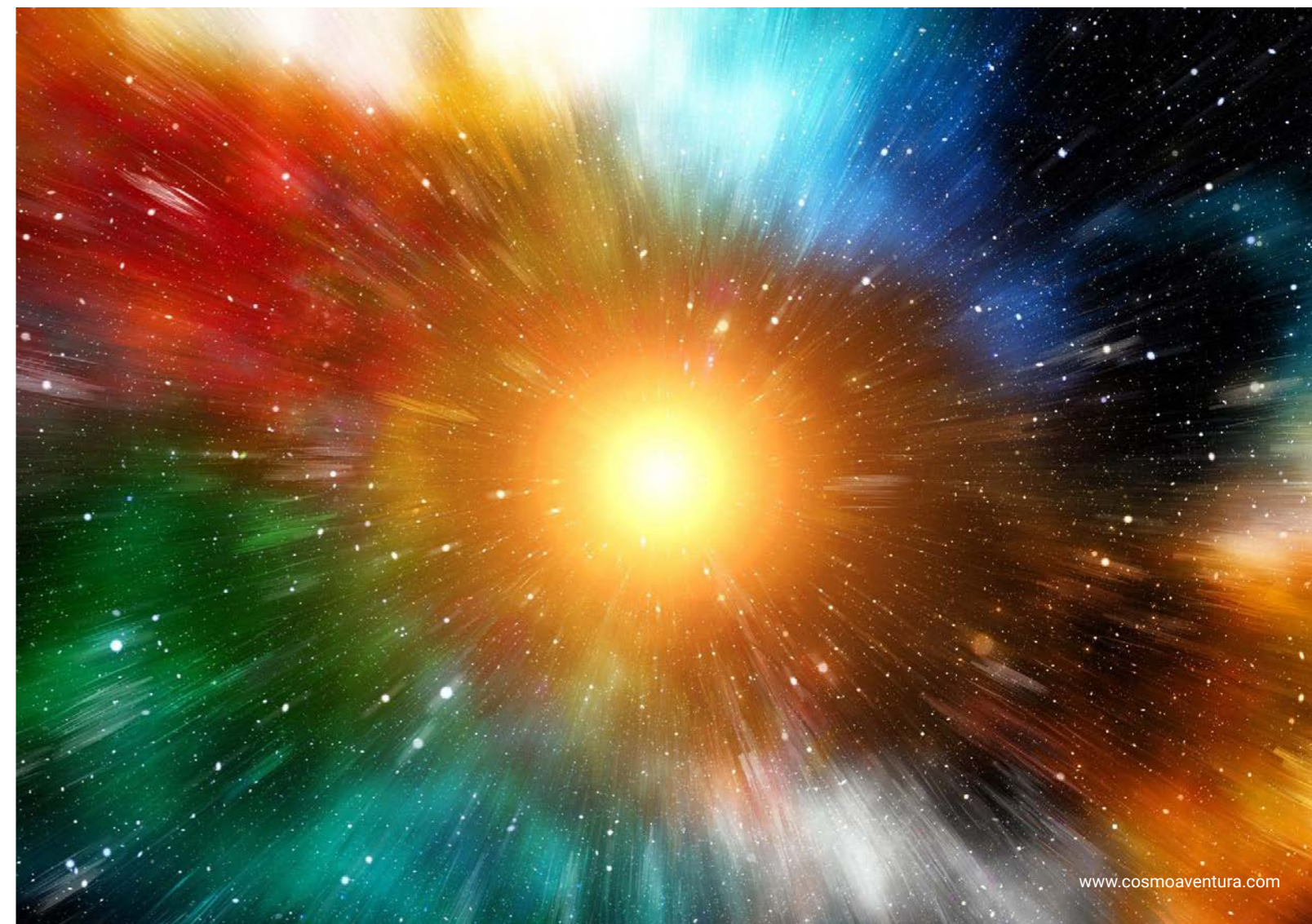
**EL MODELO ESTÁNDAR**

Ahora sabemos que todas las partículas elementales, seis quarks y seis leptones, se agrupan en tres familias o generaciones. La materia común está construida a partir de miembros de la generación más ligera: los quarks arriba (“up”) y abajo (“down”) que forman protones y neutrones; el electrón y el neutrino electrónico involucrado en la desintegración beta. La segunda y tercera generación comprenden versiones más pesadas de estas partículas con los mismos números cuánticos. Los análogos del electrón se llaman muon y tau, mientras que el neutrino muónico y el neutrino tauónico son los correspondientes al neutrino electrónico. A cada partícula le corresponde una antipartícula con carga eléctrica opuesta. El modelo estándar también incluye un conjunto de partículas que transportan las fuerzas entre estas partículas elementales. El fotón media en la fuerza electromagnética, las partículas masivas  $W^+$  y  $W^-$  en la fuerza débil y ocho gluones en la fuerza fuerte.

Todas las partículas que componen la materia tienen masa, desde la más ligera, el electrón, a la más pesada, el quark cima (“top”). A pesar de que el modelo estándar no puede predecir sus masas, proporciona un mecanismo por el cual las partículas elementales adquieren masa al interactuar con el bosón de Higgs. Sin embargo, en el modelo estándar el neutrino no puede interactuar con el bosón de Higgs y por lo tanto no adquiere masa.

**EVIDENCIA DE LA MASA DE NEUTRINOS**

En 1998, la colaboración Super-Kamiokande anunció la primera evidencia de neutrinos masivos. Habiendo sobrevivido a todos los desafíos experimentales desde finales de los años setenta, el modelo estándar resultaba incompleto. Super-Kamiokande detectó en Japón neutrinos atmosféricos, producidos al interactuar los rayos cósmicos con núcleos de oxígeno o nitrógeno en la atmósfera. Como la Tierra es esencialmente transparente para los neutrinos, los producidos en la atmósfera en el lado opuesto del planeta pueden alcanzar el detector sin ningún problema y Super-Kamiokande era sensible a esta dirección. El equipo descubrió que aproximadamente la mitad de los neutrinos atmosféricos del otro lado de la Tierra se perdieron, mientras que no lo hicieron los producidos en el lado superior. La



### OSCILACIONES DE NEUTRINOS

En algunos aspectos, estos experimentos son análogos a interferómetros, sensibles a pequeñas diferencias en frecuencia entre dos ondas interferentes. Dado que una partícula cuántica puede ser considerada como una onda con una frecuencia dada por su energía dividida por la constante de Planck, la interferometría puede detectar pequeñas diferencias de masa porque la energía y la frecuencia de las partículas dependen de su masa. La interferometría funciona en el caso de los neutrinos gracias al hecho de que los neutrinos creados en reacciones nucleares son el resultado de la mezcla de tres "estados propios masivos" diferentes. Esto significa, por ejemplo, que los neutrinos electrónicos se transforman lentamente en neutrinos tauónicos y de vuelta otra vez en electrónicos. La cantidad de esta "mezcla" es cuantificada por un ángulo de mezcla.

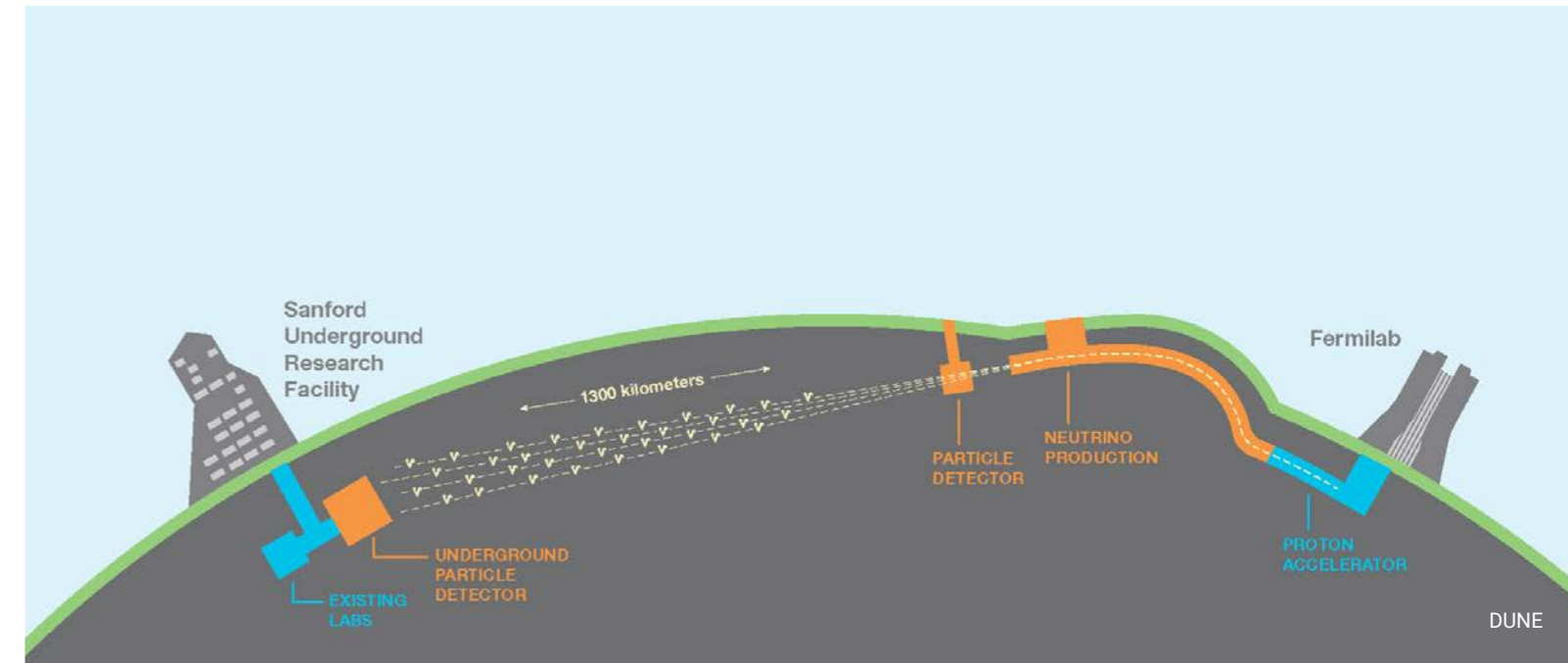
Una vez descubiertas las oscilaciones de neutrinos, el objetivo de los siguientes experimentos ha sido medir los parámetros de estas oscilaciones. Estos parámetros son los ángulos de mezcla, la diferencia de las masas de los diferentes estados al cuadrado y una fase relacionada con la posibilidad de que los neutrinos oscilen de manera diferente a su propia antimateria, los antineutrinos. Aunque sabemos las diferencias de masas no sabemos las masas absolutas de los neutrinos.

Estas propiedades han sido, en su mayoría, medidas con bastante precisión en diferentes tipos de experimentos, empleando tanto neutrinos solares o atmosféricos como neutrinos fabricados en la Tierra. Estos neutrinos se pueden crear en aceleradores de partículas como T2K en Japón o Minos en EE. UU. o en reactores nucleares como KamLAND en Japón, Double-Chooz en Francia o Daya-Bay en China. La dificultad es que los neutrinos solo parecen oscilar a largas distancias, motivando así que el detector de neutrinos se coloque a kilómetros de distancia de la fuente que los produce.

Sin embargo, hay un parámetro, la llamada fase de violación CP, que todavía no hemos podido determinar. Este parámetro trata de la posibilidad de que los neutrinos y antineutrinos oscilen de manera diferente. Aunque materia y antimateria se comportan de manera similar casi siempre, sabemos que hay algunos procesos físicos en los que presentan diferencias. La prueba más clara de ello es que vivimos en un Universo compuesto sobre todo por materia, en el que la antimateria prácticamente ha desaparecido.

#### ¿POR QUÉ EXISTIMOS?

Después del Big Bang, el universo estaba lleno de cantidades iguales de materia y antimateria, que se aniquiló a medida que el universo se enfriaba. Sin embargo,



Esquema del experimento DUNE.

aproximadamente una de cada 10000 millones de partículas de materia sobrevivió y luego creó estrellas, galaxias y vida en la Tierra. ¿Qué ha hecho posible este pequeño exceso de la materia sobre la antimateria para que podamos existir?

Antes se creía que materia y antimateria se comportaban igual (simetría de carga, C), pero en los años cincuenta se descubrió que no era cierto. Sin embargo, quienes estudian la Física se dieron cuenta de que si, además de cambiar partículas por antipartículas, se cambiaba el signo de cada coordenada espacial (simetría de paridad, P), como si se viera en un espejo, entonces sí que se comportaban igual.

Hasta donde se veía, materia y antimateria se comportaban de forma simétrica. La cuestión no quedó ahí, pues en la década siguiente, fijándose en el comportamiento de cierta partícula formada por quarks (el kaón), se descubrió que haciendo los dos cambios a la vez (CP), aún quedaba una pequeña diferencia. Sorprendentemente, de nuevo, ni siquiera la simetría CP era respetada.

Gracias al kaón ya sabemos que en los quarks esa simetría no se cumple, pero la cantidad en la que no se cumple es muy pequeña; tan pequeña que no "salen las cuentas" para explicar el exceso de materia sobre antimateria que observamos en nuestro universo.

Los neutrinos tal vez puedan explicar qué causó el exceso de materia, pero para ello se debe descubrir esta rotura de la simetría CP en los leptones. Su descubrimiento podría implicar que los neutrinos y antineutrinos se hubieran comportado de forma diferente durante la formación de los leptones, esto habría creado el exceso de materia. Tras múltiples interacciones de la materia, se crearon los quarks pesados creándose así la materia tal y como la conocemos.

#### DUNE

La próxima generación de experimentos de oscilaciones de neutrinos intentará medir los parámetros que faltan: la fase que da idea de la rotura de la simetría CP y el orden de las masas de los neutrinos, pues se conoce su diferencia, pero no cuál es mayor.



Con ese objetivo, el Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) en EE. UU. no solo estudiará neutrinos, también investigará su contraparte de antimateria. Los científicos buscarán diferencias en el comportamiento entre neutrinos y antineutrinos, que podrían dar pistas de por qué el universo está dominado por la materia. DUNE buscará también neutrinos producidos en explosiones de supernovas, que podrían revelar la formación de estrellas de neutrones y agujeros negros, así como si los protones “viven” para siempre o se desintegran. Observar la desintegración del protón nos acercaría a realizar el sueño de Einstein de una Teoría de la Gran Unificación.

DUNE se prevé que esté en operación en 2026. Estudiará los neutrinos creados en un nuevo haz de neutrinos de alta intensidad generado por un acelerador de protones en Fermilab, Illinois, EE. UU. Los neutrinos se caracterizarán en un detector cercano colocado muy cerca del haz de neutrinos y se compararán con los que lleguen a un detector ubicado a una distancia de 1300 km en el laboratorio subterráneo de Sanford Underground Research Facility en Dakota del Sur, situado en una antigua mina de oro a 1500 m bajo tierra. Este detector lejano estará compuesto por cuatro grandes detectores de argón líquido de 10 000 toneladas cada uno, volumen que equivale a dieciséis piscinas olímpicas.

La colaboración científica de DUNE está compuesta por más de mil colaboradores de más de ciento ochenta instituciones en más de treinta países. DUNE cuenta con una notable participación española por parte del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) de Madrid, el Institut de Física d'Altes Energies (IFAE) de Barcelona, el Instituto de Física Corpuscular (IFIC) de Valencia, la Universidad de Granada y el Instituto de Física Teórica (IFT) de Madrid.

#### ProtoDUNE

Construir los potentes detectores de DUNE supone un gran reto y para ello hay que probar que se cuenta con la tecnología necesaria, pues nunca se han construido detectores de argón líquido tan grandes.

Con este objetivo, en Ginebra, en la sede del CERN (Organización Europea para la Física de Partículas, una de las mayores entidades que participan en el proyecto), se han construido dos grandes prototipos de DUNE, desarrollando tecnología que se probará y ampliará cuando se fabriquen los grandes detectores de su versión definitiva.

Ha llevado dos años construir los dos primeros detectores de ProtoDUNE, y más de un mes llenarlos de argón líquido, que necesita mantenerse a temperaturas por debajo de -184 grados centígrados. Los detectores registran en ese argón trazas de partículas procedentes tanto de los rayos cósmicos como de los haces generados en el complejo de aceleradores del CERN. Una vez vistas las primeras trazas, los detectores se operan durante varios meses para probar la tecnología. Cuando los neutrinos atraviesan estos detectores chocarán con los núcleos del argón produciendo partículas cargadas, que ionizan los átomos de argón a lo largo de su trayectoria dejando trazas de iones en el líquido. Importantes campos eléctricos permiten la deriva de la carga eléctrica así producida y su lectura para la reconstrucción de la trayectoria de la partícula en tres dimensiones.

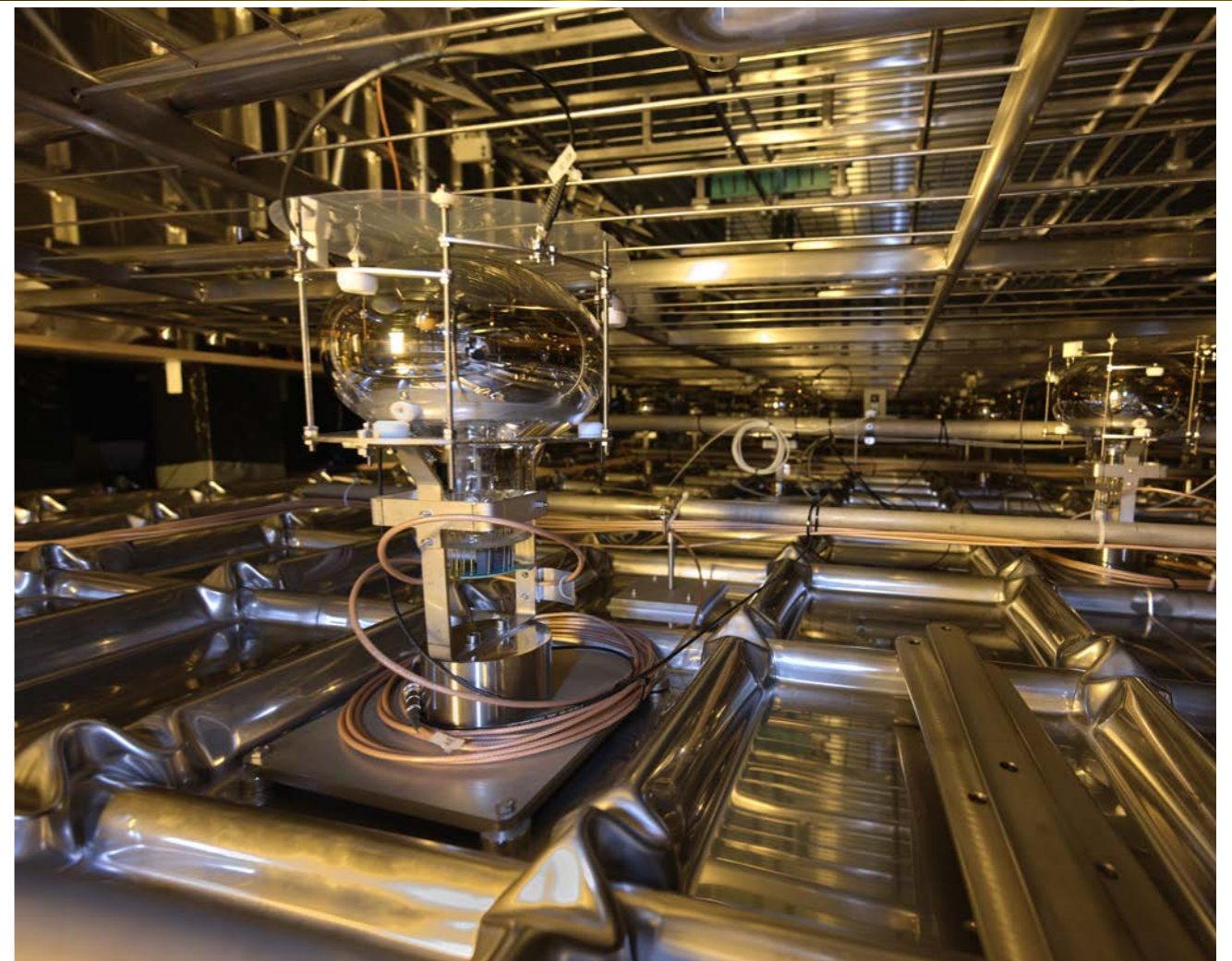
Un prototipo, ProtoDUNE Single-Phase (SP), utiliza argón líquido, y el otro usa argón tanto en estado gaseoso como líquido, de ahí el nombre en inglés de ProtoDUNE Dual-Phase (DP). Los enormes detectores de ProtoDUNE tienen el tamaño de un edificio de tres plantas con forma de gigantesco cubo. Por ejemplo, en

**“DUNE estudiará los neutrinos creados en un nuevo haz de neutrinos de alta intensidad generado por un acelerador de protones en Fermilab, Illinois, EE. UU.”**



Construcción del detector ProtoDUNE-DP en el CERN (arriba) y fotomultiplicadores instalados en ProtoDUNE-DP (abajo).

CERN





ProtoDUNE-DP la interacción de partículas tiene lugar en un volumen de  $6 \times 6 \times 6 \text{ m}^3$  y una masa de trescientas toneladas de argón.

El primer prototipo en operar fue el de una única fase, ProtoDUNE-SP que comenzó a tomar datos en septiembre de 2018. Aquí tiene una importante participación el IFIC pues ha desarrollado el sistema para controlar la temperatura del argón líquido, el más grande y preciso desarrollado para experimentos de física de partículas.

En ProtoDUNE-DP, la carga se extrae, amplifica y detecta en argón gaseoso sobre la superficie del líquido, lo que permite mejor reconstrucción de las interacciones. Este prototipo está operativo desde el verano de 2019 cuando fue llenado de argón líquido. El CIEMAT y

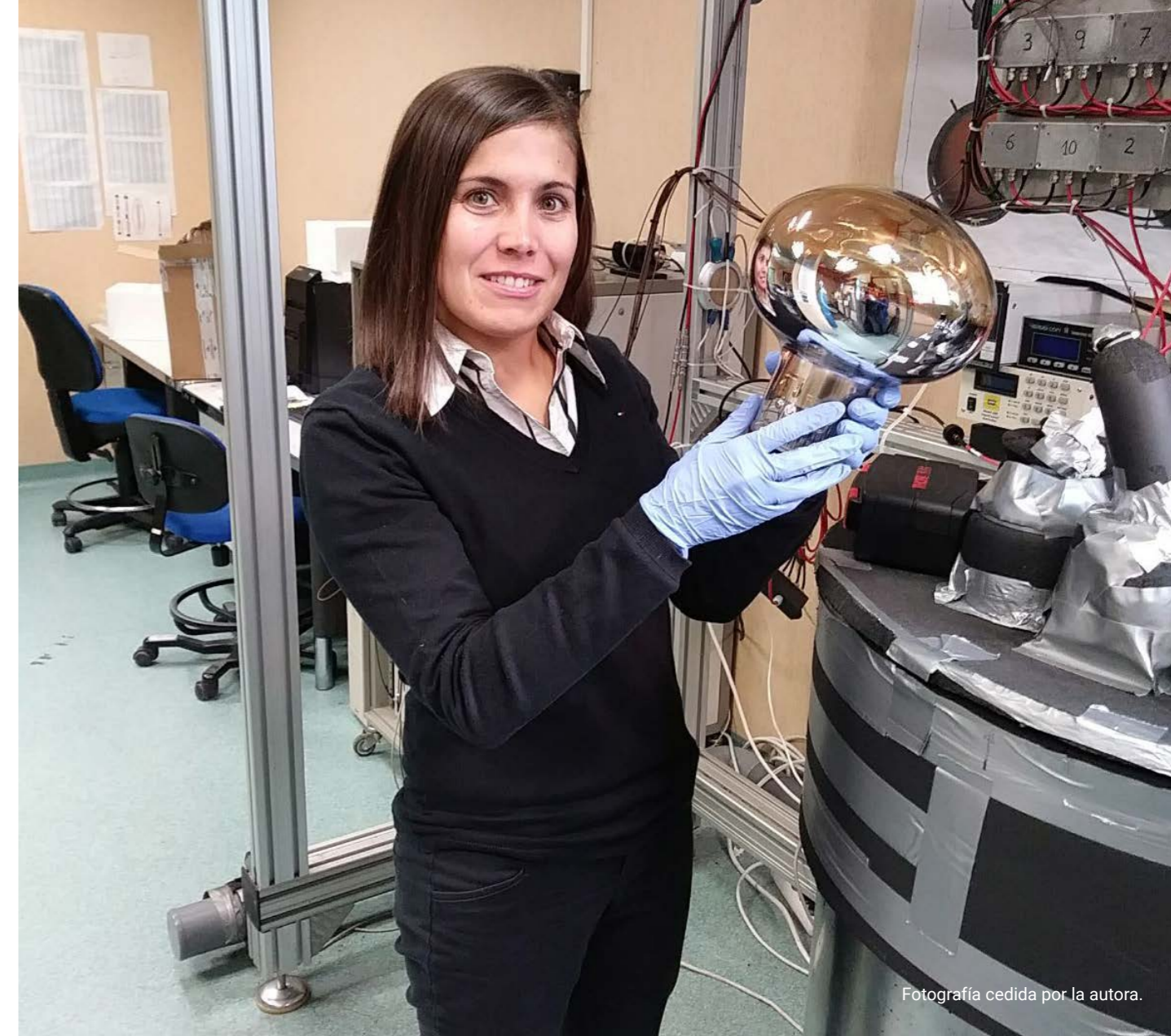
el IFIC son responsables del sistema de detección de luz de ProtoDUNE-DP, formado por 36 fotomultiplicadores que detectan y amplifican la luz producida por las interacciones de partículas en el detector y la convierten en una señal eléctrica.

#### EN RESUMEN...

Estamos en un momento increíble en la historia de la Física de Partículas. El bosón de Higgs, el misterioso objeto que llena nuestro universo y proporciona masa a las partículas, fue descubierto y la evidencia de masa de neutrinos es clara. El modelo estándar que se estableció a fines de los setenta debe ser completado, como mínimo para incorporar la masa de neutrinos. Para ello podemos necesitar abandonar la distinción



unsplash.com



Fotografía cedida por la autora.

entre materia y antimateria. Si es así, la masa de los neutrinos podría revelar el origen de nuestra existencia. El experimento DUNE en EE.UU. se está diseñando para medir esta diferencia entre el comportamiento de los neutrinos y los antineutrinos. Una cosa es segura: vamos a aprender mucho más sobre neutrinos y el origen de la materia en los próximos años.

#### REFERENCIAS

- The origin of neutrino mass, Hitoshi Murayama, Physics World, Volume 15, 2002
- Web de DUNE: [www.dunescience.org](http://www.dunescience.org)
- Vídeos sobre el proyecto DUNE: [www.fnal.gov/publication/science/lbnf-dune/photos-videos.html](http://www.fnal.gov/publication/science/lbnf-dune/photos-videos.html)

Clara Cuesta Soria  
Unidad de Física de Partículas  
Centro de Investigaciones Energéticas,  
Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)



# Cómo construir “Construyendo la tabla periódica”

“El éxito de una exposición de este tipo depende de que interese a todos los públicos, desde niños a profesores de la Facultad de Ciencias”.

Miguel Calvo



► Cartel de la exposición "Construyendo la Tabla Periódica".

**E**n el año 2019 se cumplió el 150 aniversario de la publicación por Dimitri Mendeleev de la Tabla Periódica de los elementos químicos. Para celebrarlo, se organizaron distintos actos a lo largo del mundo, y el Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza preparó una exposición, "Construyendo la Tabla Periódica", comisariada por el autor de este artículo. Además se ha publicado un libro con el mismo título y autor, editado por Prames con la colaboración del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza, que está extensamente ilustrado, con "lo que hemos expuesto y lo que nos hubiera gustado exponer". Es decir, puesto que por razones obvias era imposible contar físicamente con la "moneda" de oro macizo de una tonelada de peso, fabricada por la ceca de Perth (Australia), el tesoro de piezas de oro de la necrópolis de Varna (Bulgaria), el retrato de Lavoisier y su esposa, de Jacques Louis David, del Metropolitan Museum of Art de Nueva York, o un bloque

de plutonio de 5,6 kg (la mitad del necesario para fabricar una bomba atómica) al menos hemos conseguido que los interesados pudieran verlo en fotografía.

El éxito de una exposición de este tipo depende de que interese a todos los públicos, desde niños a profesores de la Facultad de Ciencias. Esto implica que no puede basarse en la discusión del cambio del valor del radio atómico a lo largo de la tabla, pero tampoco en la exhibición de cables de cobre, tubos de plomo, teléfonos móviles y envases de aluminio de bebidas refrescantes. Como era previsible, una parte significativa del público asistente fueron grupos de estudiantes guiados por sus profesores. Contando con ello, en la exposición se incluyó una Tabla Periódica (diseñada por Víctor Montalbán), construida mediante grandes cubos de

cartón, cada uno correspondiente a un elemento, montados de tal forma que pudieran girar individualmente en sentido horizontal, y con el símbolo, el descubridor, usos y detalles anecdóticos distribuidos a lo largo de las cuatro caras visibles. Este tipo de tabla puede ser especialmente útil para los estudiantes de enseñanzas básicas o medias, ya que permite distintas formas de interacción, desde "adoptar un elemento", del que se pueden incluir imágenes de objetos y usos corrientes en los que intervenga, y buscarlo en las vitrinas y en Internet, a alinear las luces que se producen en tubos de descarga con gases nobles y comparar los colores. Recorriendo el resto de las paredes de la sala, se desarrolló un cronograma representando el descubrimiento y uso de los elementos desde la Prehistoria hasta la síntesis de los últimos incluidos en la tabla.



► Vista parcial de la tabla periódica móvil.

CÓMO CONSTRUIR "CONSTRUYENDO LA TABLA PERIODICA"

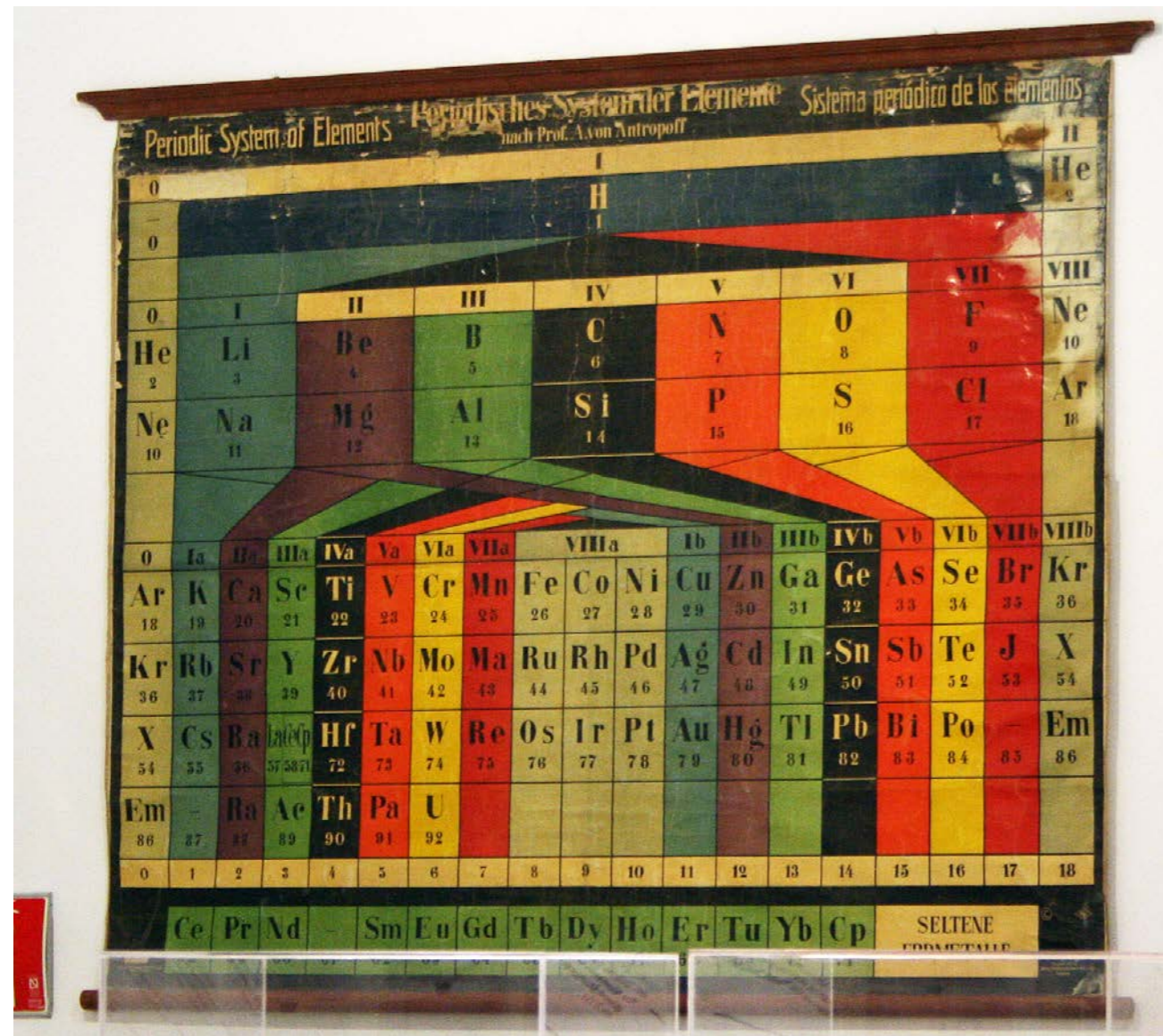
Además se mostraron en pequeñas vitrinas diversos ejemplos de tablas periódicas que forman parte de publicaciones antiguas, entre ellas las del propio Mendeleev, incluida en una separata de la publicación de 1879 en la revista *Moniteur Scientifique-Quesneville*, y otra en la edición en francés de 1895 de sus *Principios de Química*, ambas conservadas en la biblioteca de la Facultad de Ciencias. Otras tablas presentes fueron la publicada en 1874 por Rammelsberg (la primera tabla de Mendeleev publicada por otro científico) y, también, la primera incluida en un libro en castellano, publicado en 1884 por Santiago Bonilla. En una de las paredes se mostraba un espectacular ejemplo de Tabla Periódica mural, diseño de Andreas von Antropoff, de 1925, prestada por el Instituto Ramón y Cajal de Huesca.

La exposición principal, formada con objetos distribuidos en vitrinas, se diseñó para que se pudiera observar cómo se fueron descubriendo los elementos químicos, situando primero los conocidos en la Antigüedad (Au, Cu, Ag, Sn, Fe, Pb, Hg, C y S), continuando con los des-

**Sistema Periódico de los Elementos, en versión mural, según diseño de Andreas von Antropoff en 1925.**



Imágenes cedidas por el autor.



cubiertos por los alquimistas (As, Sb, Bi y P) y, sucesivamente, a lo largo de la historia de la química hasta el oganesón.

Un elemento puede representarse de distintas formas. Podría considerarse como una representación óptima la presencia de un mineral importante que lo contenga, el retrato del descubridor, la publicación original en la que se describe, y el elemento mismo, en forma visible, preferiblemente como un objeto llamativo y no muy conocido fabricado con él. No siempre pueden incluirse todos estos materiales, y además el espacio disponible no lo hubiera permitido, de modo que se pueden analizar distintos casos.

En el caso del cobre, por ejemplo, al haberse descubierto en la Prehistoria, no hay descubridor oficial ni publicación del descubrimiento, pero sí ejemplares de los minerales que se utilizaron inicialmente para obtenerlo, como el cobre nativo y la malaquita.



**Cobre nativo procedente de la mina Herrerías, La Puebla de Guzmán (Huelva).**

**Vitrinas de la exposición.** En el centro puede verse el retrato de Vauquelin grabado en papel y, en un disco de cromo, el volumen de la revista en el que publicó el descubrimiento de este metal y un ejemplar de crocoíta, el mineral en el que lo encontró. A la izquierda, minerales de titanio, molibdeno, niobio y tántalo, y medallas y objetos fabricados con esos metales.



◀  
**Cruz de Katanga, lingote-moneda de cobre de principios del siglo XX. Pesa 865 g y los brazos de la cruz miden 22 cm de longitud.**

Imágenes cedidas por el autor.

Como uno de los objetos representativos se seleccionó, entre otros, una cruz de Katanga, lingote-moneda fabricado por fundidores artesanales, utilizado hasta hace poco tiempo en la zona central de África con esas dos utilidades.

En la plata, una buena representación del elemento puede ser una moneda de ocho reales acuñada en Potosí, ejemplo de la famosa "pieza de a ocho", o "real de a ocho", sueño durante siglos de todos los piratas y buscadores de tesoros. De hecho, la moneda, procedente de un naufragio, estaba claramente dañada por el agua de mar. Junto con ella se mostraban en la exposición monedas de plata ibéricas y romanas, un ejemplar de plata nativa y un imaginativo grabado de cómo era la mina de Potosí, publicado en 1777 y realizado probablemente por un artista inglés, que no había visto ni Potosí ni una mina.

El plomo puede representarse entre otros materiales con proyectiles de honda romanos. En esa época, el plomo tenía aplicaciones como la construcción de tuberías, urnas funerarias y otros recipientes, pero se obtenía en cantidades enormes, como producto de la extracción de la plata de la galena argentífera. De hecho, en las fundiciones situadas en el SE de España,

muchas escorias muy ricas en plomo producidas en el proceso de copelación se arrojaban a las escombreras sin recuperar el metal, y fueron reaprovechadas a gran escala en el siglo XIX. El valor del plomo era pues mínimo, su disponibilidad enorme y compensaba su aplicación bélica.

El níquel fue obtenido oficialmente por primera vez en 1751 por Axel Fredrik Cronstedt, a partir de un mineral que, junto con otros, había representado un quebradero de cabeza para los mineros alemanes durante muchos años. Era semejante a otros que contenían cobre o plata, pero si intentaban extraerse estos metales, lo único que se obtenía eran escorias y humos venenosos de arsénico. La mitología minera alemana explicaba que los Kobolds y los Nickels, geniecillos malévolos que vivían en las minas, robaban la plata y el cobre de los minerales, dejándolos inservibles. Cuando Georg Brand y Axel Fredrik Cronstedt descubrieron que realmente contenían metales, pero desconocidos, los llamaron Kobalt y Nickel respectivamente, cobalto y níquel en castellano.

El níquel se utilizó inicialmente en forma de aleaciones, y hay que destacar que una aleación con el cobre se utilizó unos 20 siglos antes de su descubrimiento oficial, en monedas acuñadas en Bactria, en Asia Central.



A) Pieza de 8 reales plata, acuñada en Potosí en 1672.



B) Proyectil de plomo para honda, de 98 g de peso y 4,5 cm de longitud. Principios del siglo I a.e.c. Guerras sertorianas, Aragón.



C) Los nickels mitológicos intentan molestar a un imperturbable minero alemán. Medalla de níquel acuñada en 1936 por Vereinigte Deutsche Metallwerke A.G., Zweigniederlassung.



D) Anverso de una moneda acuñada en cuproníquel por Agatocles de Bactria hacia el año 190 a.e.c.



E) Medalla distribuida por la empresa Mond en 1925, para representar su método de purificación del níquel.

De estas monedas se saben los nombres de los gobernantes que las acuñaron (Euthydemus II, Agathocles y Pantaleon) y de estos gobernantes, además de que acuñaron monedas, poco más. El origen del metal y la tecnología utilizada se desconoce por completo.

Para que el níquel metálico pueda utilizarse como tal en muchas aplicaciones (básicamente, para que sea maleable) es necesario obtenerlo con un grado de pureza elevado. The Mond Nickel Co.Ltd. difundió el que utilizaba, la formación de tetracarbonilo de níquel, volátil y consecuentemente fácil de separar, no solamente en patentes y publicaciones, sino en una medalla simbólica, con el níquel representado como el demonio que le da nombre, bailando sobre las llamas y haciendo juegos malabares con una bolas (el monóxido de carbono).

**“El plomo puede representarse entre otros materiales con proyectiles de honda romanos.”**

El químico francés Louis Vauquelín descubrió en 1798 el cromo (en el mineral cromita) y el berilio (en el berilo y en la esmeralda), y el hecho de que precisamente el cromo fuera el responsable del color verde de la esmeralda. Un trabajo redondo aunque, dada su capacidad científica y el enorme número de materiales que estudió, lo que casi resulta sorprendente es que no descubriera ningún otro elemento.

El alumbre (sulfato de potasio y aluminio) se conoce al menos desde la época romana, y los primeros químicos descubrieron que en él se encontraban dos "tierras" (óxidos de elementos), la potasa y otra que no pudieron identificar. Ni siquiera la electrolisis permitió inicialmente la extracción del elemento desconocido (al parecer Hans Christian Ørsted lo consiguió, pero su trabajo no pudo reproducirse posteriormente), siendo obtenido por Friedrich Whöler en pequeñas cantidades

mediante un procedimiento químico, la reducción del cloruro de aluminio con potasio metálico. Las mejoras del procedimiento permitieron su extracción a escala industrial, pero su precio bajó simplemente desde el del oro al de la plata, y con producciones anuales de unas cuantas toneladas. Los objetos fabricados con aluminio son curiosidades históricas. Uno de ellos es la punta metálica situada en el extremo del obelisco del monumento a Washington, fabricada en 1884, de 2,85 kg de peso, y que costó 225 dólares. También se conservan esculturas, pequeños objetos de adorno y medallas.

La obtención por el procedimiento electrolítico, gracias al descubrimiento de que la alúmina podía disolverse en criolita fundida, y al desarrollo de generadores eléctricos eficaces, permitió que el aluminio se convirtiera en el segundo metal más barato y segundo producido en mayor cantidad, en ambos casos tras el hierro.

**“El químico francés Louis Vauquelín descubrió en 1798 el cromo y el berilio, y el hecho de que precisamente el cromo fuera el responsable del color verde de la esmeralda.”**

El "jacinto", piedra preciosa que corresponde al mineral que actualmente recibe el nombre de zircón, se conoce desde antiguo. En 1789, Martin H. Klaproth descubrió en él una "tierra nueva", pero hasta 1824 no se consiguió aislar el elemento presente, en una forma muy impura. En 1910 se obtuvo en forma pura, a partir de 1920 se utilizó en algunas aleaciones y, desde 1938, por su gran resistencia química, en la fabricación de algunos equipos industriales. Cuando se planificó la construcción del primer submarino de propulsión nuclear, el Nautilus, se consideró que el zirconio era un material ideal para la construcción de la cubierta de las barras de combustible, por su elevada resistencia química y su baja absorción de neutrones. Ahora bien, eso exigía purificarlo para hacerlo maleable, y además eliminar el hafnio, metal que siempre le acompaña en la naturaleza, y que absorbe intensamente los neutrones, por lo que obstaculizaría el funcionamiento del reactor.

**Ejemplar de esmeralda obtenido en A Franqueira (Pontevedra), un silicato de aluminio y berilio que debe su color verde a la presencia de cromo.**



**Medalla acuñada por la empresa The Aluminium Company Limited en 1889 con aluminio obtenido por proceso químico (izquierda) y medalla de aluminio acuñada por The British Aluminium Company Limited en 1894. Como puede verse por las líneas eléctricas y las máquinas de la imagen, la propia medalla señala que se utilizaba ya la electricidad para producirlo (derecha).**



Imágenes cedidas por el autor.



Bombillas de flash de un solo uso, rellenas de hilo de zirconio en una atmósfera de oxígeno. La ignición se produce al atravesar la corriente eléctrica un hilo de wolframio (arriba) y medalla acuñada en zirconio con el metal producido a partir de 1947 por el Albany Metallurgy Research Center para su uso en reactores nucleares (abajo).

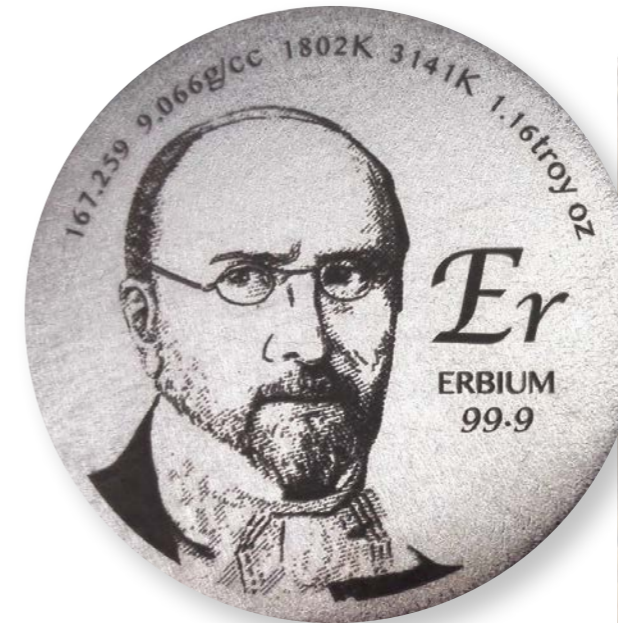


El Gobierno de los Estados Unidos encargó la tarea al Albany Metallurgy Research Center, que la llevó a cabo de manera eficiente como para poder acuñar medallas con el excedente

Una propiedad del zirconio es que su resistencia química depende mucho de la temperatura y grado de división. A temperatura elevada y finamente dividido, como polvo o esponja, es capaz de reaccionar de forma explosiva con el oxígeno. Esta propiedad hizo que se utilizara en una aplicación actualmente obsoleta pero muy visual: las bombillas de un solo uso para los flashes de fotografía.

De la misma forma se pueden exponer otros elementos, especialmente la mayoría de los metales. Los del grupo de las tierras raras se conservan en tubos de vidrio sellados rellenos de argón, ya que son generalmente inestables frente a la atmósfera ordinaria. Algunos, como el erbio no necesitan protección. Dado que no existe ningún objeto común fabricado con él, una forma

**“A temperatura elevada y finamente dividido el zirconio es capaz de reaccionar de forma explosiva con el oxígeno.”**



Disco de erbio con la imagen de su descubridor, Carl Gustaf Mosander, grabada con láser (izquierda) y medalla de homenaje a Pierre Curie y Marie Sklodowska Curie, obra de Ovide Yencesse, de alrededor de 1910 (derecha).



Imágenes cedidas por el autor.

de exponerlo es con una medalla de una serie fabricada por una empresa china, en la que aparecen las efigies de los descubridores grabadas en un disco del propio metal que descubrieron.

No todos los elementos son susceptibles de ser expuestos, unos porque no son visibles, salvo utilizando instalaciones especiales, como tubos de descarga (como los gases nobles), otros porque son peligrosos en caso de accidente (el bromo o los metales alcalinos) y otros porque son directamente peligrosos sin más (los radiactivos). Los segundos quedarían razonablemente documentados con los retratos de quienes los aislaron o descubrieron y los minerales que los contienen. En cuanto a los radiactivos, solo se expuso una pequeña muestra de uraninita, bien protegida para que no representara un riesgo. Los elementos de número mayor del einsteinio no existen realmente (las increíblemente pequeñas cantidades obtenidas se desintegraron inmediatamente después de su obtención). El californio, el elemento más pesado obtenible comercialmente, no es algo que

pueda exponerse al público, dado que además de ser extremadamente radiactivo es un emisor de neutrones, lo que exigiría un blindaje complejo y voluminoso, para algo realmente invisible. En estos casos, los retratos de los descubridores, en forma de fotografía o medalla, es prácticamente la única representación posible.

Miguel Calvo  
Dpto. de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos  
Facultad de Veterinaria  
Universidad de Zaragoza

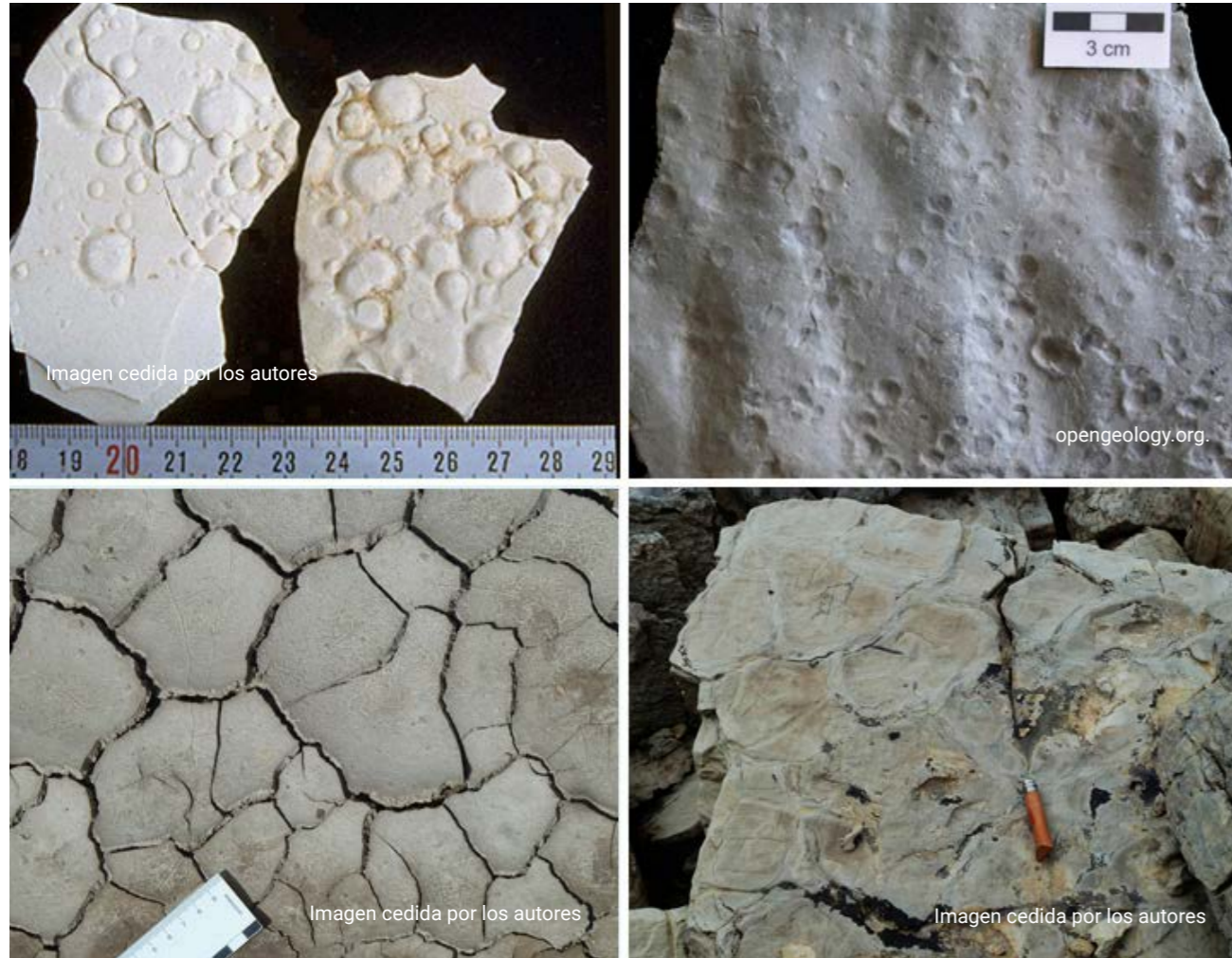


# Estructuras sedimentarias: más que *ludus naturae*

“Las estructuras sedimentarias brindan valiosa información sobre los procesos físicos, químicos y biológicos que actuaron durante y después de la acumulación del sedimento”.

Gonzalo Pardo y Concepción Arenas





**Arriba) Gotas de lluvia sobre lodo calcáreo actual y litificadas.**

**Abajo) Grietas de desecación en un sedimento actual y en calizas del Cámbrico (más de 485 Ma).**

el tiempo en que este se encontraba en la superficie o cerca de ella. El análisis de tales estructuras permite inferir cuáles fueron los mecanismos de transporte del sedimento, las condiciones del flujo (turbulento o laminar, de alta o baja energía, unidireccional o bidireccional), la dirección y sentido en que se movían las partículas del sedimento, las propiedades físicas del sustrato (p. ej. si este era cohesivo o no cohesivo), las condiciones paleoambientales (p. ej., profundidad del agua). Asimismo, algunas estructuras hacen posible conocer la polaridad vertical de la sucesión en que se encuentran, es decir, el orden temporal de los estratos que la componen.

En este artículo no vamos a recorrer toda su variedad, sería irrealizable, pero el curioso puede entrar en una página web de la Universidad de Zaragoza: *Catálogo de estructuras sedimentarias: Litoteca e imágenes de campo* (Arenas Abad et al., 2016),

[https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/761/mod\\_resource/content/11/presentación%20español-inglés.htm](https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/761/mod_resource/content/11/presentación%20español-inglés.htm)

**“Cuando cuatro gotas de lluvia caen sobre un sustrato blando dejan unas marcas típicas: depresiones circulares o elípticas.”**

Se trata de un recurso didáctico donde hay ejemplos clasificados de la práctica totalidad de las mismas, la mayoría españoles, con fotos de ejemplares en muestra de mano y de sus aspectos en el campo. Algunas de esas estructuras se reproducen aquí.

El principal propósito de este artículo es llamar la atención sobre aquellas que pueden verse con frecuencia en la naturaleza, incluso en áreas urbanas, a poco que uno se fije en detalles cuando da un paseo. Y para empezar, nos referiremos a las más pequeñas, apuntando su interés para el geólogo:

Cuando cuatro gotas de lluvia caen sobre un sustrato blando -un barro en expresión castellana, un lodo arcilloso o calcáreo en términos más específicos- dejan unas marcas típicas: depresiones circulares o elípticas. No es muy probable, por lo delicadas, pero a veces estas marcas se conservan en el registro rocoso. El estratógrafo se pone muy contento al identificarlas, ¿qué es lo que lee en ellas? En primer lugar que el sedimento donde se encuentran se formó en ambiente subaéreo o bajo una lámina de agua que se desecó; obviamente se descarta la formación de las marcas en un medio acuoso permanente, como un lago o el mar. Pero además, imaginemos que el sedimento con esas marcas forma parte de una serie de estratos verticales, ¿cuál es la polaridad vertical de la serie? Es decir, ¿dónde están el inicio (base) y el final (techo) de la misma? Y si los estratos están inclinados ¿han

Los estratógrafos y los sedimentólogos son los geólogos que estudian las sucesiones de rocas sedimentarias. En su trabajo, entre otras cosas, buscan, describen y analizan algunos de esos *ludus naturae* que con frecuencia aparecen en los estratos, a los que se ha denominado “estructuras sedimentarias”. Las estructuras sedimentarias son marcas, disposiciones u organizaciones geométricas de los elementos que componen un estrato, que se han formado como consecuencia de los procesos que lo han originado. Naturalmente, a los estudiantes de Geológicas se les insiste mucho con ellas, y no por capricho, sino por su utilidad para deducir diferentes características del medio sedimentario en que han quedado registradas.

En efecto, al adiestrado en su lectura, las estructuras sedimentarias le brindan valiosa información sobre los procesos físicos, químicos y biológicos que actuaron durante y después de la acumulación del sedimento, en

**C**omo *ludus naturae* (juegos de la naturaleza) se denominaba en la Edad Media a unas figuras curiosas que a veces aparecían en las rocas. En la mayoría de los casos recordaban a conchas o esqueletos de animales o formas vegetales, en otras sus formas no tenían parecido con ningún organismo y todas se consideraban el resultado de una mística *vis plastica* de la naturaleza (Wendt, 1972). Tardó poco tiempo en reconocerse su carácter de fósiles para los primeros y, hasta hace poco, a los nummulites, sin más formas actuales de referencia que las lentejas, se les llamaba en algunos medios rurales “monedicas de San Pedro”. En esta categoría de *ludus naturae* podían englobarse también ciertos relieves de los estratos, como alguna de las estructuras sedimentarias que trataremos en este artículo. Por ejemplo, los *ripples* o rizaduras en areniscas que, en los lugares donde se daban, eran utilizados como tablas para lavar la ropa, en lugar de las habituales de madera.

sido rotados más de 90° respecto a su posición original horizontal, en cuyo caso estarían invertidos? Esta es una pregunta clave en esas circunstancias, porque para el estratígrafo, y también para el geólogo estructural, es indispensable saber dónde está lo más antiguo (base) y lo más moderno (techo) de una sucesión. La solución es obvia: las marcas de gotas de lluvia siempre están en el techo del estrato. Y cuando esas depresiones se cubren o rellenan con el sedimento que formará el estrato siguiente, en la base de ese estrato se encuentran los calcos, o sea, marcas con relieve positivo (que sobresalen).

Con más frecuencia que las gotas de lluvia, en el techo de los estratos puede encontrarse otra estructura con significado y utilidad semejantes: las **grietas de desecación**. Estas se forman igualmente en un sedimento fino, de composición silíceo o caliza, cuando adquiere consistencia al ser expuesto un tiempo al aire. Todos hemos visto cómo se cuarteja el barro en polígonos irregulares. Son el icono fotográfico para hablar en los telediarios de una pertinaz sequía.

Ahora bien, ¿qué pasa cuando un barro con grietas de desecación es cubierto por otro sedimento, por ejemplo arena? Naturalmente, la arena penetra en las grietas

tas y las rellena. Tiempo (geológico) después, la sucesión completa se litifica; el lodo se convierte en lutita (arcillita o limolita) y la arena en arenisca. Y aún más tiempo después la sucesión puede ser cortada por un agente erosivo. Entonces la meteorización va a actuar más intensamente sobre la lutita que sobre la arenisca suprayacente, y la base de la arenisca puede quedar expuesta, con el calco de las grietas de desecación subyacentes. Tanto monta la estructura como su calco a la hora de determinar la polaridad.

**Calcos de grietas de desecación en la base de estratos de arenisca del Buntsandstein (Triásico inferior, unos 250 Ma), Peñarroyas, Teruel: Foto de campo de la conocida como "piedra bordada" y muestra de mano.**



Imagen cedida por los autores.

**Desierto de Atacama (Chile; noviembre 1995).**

Pero si buscamos estructuras relacionadas con un poco más de dinámica, nos vamos a las denominadas genéricamente "formas de lecho" (*bed forms* en inglés), que son estructuras originadas por corrientes acuosas o eólicas. Para ello podemos observar algún arroyo que discorra por arena, aunque ya se haya secado, o las orillas de un lago o de una playa de poca pendiente, donde al entrar nos vemos los pies por lo cristalino de sus aguas. Descubriremos que la arena presenta unas rizaduras u ondulaciones cuya morfología es altamente variable, pero su altura es de solo unos centímetros. A estas rizaduras, la Asociación Argentina de Sedimentología las denomina "óndulas", pero este término no ha progresado entre los geólogos españoles y aquí las llamamos **ripples**, adoptando su designación inglesa. También podemos ver ripples en superficies de dunas producidas por el viento. Pero como hemos dicho, su morfología es variable, y para empezar pueden ser asimétricos o simétricos.

Los **ripples** son *bed forms* que se forman sobre sedimentos no cohesivos (arena o limo) debido a corrientes unidireccionales o bidireccionales que mueven los granos. En el caso de corrientes unidireccionales los ripples que se forman son siempre asimétricos, ya sean de agua (cursos fluviales, corrientes someras o profundas en lagos o mares; *current ripples* en inglés) o de viento (*wind ripples*). Nos indican entonces pola-

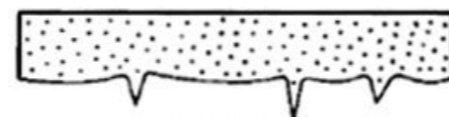
**"Todos hemos visto cómo se cuarteja el barro en polígonos irregulares. Son el icono fotográfico para hablar en los telediarios de una pertinaz sequía."**

ridad vertical, puesto que se forman en la superficie de esos depósitos y marcarán el techo de los estratos; pero también polaridad horizontal, es decir, el sentido en que fluía la corriente. En efecto, siguiendo el sentido de la corriente los ripples asimétricos presentan un flanco largo y de menor pendiente (a barlovento en términos marineros, *stoss side* en inglés), seguido de otro más corto y de pendiente mayor (flanco a sotavento,

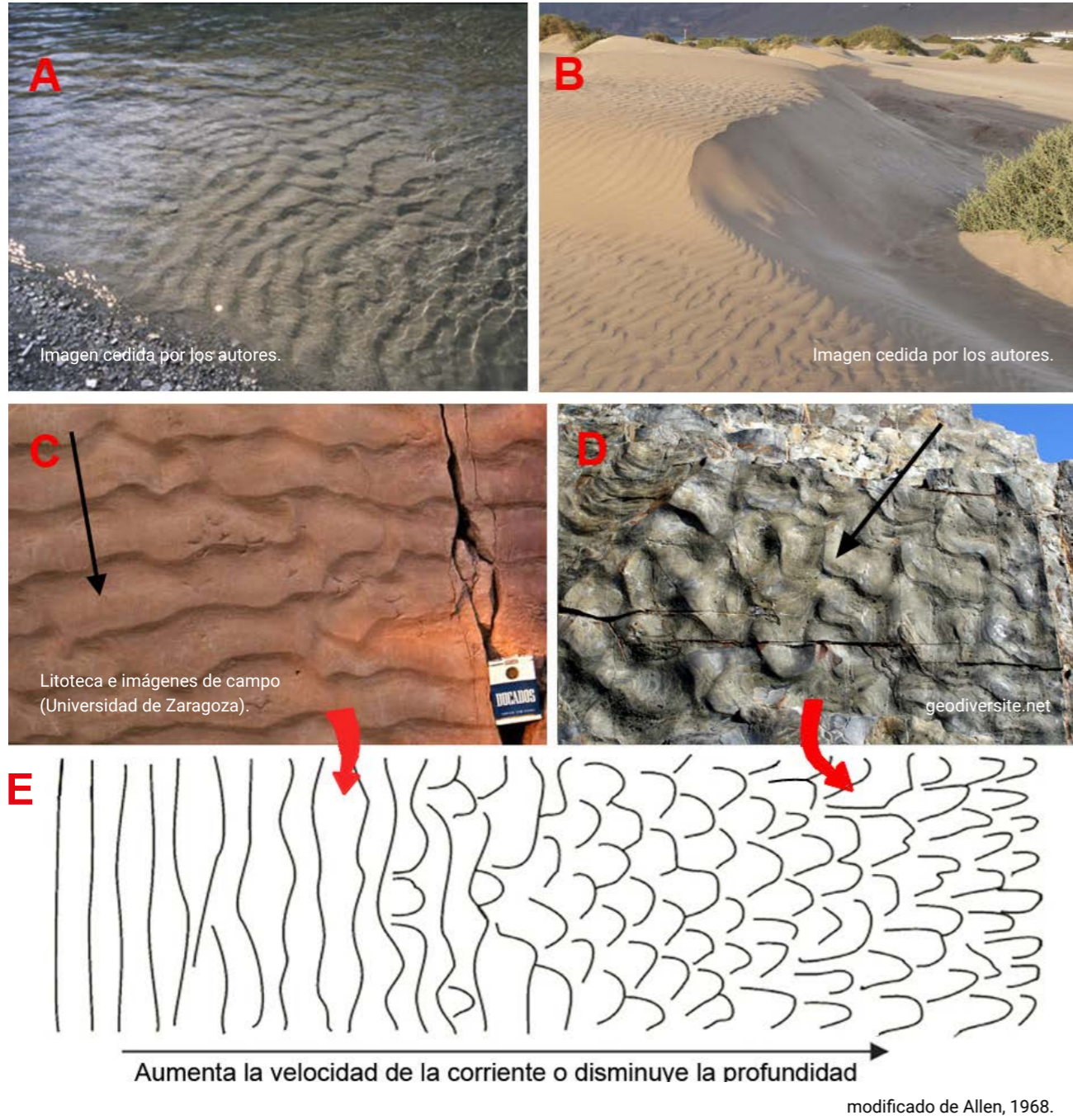


Litoteca e imágenes de campo (Universidad de Zaragoza).

**Grietas de desecación**



**Molde**



A-B) Ripples asimétricos actuales, tal como se originan en una corriente de agua (Río de la Nata, Sobrarbe) y por acción del viento, en la superficie de una duna litoral (Lanzarote).

C-D) Ripples asimétricos conservados en el registro geológico, en el techo de sus respectivos estratos y de crestas onduladas y de crestas linguoides.

E) Esquema de relación entre morfología de las crestas de los ripples, velocidad y profundidad de la corriente (modificado de Allen, 1968). Las flechas negras señalan la dirección de corriente, es decir, la polaridad horizontal.

“Vistos en planta, el trazo de las crestas de los ripples es variado: rectilíneo, sinuoso o linguoide, en función de la energía de la corriente.”

Ripples de oscilación (playa de Seychelles).

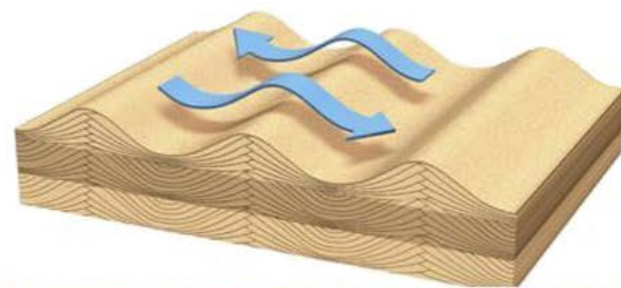


lee side) por donde caen los granos que arrastra la corriente. Al caer los granos se forman láminas, y en un corte transversal a la cresta del ripple es posible verlas: todas ellas inclinadas en el mismo sentido, que es el del movimiento del flujo. Vistos en planta, el trazo de las crestas de estos ripples es variado: rectilíneo, sinuoso o linguoide, en función de la energía de la corriente.

En el caso de corrientes bidireccionales, los ripples pueden ser tanto simétricos como asimétricos. La característica diferenciadora de los ripples de corrientes bidireccionales respecto a los de corrientes unidireccionales es que presentan láminas inclinadas en sentidos opuestos, es decir, en ambos flancos del ripple, lo que es propio de la acción del oleaje sobre el fondo de una masa de agua. Estas estructuras, también llamadas ripples de oscilación, y en inglés *wave ripples*, son de crestas rectilíneas u onduladas, y con frecuencia se bifurcan. Con los ripples simétricos hay que ser cuidadoso cuando se utilizan para determinar la polaridad vertical de una serie estratigráfica, porque su simetría puede llevar a confundir la marca o estructura original

**Corriente unidireccional:**  
ripples asimétricos,  
laminación cruzada inclinada  
en el mismo sentido

**Corriente bidireccional:**  
ripples simétricos o asimétricos,  
laminación cruzada inclinada  
en sentidos opuestos



Modificada de igeo.ucm-csic.es



Imagen cedida por los autores.



Litoteca e imágenes de campo (Universidad de Zaragoza).



B) el techo de la estructura (t) y su molde en la capa suprayacente (m). Se observa que las crestas de los ripples son más agudas que los senos.

Arriba) Laminación cruzada en ripples asimétricos y simétricos.

Centro) Ripples simétricos en el techo de un estrato de arenas del Buntsandstein (Triásico inferior), Peñarroyas, Teruel; las tablas de lavar a que se alude al principio del artículo.

A) Sección perpendicular a la estratificación;

(techo del estrato) con su calco o molde (base del estrato suprayacente). Sin embargo, en la mayoría de los casos la cresta de la estructura es más aguda y los senos o valles más laxos. Diversos vídeos sobre la formación de ripples de corriente y oscilación pueden verse en:

[www.youtube.com/watch?v=zRGuMddjRGg&list=PL17AFB4B8AB3DCCF7](https://www.youtube.com/watch?v=zRGuMddjRGg&list=PL17AFB4B8AB3DCCF7)

Curioso, y menos frecuente en el registro geológico, es el caso de los **ripples de interferencia**. Su aspecto es de dos conjuntos o trenes de rizaduras que se cruzan, con crestas de direcciones perpendiculares. Su génesis se ve muy bien en llanuras mareales actuales: durante la subida de la marea se forman ripples de oscilación o de corriente; cuando la marea comienza a bajar los senos de esos ripples están encharcados, son estrechos canalillos, y la brisa remueve el agua que los ocupa creando el segundo tren de ripples, generalmente simétricos y de menor tamaño.

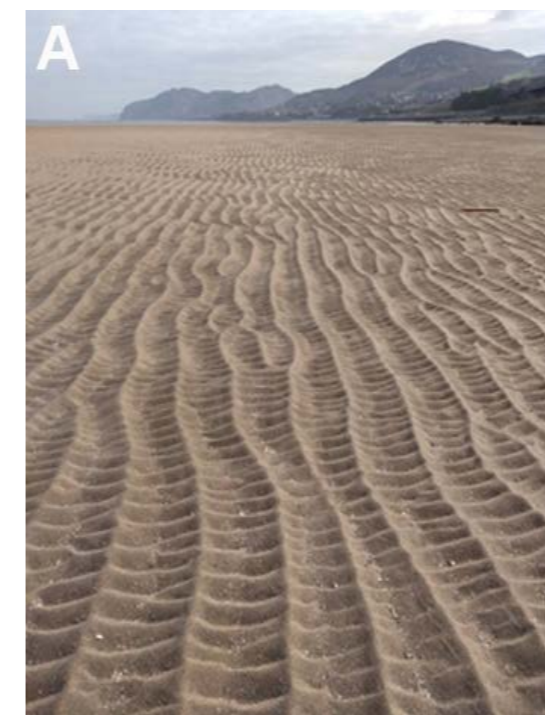
Como ya se ha comentado más arriba, los ripples poseen una estructura interna laminada que se denomina **laminación cruzada**. Individualmente, esta estructura mide escasos centímetros de espesor, por lo que solo suele ser visible si uno se *amorra* al estrato (los ingleses dicen *nose-to-outcrop*); así que será raro que alguien

“Los ripples de interferencia tienen el aspecto de dos conjuntos o trenes de rizaduras que se cruzan, con crestas de direcciones perpendiculares.”

**Ripples de interferencia:**

A) Llanura de marea actual ([twitter.com/dra\\_gowardbrown](https://twitter.com/dra_gowardbrown)).

B) Areniscas del Buntsandstein, Triásico inferior, Peñarroyas, Teruel.

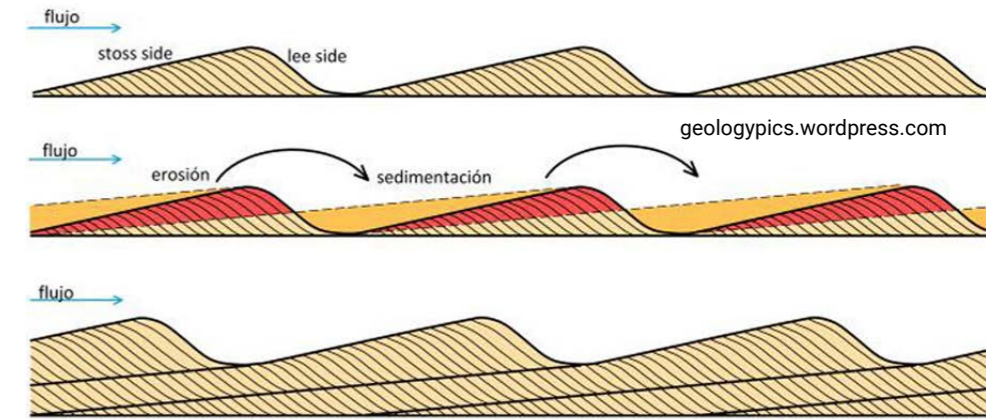


Litoteca e imágenes de campo (Universidad de Zaragoza).

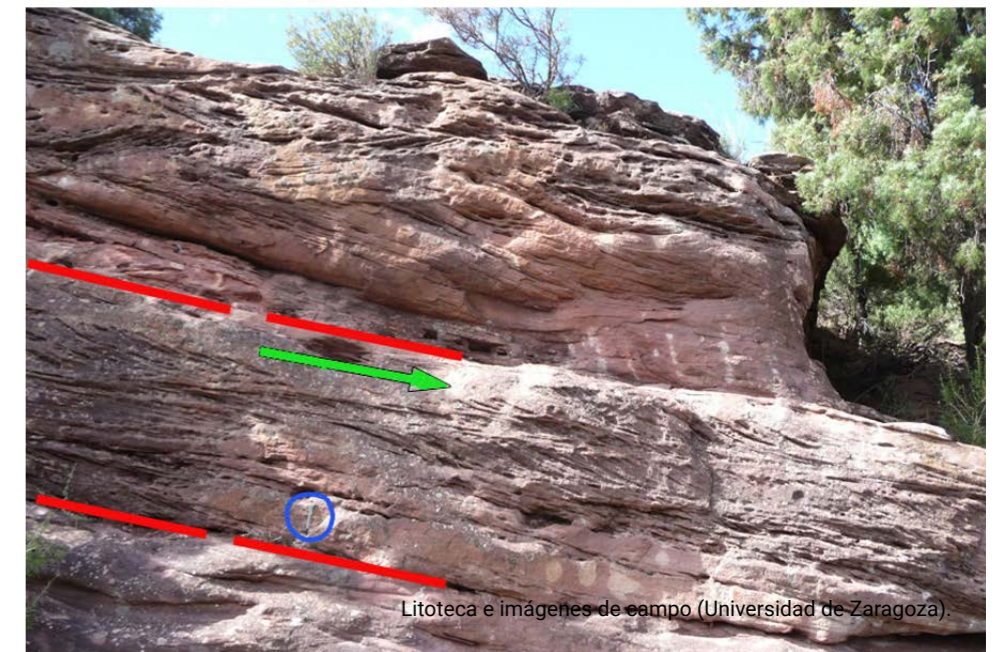


Arriba) Imagen de campo de la morfología de un ripple asimétrico y su laminación interna.

Abajo) Laminación cruzada resultante de la migración de trenes de ripples agradacionales o escalantes en depósitos glaciolacustres cuaternarios (unos 50.000 años), Linás de Broto, Huesca.



Arriba) Esquema de la génesis de la estratificación cruzada por migración de un tren de megaripples .



Abajo) Estratificaciones cruzadas en areniscas del Buntsandstein (Triásico inferior, Peñarroyas, Teruel). Las líneas rojas discontinuas marcan las superficies de los estratos, entre las que se observan las estratificaciones cruzadas. El círculo azul enmarca un lápiz de 15 cm. La flecha señala la dirección del flujo.

Litoteca e imágenes de campo (Universidad de Zaragoza).

que no sea geólogo, en funciones de tal, se percate de su presencia. En el caso de los ripples de corriente al geólogo esta estructura le servirá como criterio de polaridad horizontal, aunque la morfología de los ripples no se conserve, ya que, como hemos visto, el sentido de inclinación de las láminas es en el sentido de la corriente que los genera. En algunos casos se observa que no solo se conservan las láminas de las caras de avalancha de los ripples, sino también las de su flanco largo o *stoss side*. Esto es debido a que la corriente carecía de competencia suficiente frente a la alta carga de partículas que transportaba. Los ripples entonces experimentan una alta tasa de "agradación" (crecimiento vertical), y a estos ripples se los denomina ripples ascendentes o escalantes (*climbing ripples* en inglés).

Pero lo que sí puede ver cualquier paseante observador en lugares donde abunden las areniscas (por ejemplo en Albarracín, o en la Hoya de Huesca), e incluso en edificios con sillares de esa litología (por ejemplo, en el Paraninfo de la Universidad de Zaragoza), es la hermana mayor de la laminación cruzada, la estructura denominada **estratificación cruzada**. Si la laminación cruzada es la estructura interna de una forma de lecho de pequeñas dimensiones, la estratificación cruzada es la estructura interna de formas de lecho de grandes dimensiones, los *megaripples*, en general por encima de un metro de altura y más de 10 metros de longitud. En esta categoría entran diferentes formas de lecho subacuáticas que presentan crestas rectas, sinuosas o de media luna, así como diversos tipos de barras fluviales de

arena o grava, pequeños lóbulos deltaicos, y las dunas eólicas. Estas estructuras no suelen conservarse íntegras en el registro geológico; en la mayor parte de los casos veremos tan solo una parte de los frentes de avalancha de las macroformas, porque la migración de estos megaripples suele implicar la erosión de las crestas.

Hay, sin embargo, espectaculares excepciones, como las dunas eólicas pleistocenas de Mallorca. Estas dunas se originaron por arrastre de las arenas de las playas contra los acantilados de la isla. Al no poder migrar tierra adentro, las dunas solo podían crecer en vertical; son dunas escalantes que han conservado ambos flancos. Las playas, que proporcionaron la arena, ahora desaparecidas, se formaron en una situación de bajo nivel

**“Lo que sí puede ver cualquier paseante observador en lugares donde abunden las areniscas es la estructura denominada estratificación cruzada.”**



Imagen cedida por los autores.



**Duna eólica escalante que conserva la estratificación cruzada de ambos flancos. La dirección del viento era hacia la izquierda. Pleistoceno de Mallorca (más de 1,5 Ma).**

del mar durante un máximo glacial, y sus granos eran esencialmente calcáreos, provenientes de fragmentos de caparzones o esqueletos de organismos marinos. Su cementación ha dado lugar a una arenisca calcárea, el *marés* en denominación local, que se explota como material de construcción y puede verse en los principales edificios de la isla, como la catedral.

Parece claro entonces que tanto la laminación como la estratificación cruzada nos dará con seguridad el sentido del flujo, puesto que este dato se lee en la inclinación de las láminas; pero ¿y la polaridad vertical, si no se conserva la forma completa? Afortunadamente, en la mayoría de los casos, las láminas en ambas estructuras se muestran como líneas tangentes a la superficie basal (simple reflejo de la forma de las caras de avalancha) y secantes a la superficie superior, que coincide con la base del siguiente tren de ripples o megaripples, el cual, al migrar, ha erosionado el tren ahora infrayacente.

**“Las dunas eólicas pleistocenas de Mallorca se originaron por arrastre de las arenas de las playas contra los acantilados de la isla.”**

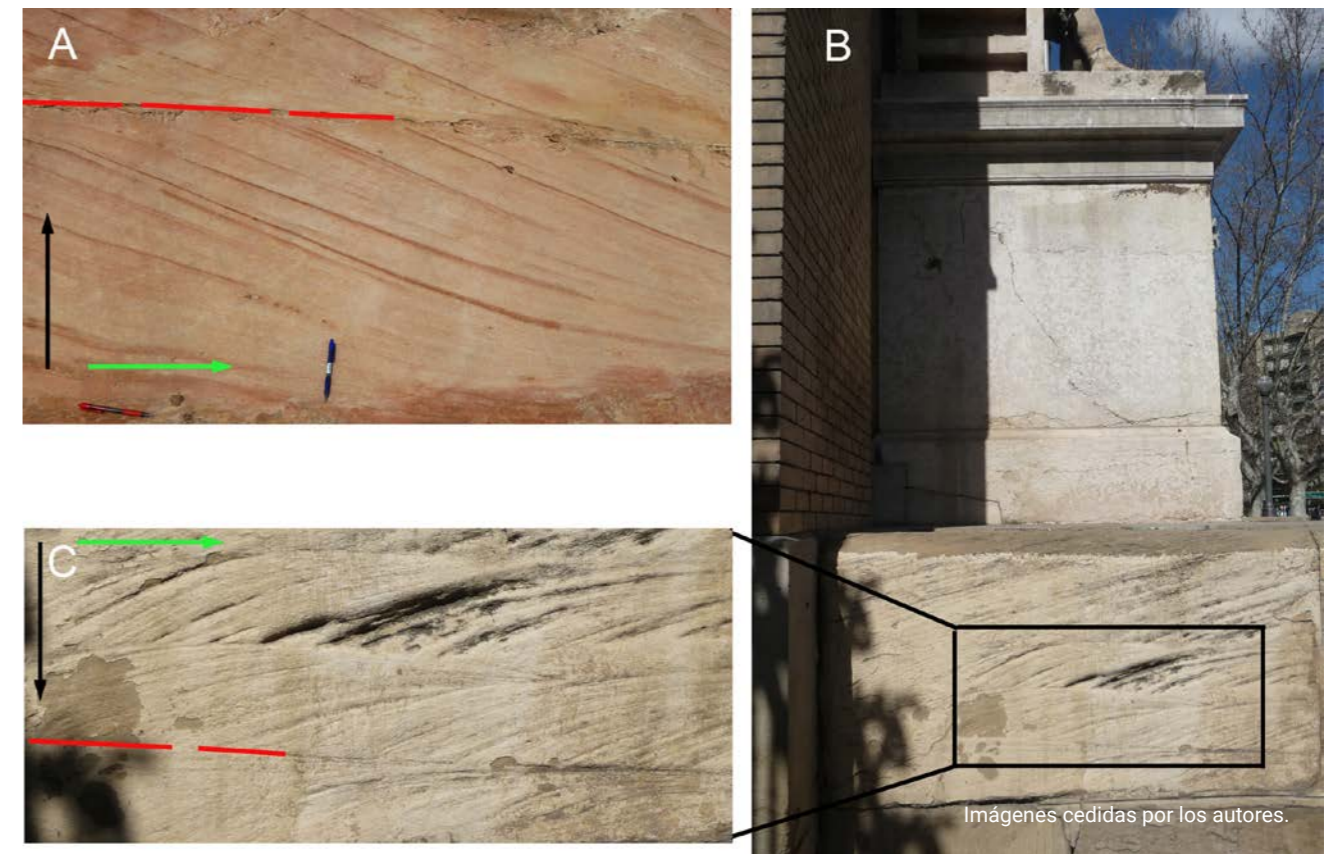
En resumen, ripples asimétricos y megaripples, laminación cruzada y estratificación cruzada difieren esencialmente en el tamaño. ¿Cuándo se forman unos u otros? La lógica nos dice que, para los que se forman en corrientes de agua, la profundidad del flujo que transporta los granos será un factor determinante: nunca podrá formarse un megaripple en una corriente acuosa de 10 cm de profundidad. La experimentación en canales artificiales, donde se pueden controlar los parámetros

**“Ripples asimétricos y megaripples, laminación cruzada y estratificación cruzada difieren esencialmente en el tamaño.”**

**A) Estratificación cruzada en areniscas cretácicas (más de 100 Ma) en Gargallo, Teruel. Nótese la tendencia asintótica de las láminas hacia la base.**

**B) Sillar de areniscas con estratificación cruzada en las escaleras de acceso a la puerta principal del Paraninfo de la Universidad de Zaragoza.**

**C) Detalle de B donde se aprecia claramente que la estructura está en posición invertida. En A y C se indican los planos de estratificación (líneas discontinuas rojas), la polaridad vertical (flechas negras) y la polaridad horizontal (flechas verdes).**

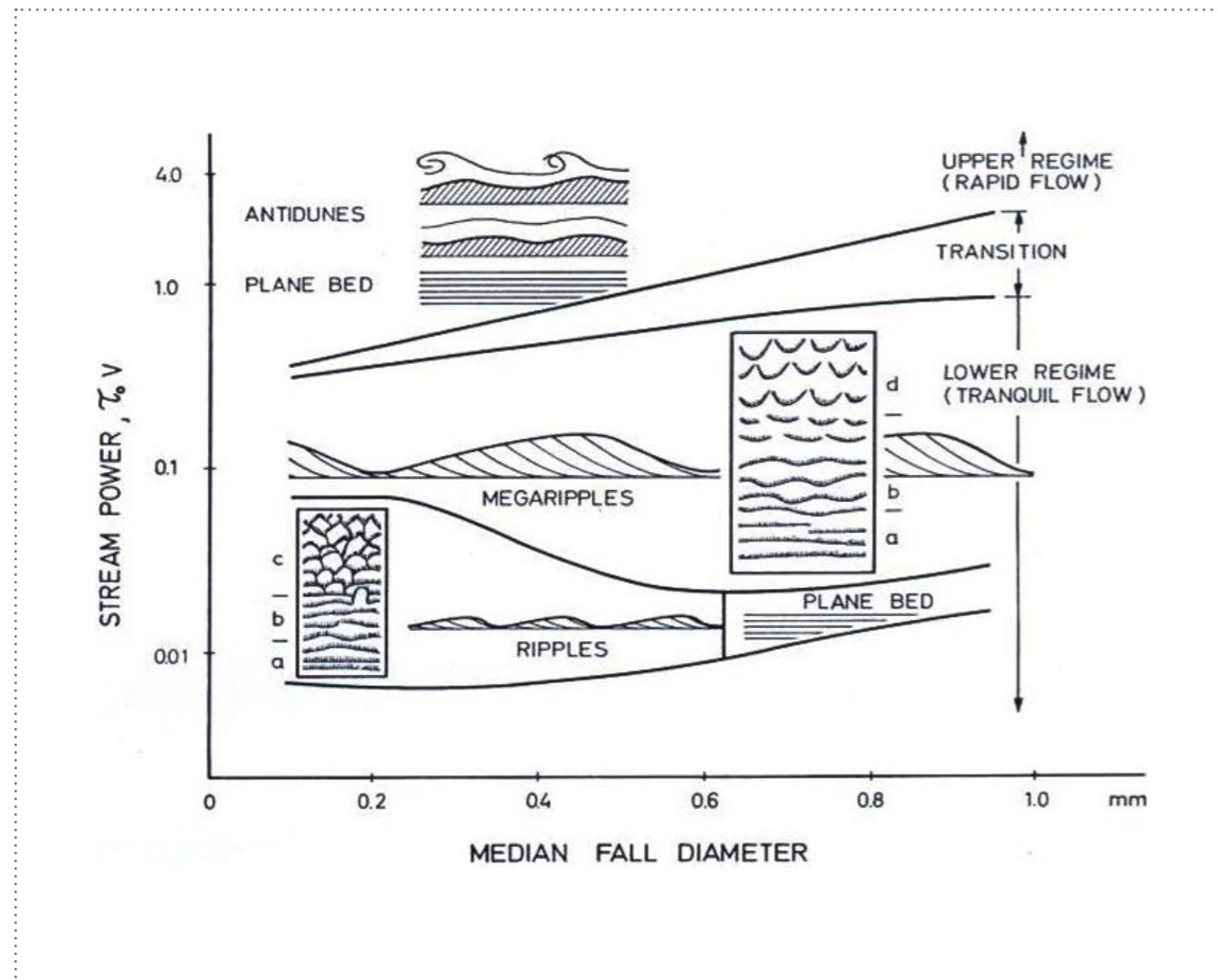


Imágenes cedidas por los autores.

del flujo, como profundidad y pendiente, así como el tamaño de las partículas, etc., ha proporcionado una visión más rigurosa de la generación de formas de lecho, incluidas otras que no trataremos en este artículo, como las antidunas o los lechos planos. La estructura interna de estos últimos es una **laminación horizontal**.

Para terminar con las estructuras sedimentarias, nos referiremos a unas que se acostumbran a ver en un paseo por algunos paisajes del Pirineo, e incluso sin salir de muchos de sus pueblos. Se trata de las estructuras propias de las rocas que aparecen en el *flysch* de la Cuenca eocena de Jaca, o Grupo de Hecho según su denominación como unidad litoestratigráfica. El *flysch* (de una palabra dialectal alemana, *flyschen*, que significa deslizar) supera los 4000 m de espesor en la cuenca de Jaca. Todo *flysch* está compuesto por capas

**Diagrama de los campos de estabilidad de formas de lecho en canales artificiales, según datos experimentales de Guy et al. (1966), junto a las morfologías de crestas de ripples y megaripples de Allen (1968). Se relaciona el tamaño de grano con la energía de la corriente (stream power), siendo ésta el producto de la velocidad de la corriente (v) por el esfuerzo tangencial ( $\tau_0$ , shear stress), y éste igual a profundidad de la corriente por pendiente de la superficie del agua por peso específico de la mezcla de agua y sedimento. El régimen de flujo está referido al número de Froude ( $F < 1$ , régimen bajo;  $F > 1$ , régimen alto) (geocaching.com).**



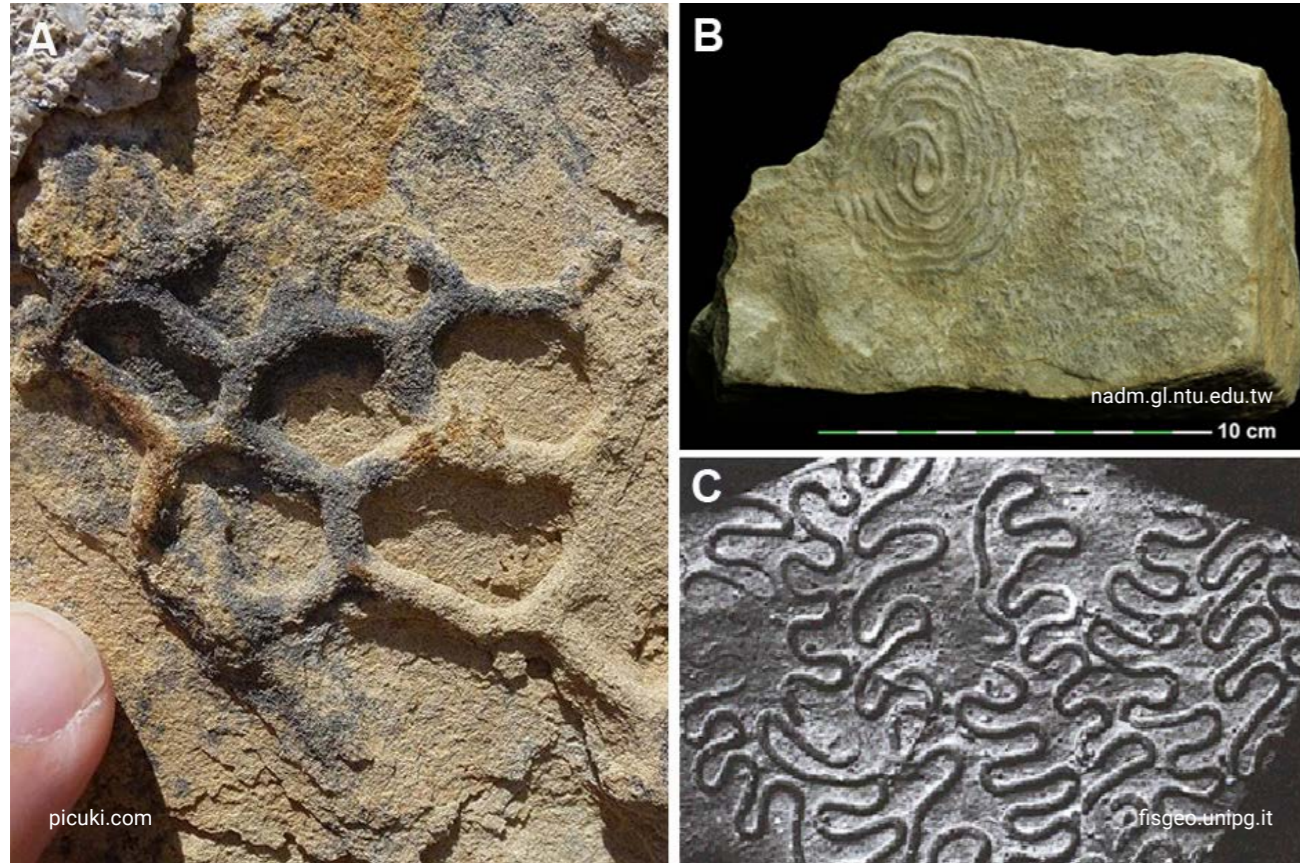
alternantes de areniscas y lutitas, depositadas en ambientes marinos profundos por corrientes que transportaban una gran carga de sedimento en suspensión -por lo que se denominan "corrientes de turbidez"- que discurrían por el fondo de la cuenca debido a su alta densidad. Cada episodio de corriente da lugar a una secuencia granodecreciente de arena-lutita, resultado de la pérdida progresiva de competencia. A esta secuencia se le denomina "turbidita". Pues bien, la capa basal de arenisca de una turbidita puede presentar diferentes estructuras sedimentarias, entre ellas laminación o estratificación cruzada (según sea su espesor). Pero además esta arenisca, fácil de tallar en bloques y losas, es el material típico de la construcción tradicional en las poblaciones de la cuenca. Es frecuente que las losas sean utilizadas como pavimento, y en ellas es común ver las estructuras a las que vamos a



“Como la arenisca turbidítica suele ser de grano más grueso y mecánicamente más resistente en la base, en los pavimentos se suelen colocar las losas con la base a la vista.”



Losas de arenisca del *flysch* eoceno de la Cuenca de Jaca en el pavimento de una calle del pueblo de Gavín. La imagen muestra los calcos de huellas de bioturbación en la base de la arenisca. En la foto superior se aprecian dos huellas paralelas de desplazamiento. La huella radial de la foto inferior posiblemente corresponde al icnogénero *Estrellichnus jacaensis* que se trata al final del artículo.



▲  
**Calcos de diferentes icnogéneros en la base de secuencias turbidíticas:**  
**A) *Paleodictyon*;**  
**B) *Spirorhaphe*;**  
**C) *Cosmorhaphe***

referirnos, con una advertencia: como la arenisca turbidítica suele ser de grano más grueso y mecánicamente más resistente en la base, en los pavimentos se suelen colocar las losas con la base a la vista. Esto proporciona una ventaja añadida: esas superficies basales poseen comúnmente pequeños relieves irregulares, que minimizan los resbalones de los viandantes.

Pues bien, ¿qué son tales relieves? Naturalmente, estructuras sedimentarias, o más propiamente, el molde o calco de ciertas estructuras, de las que aún no hemos hablado. Imaginemos el fondo de la cuenca: la corriente de turbidez ha pasado dejando el depósito arenoso; su cola solo es capaz de arrastrar las partículas más finas en suspensión, que finalmente se decantan dejando la lutita con que culmina la secuencia turbidítica. El fondo marino es ahora un barro que diversos organismos invertebrados se apresuran a colonizar, dejando huellas o pistas de su comportamiento: reposo, alimentación, excavación de moradas, desplazamiento, etc., a las que denominamos genéricamente "icnofósiles". La interacción de los organismos con el sedimento origina las que se conocen como **estructuras de bioturbación**.

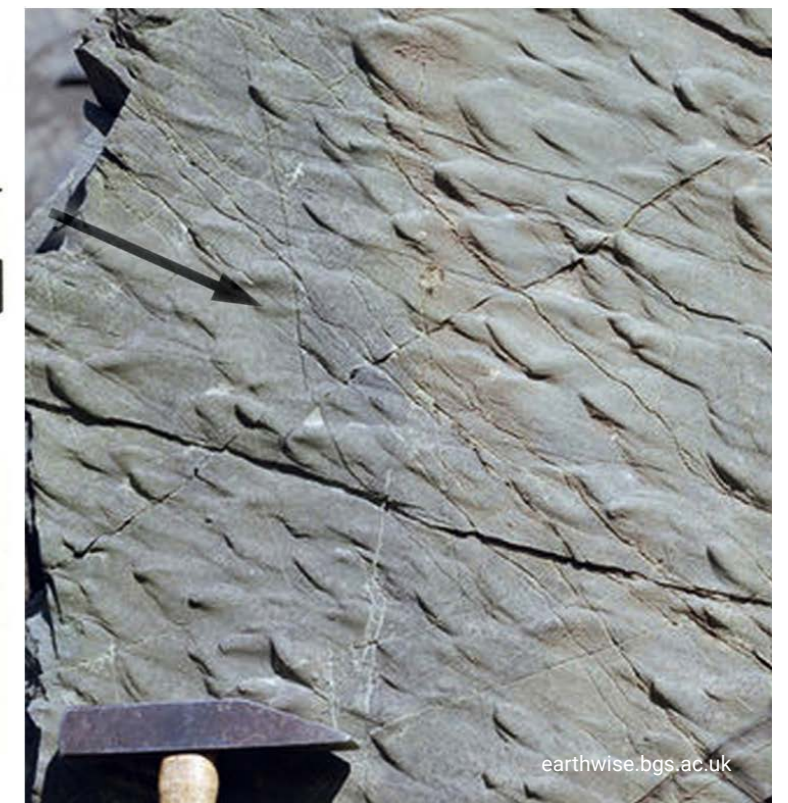
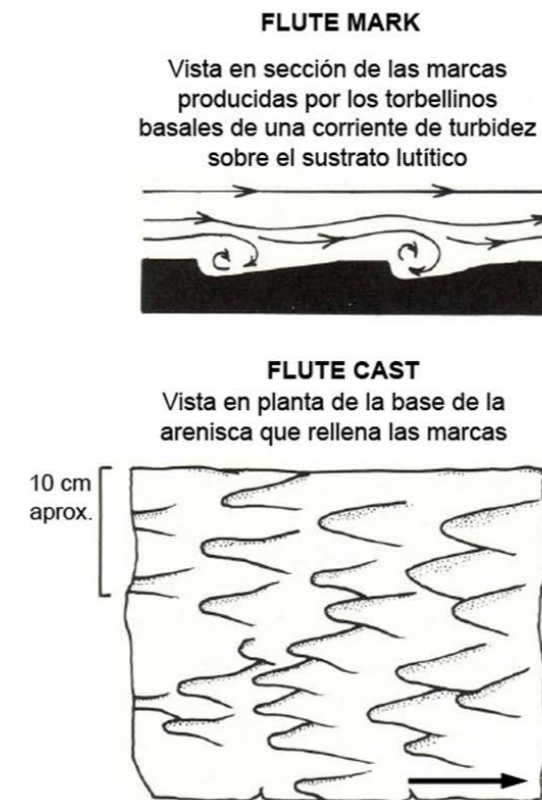
El sedimento de la siguiente corriente turbidítica, si es de baja intensidad, suele fosilizar total o parcialmente esas huellas, que quedarán como calcos en la base arenosa de la nueva turbidita. Tales pistas a veces son de formas curiosas, por ejemplo espirales o meandriformes, resultado de que el organismo paciera en el fondo con el máximo aprovechamiento y mínimo consumo de energía, como los icnogéneros *Spirorhaphe* y *Cosmorhaphe*. Otras huellas son enigmáticas, como *Paleodictyon*, con aspecto de panal de abejas.

Pero si la siguiente corriente es fuerte erosionará el sustrato y borrará las huellas biogénicas y, en cambio, creará hendiduras sobre ese lecho blando: unos relieves hundidos (negativos) característicos que se rellenarán, y por tanto será calcados por el depósito arenoso siguiente. Las **estructuras de erosión** que produce la corriente sobre el sustrato (en inglés, genéricamente *scour marks*) son variadas: si son debidas a los torbellinos basales adquieren una forma que recuerda a la cabeza de una flauta dulce (en inglés *flute*); si los torbellinos son debidos a que la corriente topa con un obstáculo fijo originan una forma característica que se

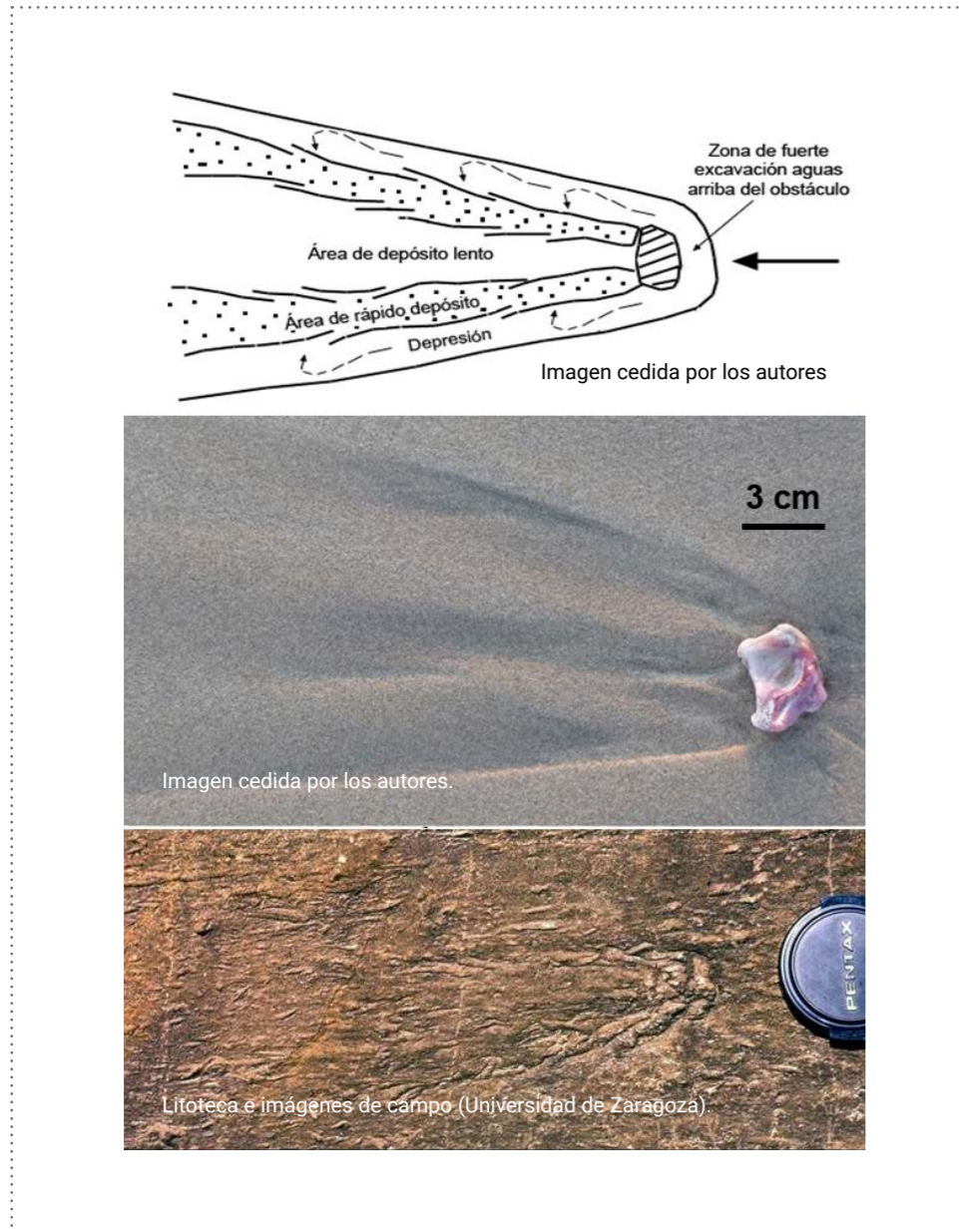
“El fondo marino es ahora un barro que diversos organismos invertebrados se apresuran a colonizar, dejando huellas o pistas de su comportamiento.”

Izquierda) Esquema de la génesis de las estructuras denominadas **flute marks** y de sus calcos (**casts**) en la base de una turbidita.

Derecha) Aspecto de campo de **flute casts**. Las flechas señalan el sentido de la corriente



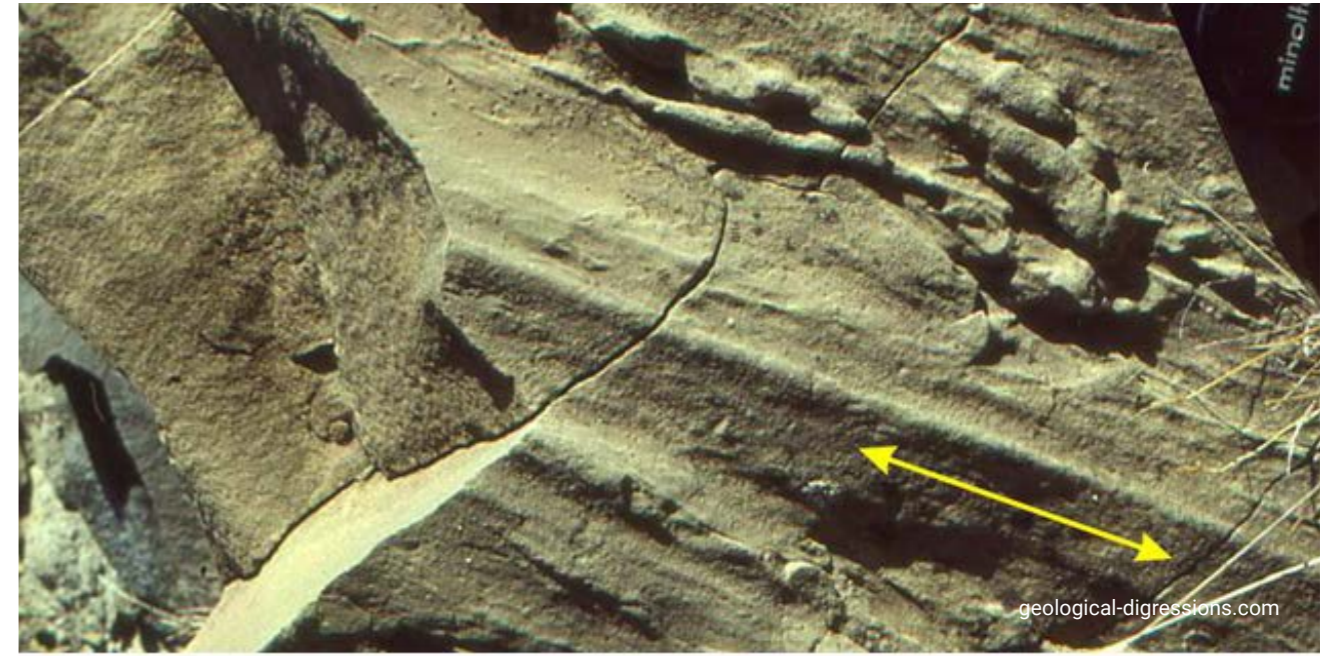




Arriba) Esquema de la generación de un *crescent mark* debido a los torbellinos que origina una corriente aguas abajo de obstáculos fijos (Sengupta, 1966).

Centro) Formación de *crescent marks* en sedimentos actuales.

Abajo) Aspecto de campo de un *crescent cast* fósil con la misma orientación de corriente.



denomina *crescent*. Si son las huellas de transporte de objetos sobre el sustrato lutítico (genéricamente *tool marks*) pueden ser surcos lineales debidos a un arrastre continuo (*grooves*), marcas discontinuas alineadas si son producidas por sucesivos impactos de un objeto que avanza a saltos (*skips*), y *prods*, *brushes* o *bounces* si son marcas de impacto de objetos que rebotan y producen diferentes morfologías, etc.

Para terminar con estas estructuras, cabe resumir su utilidad: las estructuras de bioturbación y de erosión del flysch nos dan la polaridad vertical de la serie estratigráfica, puesto que siempre se encuentran como

calcos (salientes) en la base de las secuencias turbidíticas. Así que si se ven en una superficie de estratificación sobre la que uno podría sentarse o caminar, se está viendo un estrato invertido. En cuanto a la polaridad horizontal, solo se puede obtener de los calcos de estructuras de erosión como los *flute casts*, los *crescent casts* y, con suerte, *los skip casts*; los *groove casts* solo nos dan dirección de corriente, no su sentido. A partir de ellas sabemos que, durante el Eoceno, hace entre unos 40 y 50 millones de años, en la Cuenca de Jaca las corrientes de turbidez discurrían hacia el WNW, o sea, desde Aínsa hacia Pamplona, siguiendo el eje de la cuenca sedimentaria. Son pues una herra-

“Los *scour* y *tool marks* son una herramienta importante en las reconstrucciones paleogeográficas.”

Arriba) *Groove cast*, generado por arrastre continuo de un objeto; la doble flecha señala la dirección de la corriente.

Abajo) *Skip casts*, originado por un objeto que avanza a saltos, Eoceno, Grupo de Hecho, Cuenca de Jaca. La dirección de la corriente es evidente; a partir del relieve del calco el sentido es posiblemente hacia la derecha.

mienta importante en las reconstrucciones paleogeográficas, como toda estructura sedimentaria que permite leer direcciones de corriente.

Por último, una referencia a una huella de bioturbación definida en el Grupo de Hecho como nuevo icnogénero e icnoespecie: se trata del *Estrellichnus jacaensis*, estudiado por Uchman y Wetzel (2001) en la antigua cantera del puente de Torrijos, unos 5 km al norte de Jaca por la carretera a Somport. Al parecer, esta estructura radial, de buen tamaño (30 a 50 cm de diámetro), se encuentra

también en alguna de las losas del pavimento de la plaza de las Cortes de Aragón de Jaca, por si alguien quiere un entretenimiento barato en esa ciudad. Los autores de la descripción refieren el mamelón central al calco del habitáculo de un invertebrado indeterminado, que allí vivía a salvo de depredadores, y los radios al calco de túneles permanentemente abiertos que conectaban la habitación central con el lecho sedimentario.

Si estas páginas ayudan al lector a ver con una perspectiva ampliada los sedimentos y las rocas sedimentarias

durante sus paseos, los autores se sentirán útiles, y les sugieren recorrer los espectaculares paisajes de Peñarroyas y Albarracín, y de la Cuenca eocena de Jaca y sus poblaciones, donde podrán reconocer *in situ* estructuras como las aquí reseñadas.

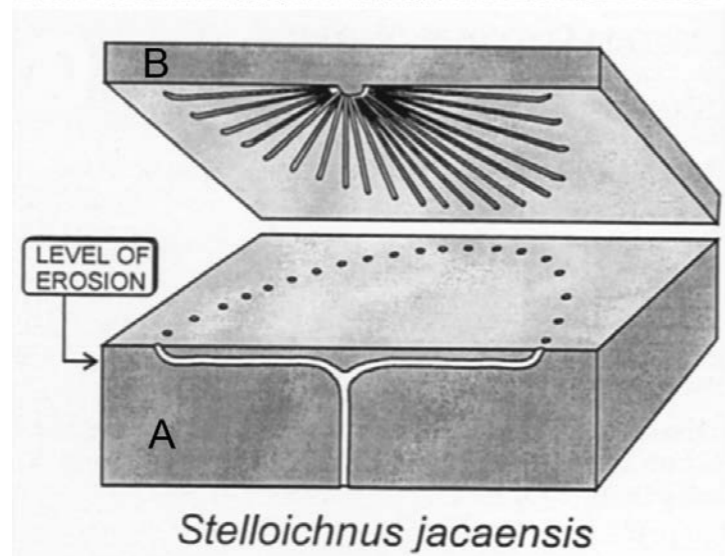
Gonzalo Pardo y Concepción Arenas  
Dpto. de Ciencias de la Tierra  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

REFERENCIAS

- Allen J.R.L. (1968). *Current ripples. Their relation to patterns of water and sediment motion*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 433 pp.
- Arenas Abad, C.; González Rodríguez, A.; Pardo Tirapu, G.; Muñoz Jiménez, A.; Pérez García, A.; Bádenas Lago, B.; Meléndez Hevia, A.; Luzón Aguado, A.; Soria de Miguel, A.R. (2016). Catálogo de estructuras sedimentarias: Litoteca e imágenes de campo, Área de Estratigrafía, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. Recurso OCW ([https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/761/mod\\_resource/content/11/presentaci%C3%B3n%20espa%C3%B1ol-ingl%C3%A9s.htm](https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/761/mod_resource/content/11/presentaci%C3%B3n%20espa%C3%B1ol-ingl%C3%A9s.htm)).
- Guy H.P., Simons D.B. and Richardson E.V. (1966). *Summary of Alluvial Channel Data From Flume Experiments, 1956-61*. U.S.A. Geological Survey Professional Paper 462-1, 104 pp.
- Sengupta S. (1966). Studies on orientation and imbrication of pebbles with respect to cross-stratification. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36: 362-369.
- Uchman A. and Wetzel A. (2001). *Estrellichnus jacaensis* nov. igen., nov. isp.- a large radial trace fossil from Eocene flysch (Hecho Group, northern Spain). *Geobios*, 34 (3): 357-361.
- Wendt A. (1972). *Antes del diluvio*. Ed. Noguer, Barcelona, 458 pp.



miscosasdejaca.blogspot.com



Uchman y Wetzelen, 2001

**Arriba) Aspecto de campo del parataxón *Estrellichnus jacaensis* en la base de una capa turbidítica invertida.**

**Abajo) Interpretación de la estructura de bioturbación: A es el fondo lutítico (techo de una turbidita) excavado por el organismo; B su calco en la base arenosa de la turbidita siguiente.**

**El flysch eoceno en Aragüés del Puerto (Huesca).**



Imagen cedida por los autores.



# Agenda 2030. ¿Hacen falta más datos?

“La Agenda 2030 no puede volver a ser un nuevo plan para querer cambiar el mundo. Debe ser su inicio”.

Ana Isabel Elduque



“El mundo globalizado de este comienzo de siglo y de milenio camina hacia la catástrofe.”

## INTRODUCCIÓN

La temperatura media del planeta ha ascendido 1,1°C desde la era preindustrial, 0,2°C en los últimos cinco años y lo hará otros 1,1°C en los próximos cinco (*Organización Mundial del Clima*).

300 millones de personas se verán seriamente afectadas por el ascenso del nivel del mar en el año 2050 (*Nature Communications*).

Más de 1.000 mujeres han sido asesinadas en España por causa de la violencia machista (*Delegación del Gobierno para la Violencia de Género*) y casi 140 son asesinadas diariamente en el mundo (*ONU*).

El 1% de la población mundial acumula el 82% de la riqueza global (*OXFAM*).

Más de 150 millones de niños y niñas son víctimas del trabajo infantil en el mundo (*UNICEF*).

1.600 millones de toneladas de productos primarios, de las cuales 1.300 millones de toneladas son alimentos, se desperdician anualmente en el mundo (*FAO*).

La producción de los alimentos desperdiciados requiere un consumo de agua equivalente al caudal del río Volga (250 Km<sup>3</sup>), producen una huella de carbono de 3.300 millones de toneladas y precisan del 28% de la superficie agrícola mundial (*FAO*).

En el mundo hay casi 2.000 millones de personas con sobrepeso, de los cuales 650 millones sufren obesidad grave (*OMS*).

¿Hacen falta más datos?

El mundo globalizado de este comienzo de siglo y de milenio camina hacia la catástrofe. Unos decenios más así y las predicciones que se hacían durante la guerra fría sobre los resultados de un conflicto nuclear entre las superpotencias se cumplirán, pero no por causas bélicas. Aunque suene paradójico, nos habrá matado la paz.

## HOY

Con los pocos datos que he expuesto anteriormente he querido indicar que el problema al que nos enfrentamos es global, pero no entendido como habitualmente lo hacemos. Cuando hablamos sin querer especificar mucho, entendemos por global lo que afecta al planeta entero. Este aspecto sí es cierto, pero queda muy incompleto para definir el problema. Voy a intentar hacerlo.

La situación actual la califico de global porque, como ya he dicho, nos afecta a todos, afecta a casi todo. No estamos hablando solo de clima. También de cómo la economía mundial se ha desarrollado en los últimos tres decenios. De cómo los derechos de una gran parte de la población son vulnerados. De cómo ha degenerado nuestro comportamiento haciendo de todos nosotros unos seres egoístas e insensibles con aquellos que no conocemos y que nuestra vista no alcanza. De cómo despreciamos el efecto de nuestros actos sobre el entorno y el medioambiente, pensando que a nosotros no nos afecta. Pero lo que más me indigna es

comprobar cómo hemos dejado de lado algo tan importante para todos como es el futuro. No entiendo muy bien que estemos tan preocupados por nuestros hijos que cuestionamos cualquier directriz que deban cumplir, sin haber recibido la correspondiente autorización parental previa, y que no nos demos cuenta que les estamos obligando a vivir su vida al borde del precipicio.

Creo también que tal y como están las cosas hoy en día por este planeta, la solución no está en manos de unos pocos.

Si se tratara de liderazgos fuertes que llevaran a la humanidad a actuar de otra manera, estaríamos ante un

auténtico mesías salvador del género humano y cuyo poder de convicción sobrepasaría lo conocido hasta la fecha. Creo que esto, además de ser imposible, no es lo que precisamos. Líderes han existido desde el inicio de la civilización. Entre los de carácter político hay pocos ejemplos donde mirar. Los intelectuales, filósofos y pensadores en general ni han tenido ni pueden tener ideas para todo lo que hay que hacer. En este aspecto estoy en desacuerdo con Platón en su propuesta de un gobierno de sabios, como expuso en La República. Los expertos lo son de muy pocas cosas y todos tienen, tenemos, nuestro sesgo propio y, sobre todo, una tremenda falta de información que les permita hacer propuestas realmente globales. Hemos visto con demasiada frecuencia

que muchos denominados expertos eran simplemente tecnócratas especialistas en aplicar recetas conocidas y ahora nos enfrentamos a lo desconocido.

Quiero decir con lo anterior que no vamos a encontrar la solución en ningún manual. No hay teorías maravillosas que nos aporten medidas satisfactorias inmediatas. Pero un cambio rápido y generalizado se hace imprescindible.

Nuestra propia supervivencia como especie lo precisa, pero también desde un punto de vista ético. Si nos decimos que somos un animal inteligente, es ahora cuando debemos demostrarlo. Estamos en el momento en

que las personas tenemos que dar un paso al frente y demostrar que sí nos importan nuestros semejantes, y no solo los que ahora conocemos, también los que están por venir y que ni tan siquiera sabemos quiénes son. La gran pregunta que debemos hacernos no es si tenemos que cambiar muchas cosas en nuestros hábitos. La decisión del momento y del lugar en que comenzar tampoco hay que tomarla, porque es aquí y ahora. La única cuestión pendiente es saber cómo podemos actuar todos y cada uno de nosotros para que la lista con la que comienza este artículo se reduzca en el menor plazo posible.

## QUÉ

Existen muchas publicaciones que nos ayudan a entender los cambios necesarios. La ONU aprobó en el año 2000 la llamada Declaración del Milenio, en la que se establecieron los Objetivos del Milenio u ODM cuya meta temporal era el año 2015. En ese año se amplió el trabajo anterior y se aprobó la Agenda 2030 que, según definición de la propia ONU es “un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad”. Dicho plan se concreta en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS, y sus 169 metas (ver cuadro adjunto). Todos son de alcance mundial y aplicación universal, pero teniendo en cuenta las realidades de cada país. Más información se puede obtener en el propio sitio web de la ONU

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es>

Los objetivos no se circunscriben a ninguna área concreta. Abarcan las esferas social, económica y ambiental. Pero, sobre todo, nos abarcan a todos.

La magnitud del problema crea incertidumbre. Es sabido que un problema no puede estar nunca resuelto si se desconoce cómo abordarlo. Por esto, se entendió desde la propia ONU que sería muy difícil dejar que cada ciudadano creara su propia agenda para su vida diaria. Iniciativas hay muchas, pero una de las más exitosas ha sido la llamada “Haz posible el cambio. Guía de los vagos para salvar el mundo”. Pretende ofrecer ideas y acciones que podemos emprender en nuestras casas y en nuestros hogares para favorecer el cambio de hábitos de vida y de consumo que se requieren. En el enlace siguiente se puede descargar la citada guía.

[https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/08/170Actions-web\\_Sp.pdf](https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/08/170Actions-web_Sp.pdf)



**“No hay teorías maravillosas que nos aporten medidas satisfactorias inmediatas. Pero un cambio rápido y generalizado se hace imprescindible.”**

## QUIÉN

Las sociedades modernas están estratificadas en muchos niveles, estando formados cada uno de ellos por muchas organizaciones. Además de esta estructuración compleja, también ocurre que hay una especialización funcional de cada institución en un estado moderno. Cada uno nos dedicamos a una tarea, pero el organismo donde desarrollamos nuestro trabajo también tiene cometidos específicos. Al igual que la propia ONU contempla la adaptación de la Agenda 2030 y los ODS a cada realidad nacional, en cada país debemos adaptarla a las diferentes instituciones, de forma que se haga el máximo en cada nivel, para sí maximizar el conjunto.

La universidad es una de estas organizaciones con cometido determinado. Somos los encargados y responsables de la educación superior, y la educación universitaria es mucho más que capacitación técnica en una determinada área de conocimiento. Es formar personas, desde el final de su adolescencia hasta que son considerados por todos capaces de comenzar una vida profesional responsable. Todos ellos deben integrarse en organizaciones, trabajar colectivamente para la consecución de los fines que les sean encomendados y, conforme adquieran más responsabilidades, seguir formando a las personas que se integren allí donde cada uno esté. No hay ni científicos, ni ingenieros, ni abogados, ni economistas, ni médicos, ni filólogos que puedan hacerlo bien si no tienen perfectamente interiorizado que viven en sociedad, lo que significa con y para las personas.

## POR QUÉ

Creo que queda meridianamente claro que debemos actuar teniendo en cuenta este planteamiento de mayor sostenibilidad. La universidad debe hacerlo, a causa de su obligación de desarrollar funciones en docencia y en investigación, pero no puede olvidar que es una institución social de primera magnitud. Se precisan acciones y replanteamiento de las actividades ordinarias, orientándolas hacia los ODS propuestos de forma adecuada y adaptada a las propias posibilidades. Aunque hay escasos recursos, saber e imaginación no deben faltar nunca en la casa del conocimiento.

Entiendo que la universidad tiene que apoyar y enriquecer en lo posible los ODS. Las formas de desempeño del trabajo deben ser más sostenibles. Pero como he dicho antes, el éxito también lo mediremos si se consigue

que los titulados estén más sensibilizados y comprometidos. Solo así se podrá conseguir que tengan siempre presente la necesidad de actuar en esta dirección.

Por tanto, la universidad debe aceptar el reto y convertirse en un factor imprescindible en el logro de la sostenibilidad.

## CÓMO

Hay muchas cosas que podemos añadir a los planes formativos siguiendo estas directrices. Hacer una lista exhaustiva aquí no tiene mucho sentido, pero sí se pueden indicar aspectos de relevancia.

Unos tendrán que ver con las prácticas de trabajo y el uso de las instalaciones. Quizá son los que hoy en día ha interiorizado más la sociedad en su conjunto. La reducción del consumo innecesario es el gran paraguas en el que se pueden englobar muchos aspectos. Energía, papel, alimentos, envoltorios, medios de transporte individuales, consumo de productos de proximidad,



▲  
Antigua Facultad de Medicina y Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

mantener las instalaciones para practicar una vida más saludable, ergonomía de los puestos de trabajo, horarios más flexibles y adaptados a las necesidades de las personas, accesibilidad y otros muchos deben ser objeto de estudio e implantación permanente. En este aspecto, la tarea de mejora no tiene fin, ya que lo que hoy es una práctica adecuada, el desarrollo tecnológico puede convertirla en obsoleta en muy poco tiempo.

Pero lo que quiero detallar un poco más es lo referido a la forma de comportarnos unos con otros, porque "otros" somos todos los que habitamos este planeta. Si no sentimos la menor empatía por un niño en Bangla Desh, nunca conseguiremos que nos duela de verdad el trabajo infantil, y seguiremos exigiendo productos y bienes baratos que han sido fabricados por sus deditos en un régimen de explotación infantil.

Este cambio lo lograremos si se adoptan como propios los valores que subyacen en la esfera social que la propia ONU promueve. No hay ideología en ellos. Solo ética y humanidad en el sentido más amplio de la palabra.

**“La universidad es una de estas organizaciones con cometido determinado. Y la educación universitaria es mucho más que capacitación técnica en una determinada área de conocimiento.”**



**OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE:**

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
4. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
5. Lograr la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas
6. Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y el saneamiento para todos.
7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
10. Reducir la desigualdad en y entre los países.
11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (tomando nota de los acuerdos celebrados en el foro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).
14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17. Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

Son los estudiantes, al acabar su formación y convertirse en profesionales, los que llevarán este nuevo estilo de vida, pero solo podrán hacerlo si se les enseña en las aulas durante su formación y es coherente con el ejemplo recibido de sus profesores. Sin querer enunciarlos todos, me permito citar algunos que pienso que son imprescindibles:

- Fomentar la igualdad entre las personas, sin ninguna exclusión.
- Promover la conciliación familiar en el cuidado de menores y otros dependientes.
- Favorecer la solidaridad hacia aquellos que precisan recursos adicionales para su integración social o tengan necesidades especiales.
- Fomentar la igualdad de oportunidades entre personas de diferentes orígenes.
- Enseñar que el cuidado del entorno no es una cuestión de moda.
- Fomentar la cooperación y la colaboración frente al individualismo egoísta.

- Fomentar las políticas de acogida.
- Enseñar las mejores prácticas disponibles (*Best Available Techniques*) en las diferentes titulaciones impartidas.
- Promover la mejora de las condiciones laborales.
- Practicar la discriminación positiva encaminada a superar situaciones de injusticia social.

La Agenda 2030 no puede volver a ser un nuevo plan para querer cambiar el mundo. Debe ser su inicio. Sé que el escepticismo es muy fácil de vender, pero a quien no quiera hacer algo por sí y para los demás le recomiendo que vuelva a leer las primeras líneas de este artículo y reflexione qué mundo quiere dejar a las generaciones futuras, incluidos sus propios hijos.

Ana Isabel Elduque  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

Playa Norte (Isla Decepción)  
con Isla Livingston al fondo  
(20 Km de distancia aprox).

# La Antártida, un paraíso para la investigación

“Nuestro trabajo establecerá las bases para el diseño de una tecnología láser portátil *in situ* que proporcionará información analítica de una forma sencilla y rápida”.

Jesús Anzano, Jorge Cáceres,  
César Marina y L. Vicente Pérez-Arribas



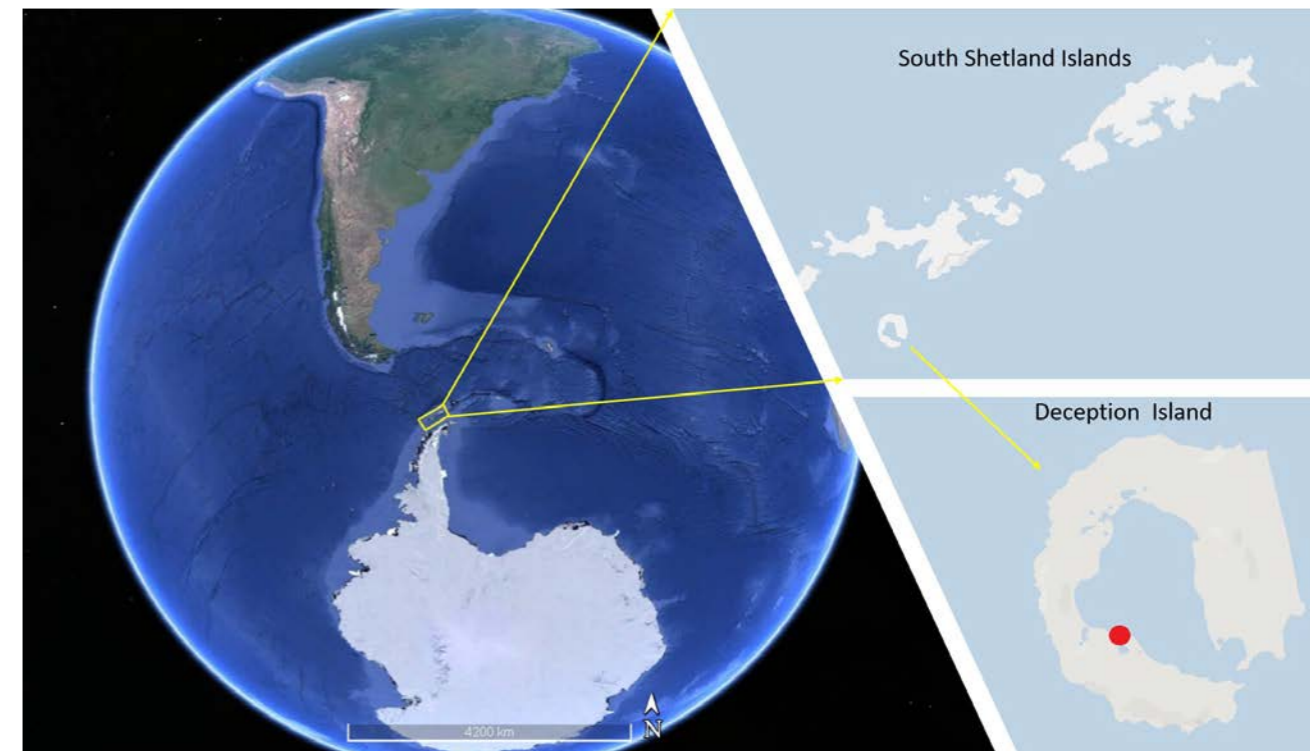


Imágenes cedidas por los autores.

▲  
**Cráteres 1970**  
(Isla Decepción).

**H**ace 30 millones de años, cuando se completó la separación de la Antártida y América del Sur, el Atlántico y el Pacífico se dividieron y se formó el paso de Drake o Mar de Hoces generando, además, la corriente circumpolar antártica que aísla completamente al continente. Las aguas cálidas que llegaban hacia el sur aportaban calor en ese lugar, afectando a la atmósfera y haciendo que las precipitaciones fuesen en forma de nieve, que paulatinamente se fue acumulando hasta crear un glaciar enorme, más grande que Europa y con un espesor medio de unos tres kilómetros. La Antártida está considerada como el lugar más virgen y remoto del Planeta, siendo el laboratorio ideal para el estudio del impacto que tienen los aerosoles en el medioambiente.<sup>1</sup> Nuestra presencia en la Antártida es para llevar a cabo un proyecto, reto de la comunidad científica, que trata de establecer la distribución mineral en la Antártida, muy interesante para estudios de interpretación en los deshielos de los glaciares.

El pasado mes de noviembre, y ya es la cuarta campaña, el equipo de investigación Química y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zara-



▲  
**Mapa de la expedición.**

goza y Química Láser de la Facultad de Químicas de la Universidad Complutense de Madrid trasladó su conocimiento científico, material, esfuerzo y madrugones a miles de kilómetros de sus respectivos laboratorios. La Antártida se convirtió en el entorno paradisiaco de nuestro trabajo, cuya experiencia personal y profesional fue desarrollada en esta campaña antártica en las Bases Antárticas Españolas (BAE) Juan Carlos I y Gabriel de Castilla (GdC).

#### VIAJE A LA ANTÁRTIDA

Nuestra expedición comenzó con el envío de los equipos instrumentales y material necesarios al puerto de Cartagena para su carga en el Buque de Investigación Oceanográfico (BIO) Hespérides. En esta campaña se utilizaron dos captadores de material particulado, uno de ellos equipado con un sistema para obtener compuestos orgánicos volátiles (COV's). En la presente campaña hemos incorporado un láser de Neodimio-YAG para caracterizar, en Isla Decepción, los componentes minerales de las muestras obtenidas y probar nuestra tecnología láser para la próxima campaña en el análisis "in situ" del material. El pasado 5 de marzo se terminó la

**“La Antártida está considerada como el lugar más virgen y remoto del Planeta.”**

#### REFERENCIAS

1. E. Shackleton, *Sur-Relato de la Expedición del Endurance y del Aurora 1914*, Ed. Interfolio, 2014.

toma de muestra en la Antártida iniciando, dichas muestras, un viaje de retorno en las neveras y congeladores del BIO Hespérides con rumbo a España.

Nuestro equipo expedicionario en la presente campaña estaba formado por César Marina Montes, Jorge Cáceres Gianni y Jesús Manuel Anzano Lacarte. Además, el grupo se ha completado con la participación en el trabajo de análisis de resultados de Luis Vicente Pérez-Arribas en la UCM. La Antártida es un lugar que provoca una sensación muy difícil de transmitir. Por eso, queremos dejar aquí las primeras impresiones que tuvimos cuando llegamos a ella.

César Marina Montes, tras varios días de viaje llegó el 6 de enero a la isla Decepción, aunque realizó una estancia previa en la BAE Juan Carlos I, en Isla Livingston. Su primera impresión de dicha isla nos la describe así:

*“La Isla Livingston es la segunda isla más grande de las Shetland de Sur, y al igual que sus compañeras, es de origen volcánico. La isla destaca por su gran cantidad de montañas, caletas, acantilados y glaciares, así como por áreas especialmente protegidas como el cabo Shirref o la Península Byers. Además de por las grandes poblaciones de lobo marino antártico, el cabo Shirref es conocido por el supuesto naufragio del navío español San Telmo en 1819. La península Byers es un área libre de hielo donde España cuenta con un pequeño campamento para el estudio sobre todo de su fauna y flora”.*

Jesús Manuel Anzano Lacarte llegó a isla Decepción vía marítima desde Ushuaia a bordo del Hespérides, atravesando en mar de Hoces o estrecho de Drake. Su descripción de la llegada a la isla es la siguiente:

*“En la Noche de Reyes, el Hespérides atraviesa los fueles de Neptuno para entrar en la Isla Decepción, de áridas laderas volcánicas, playas con fumarolas, hábitat de un volcán inquieto donde se encuentra la BAE Gabriel de Castilla, lugar donde casi durante un mes fui testigo del silencio, del respeto a la naturaleza, del trabajo científico con grandes compañeros y de la convivencia muy especial entre científicos y militares”.*

Jorge Cáceres Gianni llegó a isla Decepción a bordo del Hespérides unas semanas después, también desde Ushuaia. Su impresión fue la siguiente.

*“Es una experiencia única y muy enriquecedora, estás en contacto directo con un grupo de personas (el personal*

*del Ejército de Tierra) que están allí para apoyar con una logística muy compleja de los proyectos de investigación. También conoces a otros compañeros científicos y sus proyectos de investigación, sobre los que aprendes mucho y pones en valor el enorme esfuerzo que supone la campaña Antártica Española en este sitio tan remoto y con unas condiciones climáticas extremas.*

*Esta convivencia durante tanto tiempo hace que se forjen nuevas amistades y sientes que formas parte de una familia, que a mí me gusta llamar familia Antártica. En estos momentos que se redacta este artículo, muchos de ellos están aún en el barco Hespérides que, dada la situación de alarma generada por el coronavirus, además de tener que adelantar el cierre de las bases no han podido desembarcar y tomar un vuelo a España como estaba previsto y continúan navegando hacia el norte. Espero que su situación se solucione pronto”.*

#### ISLA DECEPCIÓN: UN VOLCÁN BAJO EL HIELO DE LA ANTÁRTIDA

La Isla Decepción, con su peculiar forma de herradura al noroeste de la península Antártica, es un volcán activo que alberga desde 1989 la base española Gabriel de Castilla. La Isla Decepción pertenece al archipiélago de las Shetland del Sur, en la Antártida. Se sitúa al noroeste de la península Antártica en el estrecho de Bransfield. Se trata de una isla volcánica de forma aproximadamente circular con un diámetro medio de 15 km. La isla alberga en su interior una gran bahía, llamada Puerto Foster, que tiene una estrecha abertura de unos 150 m, que se conoce como Fuelles de Neptuno y que la comunica con el exterior. Más del 50% de la isla está cubierta por glaciares, especialmente en su zona noreste, donde también se localizan las tierras más elevadas. En algunos casos están cubiertos por los piroclastos (fragmento sólido de origen volcánico) generados por las erupciones, formándose así los denominados glaciares negros.<sup>2</sup>

2. V. Carrera, Antártida, 2020, Ed. Del Viento



◀ Isla Livingston.



▶ Bahía Falsa (Península Hurd, Isla Livingston).



Arriba) Fueles de Neptuno y puerta del Isla Decepción, y lobos marinos en Punta Entrada (Isla Decepción).



Abajo) Colaboración científico militar.

El Glaciar Negro es un lugar simbólico de Isla Decepción, formado de una mezcla de cenizas del volcán y de hielo con sus colores predominantes de blanco y negro. Próximo a este glaciar negro se encuentra el glaciar rojo y verde que nos da una imagen espectacular a nuestra vista. Visitarlo fue impresionante, máxime cuando pudimos acceder a un iceberg desde la zodiac con ayuda de Óscar y Marcos, militares que nos acompañaron en la toma de muestra en dicha zona. Cuando nos alejábamos del lugar, escuchamos sus chasquidos como si nos dijese adiós, una sensación difícil de describir.

Otro lugar de interés en la isla es Bahía Balleneros, diría que una de los lugares más impactantes, donde en la década de 1920 empresas noruegas trataban el aceite de ballena y sus derivados. Más de 30.000 ballenas fueron

cazadas en la isla en un solo año. Recorrerla recogiendo muestras de suelo y adentrarse en los almacenes y en las casas de los balleneros, hace pensar que, no hace mucho tiempo, se comercializaba con estos animales. Estos vestigios son testigos de una de las etapas más tristes del continente helado. El mundo ha cambiado y ha permitido recuperar este hábitat para que las ballenas puedan volver a su hogar.

Otro escenario importante en Isla Decepción es Caleta Péndulo, una cala en el lado noreste de Puerto Foster. Su nombre se deriva de las observaciones pendulares y magnéticas hechas allí por la expedición británica dirigida por Henry Foster en 1829. En el entorno destacan las fumarolas en las que se han registrado temperaturas del agua superiores a los 70° C.



Imágenes cedidas por los autores.



Arriba) Caleta Péndulo.

Abajo) Base Antártica Española Gabriel de Castilla (Isla Decepción).



#### BASE ANTÁRTICA ESPAÑOLA GABRIEL DE CASTILLA

El 20 de diciembre de 1989 fue inaugurada la Base Antártica Española Gabriel de Castilla (BAE GdC), situada en la zona sudoccidental de la isla dentro de la Bahía Puerto Foster. La base mantiene la presencia de España en el territorio antártico, en cumplimiento a los acuerdos suscritos por nuestro país en el marco del Tratado Antártico, velando por el estricto cumplimiento y respeto a la legislación internacional relativa a la Antártida. Se desarrollan también proyectos de investigación y experimentación de interés para el Ejército de Tierra y de colaboración en labores de investigación científica. Se suelen realizar en Isla Decepción y en

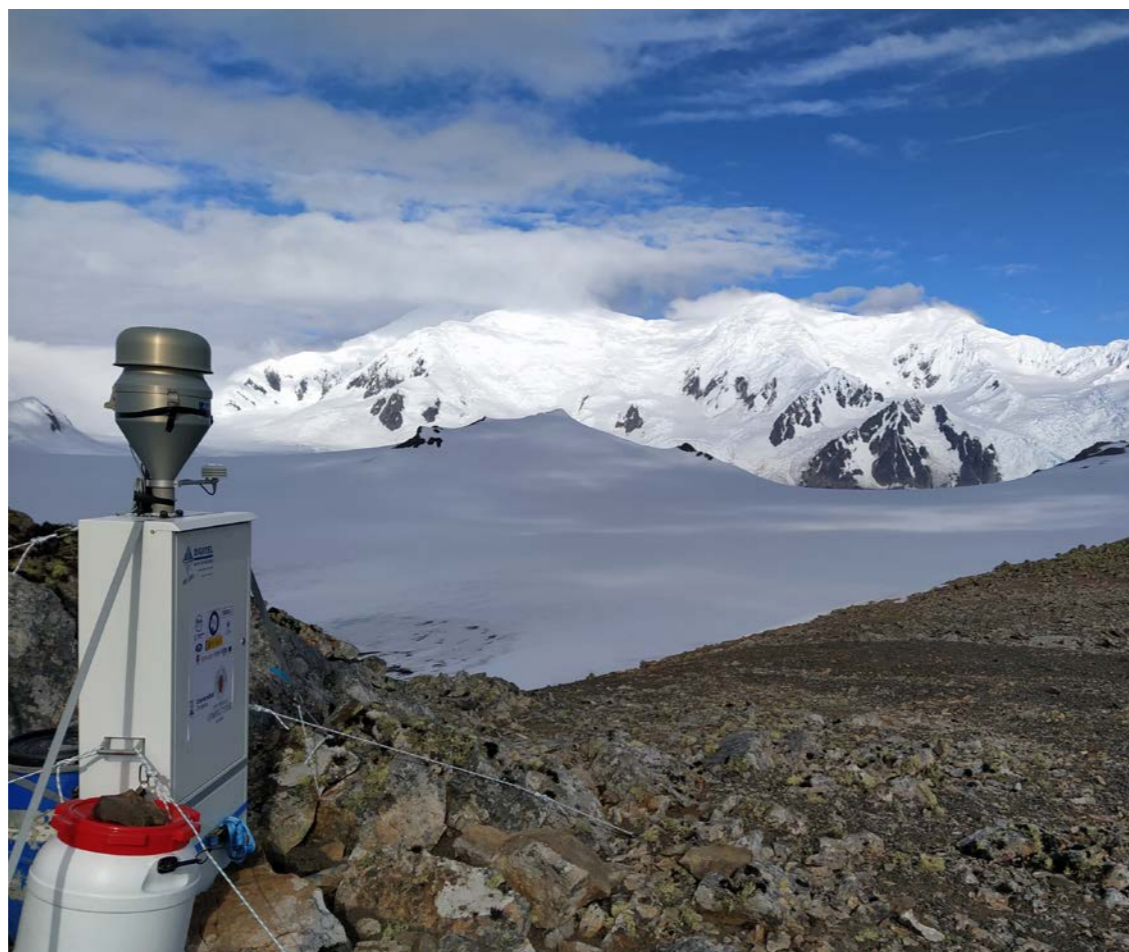
“Otro escenario importante en Isla Decepción es Caleta Péndulo, una cala en el lado noreste de Puerto Foster.”



Imágenes cedidas por los autores.

Arriba) Colaboración científico-militar.

Abajo) Captador de material particulado en Monte Sofía (Isla Livingston, 275m).



aquellos otros lugares del territorio antártico que se determinen. La BAE GdC da, por tanto, acomodo y soporte técnico a numerosos proyectos de investigación tanto del ámbito civil como militar.<sup>3</sup>

Existe una estrecha relación científico-militar que se manifiesta desde el momento del embarque en el Hespérides con la Armada Española y que cristaliza al llegar a la Base Antártica de Isla Decepción, gestionada por el Ejército de Tierra. La recepción es magnífica como si se recibiera a un miembro más de la familia, familia antártica en este caso. Las actividades en la Base compaginan la convivencia en común con la actividad científica. Aunque las reglas de convivencia están muy definidas, no entorpecen en ningún caso el trabajo científico. Hay que señalar que esta organización rigurosa nos ha permitido cumplir nuestros objetivos, a la vez que hacer algún avance para próximas campañas.

El día comenzaba a las 8 de la mañana con el desayuno. Inmediatamente se iniciaban las actividades programadas hasta la hora de la comida, continuándose hasta las 20 h. Por la mañana, con la ayuda de los militares, se realizaba el trabajo de toma de muestras, mientras que por la tarde se trabajaba en el módulo científico de la base. A las 20:30 nos reuníamos para exponer las actividades realizadas y programar las del día siguiente. Además, todos estábamos implicados en las actividades domésticas. Terminábamos el día con alguna película, o con una partida del torneo de fútbol, muy consolidado a lo largo de todas las campañas antárticas. A diario se producían charlas, videollamadas y conferencias que precisan de una red fuerte (afortunadamente el *whatsapp* sí funciona). A casi trece mil kilómetros de España, poder mandar un mensaje a tu familia se convierte en todo un lujo. Un viaje científico a la Antártida es una experiencia sacrificada, pero de la que todos, en un futuro no muy lejano, nos veremos beneficiados. Los domingos realizábamos excursiones con el objetivo de reconocer las rutas de evacuación en la isla.

### PROYECTOS CIENTÍFICOS

En la campaña antártica española 2019/2020 participaron trece proyectos: ocho financiados por la Agencia Estatal de Investigación, cuatro proyectos de mantenimiento de series temporales históricas y un proyecto del Instituto Hidrográfico de la Marina, además de la actividad de la Agencia Estatal de Meteorología. En su conjunto han participado alrededor de 200 personas entre investigadores y personal de apoyo perteneciente a las bases.

Nuestro proyecto fue la *Caracterización de aerosoles atmosféricos en la Antártida, CA3*.<sup>4,5</sup> Los aerosoles son compuestos sólidos o gaseosos que se originan de manera natural (erupciones volcánicas, polvo mineral, etc.) y antropogénica (quema de combustibles fósiles, agricultura, etc.) afectando a la formación de nubes y al clima global. También influyen sobre los ecosistemas. Pueden causar cambios en la acidez de la lluvia o la eutrofización de las aguas. Otros efectos de los aerosoles presentes en la atmósfera son el deterioro de los materiales de construcción o la disminución de la visibilidad por aumento de la turbidez del medio. Son nocivos para la salud humana por su afección a las vías respiratorias.

Los estudios llevados a cabo en Isla Decepción e Isla Livingston revelan altas concentraciones de diversos metales pesados en el aire de la isla (Pb, Cu, Zn, etc.) en concentraciones muy superiores a la composición del suelo de la isla, lo que evidencia su origen antropogénico.<sup>6</sup> Por otra parte, un estudio reciente para determinar el origen de esta contaminación demuestra que la mayor parte de las partículas en suspensión son movidas por vientos circumpolares, sin observar una

3. Ver <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Antartica/antartica/>
4. Ver <http://laantartida.unizar.es>
5. Ver <http://www.antarctic-aerosols.com/>
6. Cáceres J.O., Sanz-Mangas D., Manzoor S., Pérez-Arribas L.V., Anzano J., "Quantification of particulate matter, tracking the origin and relationship between elements for the environmental monitoring of the Antarctic region". *Science of The Total Environment*, 665, 125, 2019.



contribución continental importante de este incremento de metales pesados.<sup>7</sup> Dado que alguno de estos metales se encuentra de forma natural en las heces de los pingüinos, el objetivo del muestreo de las mismas es poder esclarecer qué metales se encuentran en ellas, así como qué porcentaje de esta contaminación en el aire procede de la distintas pingüineras.

El mejor conocimiento del material particulado atmosférico presente en las zonas de toma de muestras nos va a ayudar a una mejor comprensión del estado actual del medioambiente antártico, una zona especialmente singular tanto por sus particularidades climáticas como por su aislamiento. Por otro lado, la disponibilidad de métodos analíticos capaces de proporcionar información sobre la distribución de elementos minerales en filtros de aire es un aspecto clave en el ámbito de las ciencias ambientales. La obtención de imágenes elementales ayudará a interpretar el papel de ciertos elementos metálicos en relación al cambio climático. La ablación láser LIBS combinada con la técnica imaging (micro-LIBS), que se desarrollará en el Institut Lumière et Matière de la Université Claude Bernard Lyon I bajo la dirección de Prof. Vincent Motto-Ros, nos permitirán obtener mejores resultados en las determinaciones sin

necesidad de tratamiento de muestra. No se han diseñado hasta la fecha sistemas rápidos de determinación y caracterización de aerosoles mediante técnicas láser específicos para la Antártida. Nuestro trabajo establecerá las bases para el diseño de una tecnología láser portátil "in situ" que proporcionará información analítica de una forma sencilla y rápida.

.....  
7. Marina-Montes C., Pérez-Arribas L.V., Escudero M., Anzano J., Cáceres J.O., "Heavy metal transport and evolution of atmospheric aerosols in the Antarctic region". *Science of the Total Environment*, 721: 13702, 2020.

## FUTURO

A punto de presentar nuevos resultados, que se incorporarán a la red de centros de investigación polares, ya miramos a la próxima campaña para la que queda poco más de medio año. Queremos llevar una técnica "in situ" de espectroscopía láser. La tendencia es, con cada campaña, convertir la isla en un auténtico laboratorio. Las técnicas que se van a aplicar permitirán la caracterización de las muestras y la determinación de sus lugares de origen, lo que unido al análisis de las situaciones sinópticas que presenta la atmósfera permitirá avanzar en el conocimiento de la circulación general atmosférica en las altas latitudes del hemisferio Sur.

Jesús Anzano y César Marina  
Dpto. de Química Analítica  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

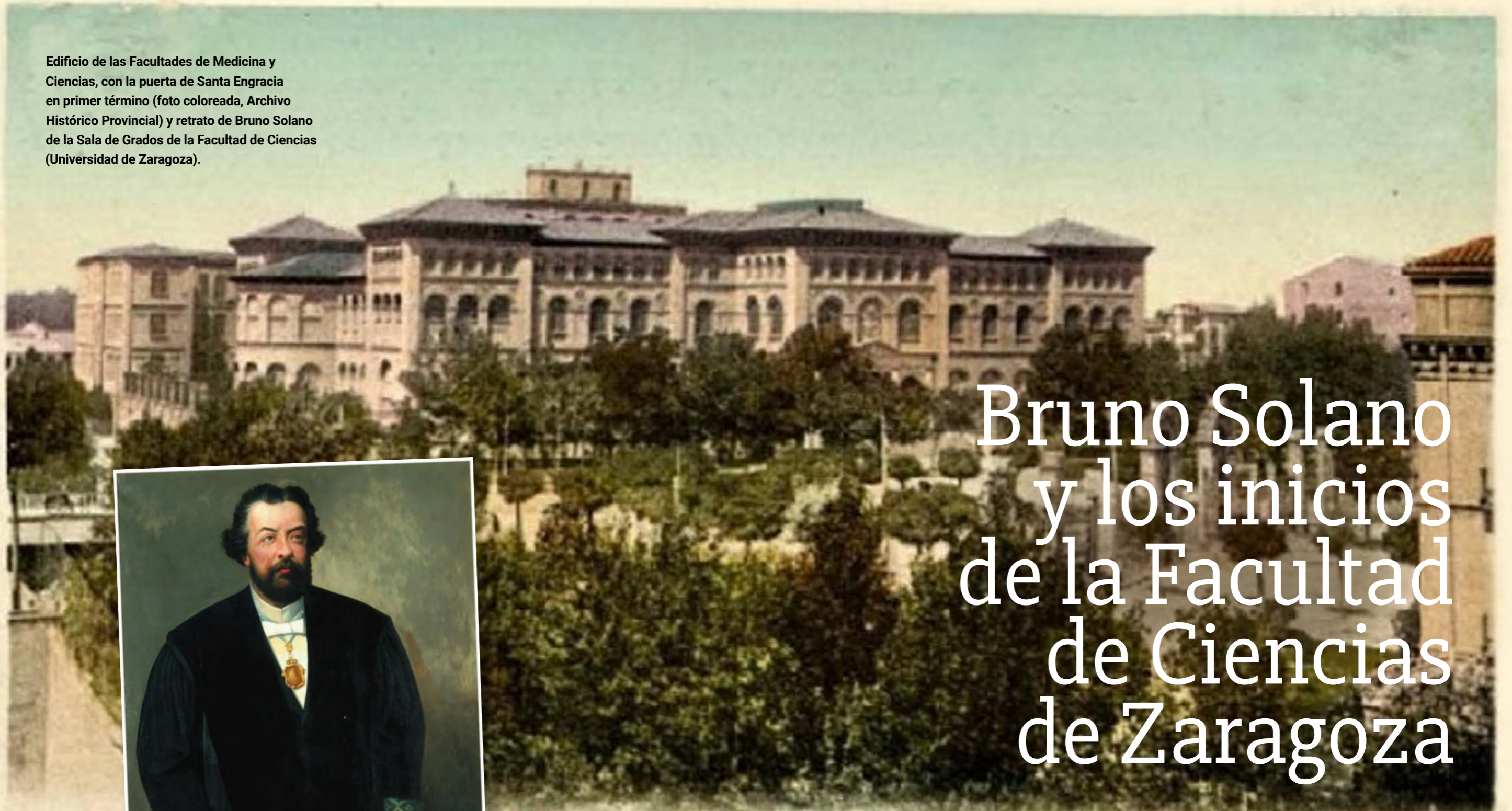
Jorge Cáceres y L. Vicente Pérez-Arribas  
Dpto. de Química Analítica  
Facultad de Químicas  
Universidad Complutense de Madrid

## AGRADECIMIENTOS

Ejército de Tierra del Ministerio de Defensa, Armada Española, Unidad de Tecnología Marina, UTM, Comité Polar Español, CPE, Ministerio de Ciencia e Innovación, Universidad Complutense de Madrid y Universidad de Zaragoza.

<https://www.facebook.com/ProyectoCA3>  
<https://twitter.com/AntartidaCA3>  
[https://www.instagram.com/proyecto\\_ca3](https://www.instagram.com/proyecto_ca3)  
<https://www.youtube.com/watch?v=YRuEdMkabh4&t=7s>

Edificio de las Facultades de Medicina y Ciencias, con la puerta de Santa Engracia en primer término (foto coloreada, Archivo Histórico Provincial) y retrato de Bruno Solano de la Sala de Grados de la Facultad de Ciencias (Universidad de Zaragoza).



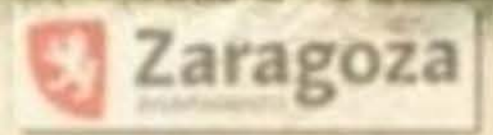
# Bruno Solano y los inicios de la Facultad de Ciencias de Zaragoza



D. D. BRUNO SOLANO Y TORRES, EMINENTE CATEDRÁTICO DE QUÍMICA Y DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS, DIRECTOR DE LA ESCUELA DE ARTES Y OFICIOS, ETC. SUS COMPAÑEROS, AMIGOS Y DISCÍPULOS A LA UNIVERSIDAD.

7079

Zaragoza - La Facultad de Medicina



Fernando Bartolomé



Fotografía de Coyne (A.H.P.Z.) en la que se muestra el cauce de La Huerva en 1918 a su paso por la actual Gran Vía. Se ve parcialmente el Paraninfo a la derecha y el Hospital Clínico.<sup>10</sup>

**B**runo Solano suele ser citado como fundador y primer decano de nuestra Facultad de Ciencias. En este artículo pretendo presentar un esbozo del tortuoso camino que llevó al establecimiento de la Facultad de Ciencias de Zaragoza, siguiendo el relato que el mismo Dr. Solano hizo de dicha historia en la Solemne Inauguración del Edificio de las Facultades de Medicina y Ciencias de nuestra universidad, hoy Paraninfo, el 18 de octubre de 1893, presidida por el Ministro de Fomento, Segismundo Moret.<sup>1</sup> A lo largo de todo este artículo, las frases en cursiva están tomadas del manuscrito de Solano.

El entonces decano de la Facultad de Ciencias, Bruno Solano Torres, habló no solo del *nuevo cuerpo* de la Facultad que se estrenaba ese día, sino de la historia de la propia Facultad que, como un Guadiana educativo que surcase paralelo a los cambios políticos del país, fue naciendo, siendo cancelada y reapareciendo repetidamente a lo largo del último tercio del Siglo XIX.

#### ANTES DE LA FACULTAD

El marco jurídico de la Universidad española venía regido por el Plan Pidal de 1845,<sup>2</sup> cuyo corte liberal intentó establecer la enseñanza como un servicio público, ejerciéndose

un fuerte control desde el Gobierno central tanto del número y ámbito de actuación de las universidades (una Central, en Madrid, y nueve de distrito), como de las titulaciones ofertadas y el programa de las mismas. Ni las ciencias ni Aragón salen muy bien parados: la Universidad de Huesca es *degradada* a Instituto de enseñanza secundaria, suprimiéndose Medicina en Zaragoza (aunque se mantuviesen ciertos estudios profesionales ligados al Hospital Provincial). Las Facultades de Ciencias no están ni definidas, manteniéndose como parte de la de Filosofía o como temas auxiliares a la Medicina y la Farmacia. En 1957, la Ley Moyano, de corte moderado pero mucho más moderna, define la Facultad de Ciencias y sus estudios, aunque la restringe a la Universidad Central. En otros distritos, la Facultad de Filosofía podía ofrecer el Bachillerato de Ciencias, pero no así en el de Zaragoza. De hecho, una Real Orden de 1861 adjudicó el Jardín Botánico y los gabinetes de Química, Física e Historia Natural de la Universidad al Instituto de Segunda Enseñanza, dejándonos sin estudios de ciencias.<sup>3</sup>

#### LA ÉPOCA DE BORAO

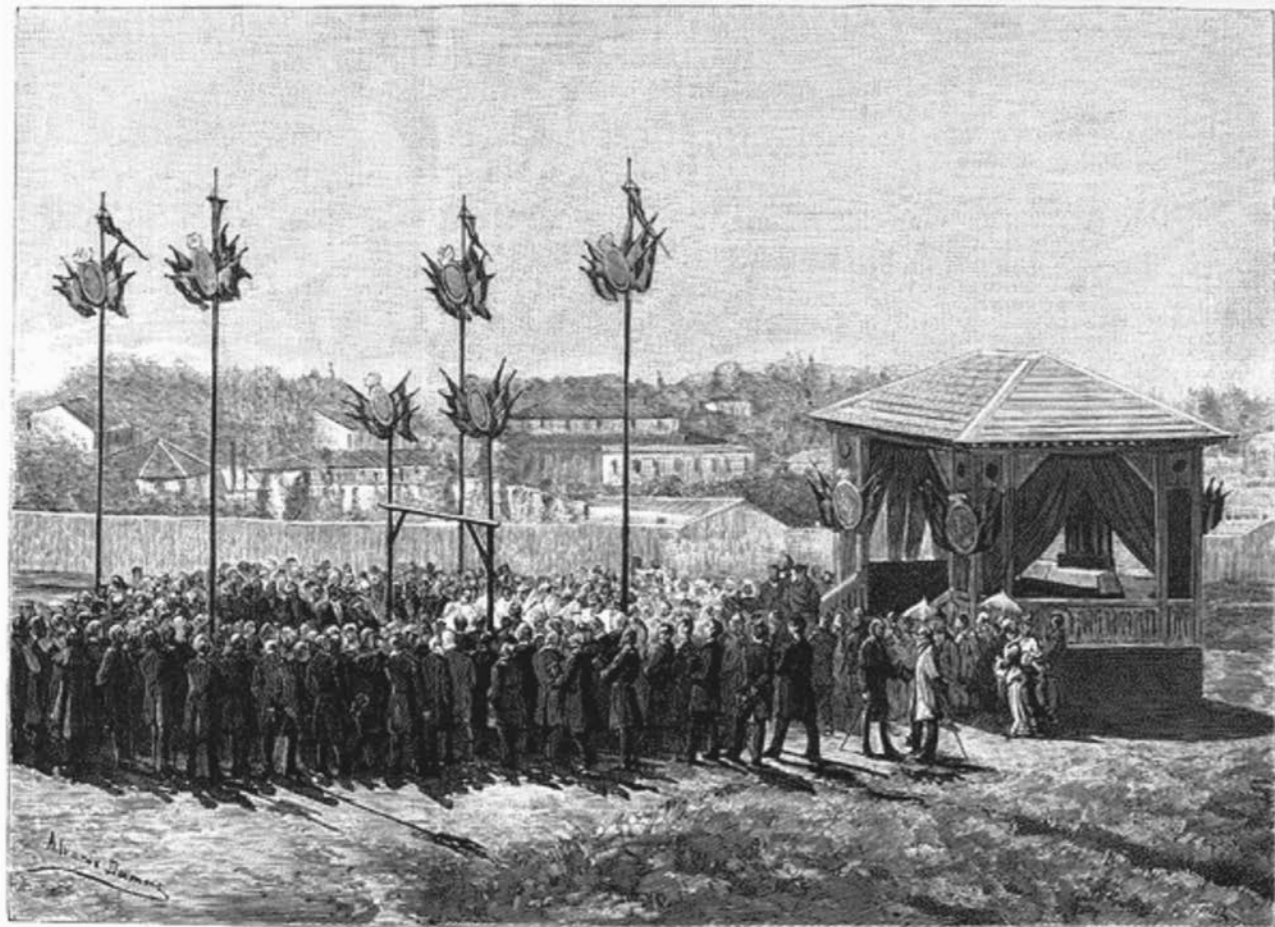
El 19 de julio de 1867, el Marqués de Orovio, antiguo estudiante de Derecho en Zaragoza y controvertido Ministro de Fomento, restableció los estudios de la Facultad de Medicina de su Alma Mater, lo que implicaba la creación de una cátedra de Química y su correspondiente laboratorio para impartir la asignatura de Química General del curso preparatorio. Bruno Solano ocupó interinamente esa Cátedra de Química. Solano era entonces únicamente Bachiller en Ciencias por Valencia, desde 1865, tras haber estudiado "casi entera" la carrera de Jurisprudencia en Zaragoza y Madrid.<sup>4</sup>



Caricatura de Bruno Solano, por Daniel García Nieto.

#### REFERENCIAS

1. El Discurso de Bruno Solano para dicha ocasión se encuentra disponible en la Biblioteca de la Universidad de Zaragoza, y su versión digitalizada es de libre acceso.
2. Toda la reglamentación citada en el artículo puede encontrarse en la página web del archivo histórico de la Gaceta de Madrid / BOE. También hay un interesante repositorio en la página "Filosofía administrada" <http://www.filosofia.org/mfa/index.htm>
3. A. Gregorio de Rocasolano, La Escuela de Química de Zaragoza, "Universidad" 464 (1936)
4. Hilarion Gimeno "Bruno Solano Torres", Anales de la Sociedad Española de Historia Natural XXVIII 131 (1899).



ZARAGOZA.—COLOCACIÓN DE LA PRIMERA PIEDRA DEL EDIFICIO PARA LAS FACULTADES DE MEDICINA Y CIENCIAS, EL 21 DE MARZO ÚLTIMO. (Dibujo de Álvarez Dumont, según fotografía.)

▲  
**Ceremonia de colocación de la primera piedra del nuevo edificio de las Facultades de Medicina y Ciencias, en el Campo Hondo de Lezcano. Dibujo de Álvarez Dumont según fotografía del Ayuntamiento de Zaragoza.**<sup>10</sup>

El establecimiento de Medicina fue muy oportuno, pues la promoción que estudió el Preparatorio de Medicina en el curso 1869-70 tenía en sus filas a Santiago Ramón y Cajal, y a un grupo de importantes médicos de la época, como Severo Cernaro, Pablo Salinas, y Pascual Senac, entre otros. En sus "Recuerdos de mi vida"<sup>5</sup> Cajal rememora a compañeros y profesores, dedicando a Bruno Solano los mayores elogios, tanto en lo docente ("Elocuente, fogoso, afable, [...] su cátedra era templo donde oíamos embelesados la pintoresca e interesante narración de los amores y odios de los cuerpos") como en lo personal, al catalogarle como un auténtico referente ético. Cuenta Cajal que Solano explicaba que se retiró de una cátedra del Instituto de Zaragoza que podía haber ganado diciendo estar "persuadido de que uno de los opositores sabe más que yo, y no quiero dar ocasión a una injusticia". Según Cajal, la vida de Solano estaba llena de hermosos rasgos, "reveladores de que el amor a la justicia era

**"Según Cajal, la vida de Solano estaba llena de hermosos rasgos."**

tan grande en él como su desdén hacia el vil metal", y confiesa que, cuando visitaba Zaragoza, "una de las cosas que más me entristece es la ausencia del malogrado compañero" (Bruno Solano murió a los 59 años, como consecuencia de una intervención quirúrgica).<sup>5</sup>

Tras la revolución *Gloriosa* de septiembre de 1868 se permite a todas las universidades instaurar el Bachillerato de Ciencias (en diciembre), y un decreto del 15 de enero de 1869<sup>2</sup> permitió a corporaciones e instituciones establecer estudios universitarios *libres*, sufragándolos con fondos propios. Los estudios de Medicina en Zaragoza, aunque oficiales, ya se financiaban desde la Diputación Provincial de Zaragoza. Este fue el embrión de nuestra Facultad de Ciencias en su primera época. Según cuenta Solano, la idea inicial la expone el 9 de junio de 1870 el farmacéutico y agrónomo Hermenegildo Gorría, en una reunión con Marcelo Guallart (profesor de Física del Preparatorio)

5. Recuerdos de mi vida, vol. 1, Ed. UAM, Madrid, 2018 (libremente disponible en Proyecto Gutenberg)

**Grabado de Tomás Carlo Capuz, del 8 de noviembre de 1893, en el que se representa la inauguración del nuevo edificio destinado a las facultades de Medicina y Ciencias". Publicado en la Revista: La Ilustración Española y Americana.**<sup>10</sup>



ZARAGOZA.—SOLEMNE FIESTA LITERARIA PRESIDIDA POR EL EXCMO. SEÑOR MINISTRO DE FOMENTO, PARA CELEBRAR LA INAUGURACIÓN DEL NUEVO EDIFICIO DESTINADO A LAS FACULTADES DE MEDICINA Y CIENCIAS.

Wikipedia.



en el domicilio de Dr. Florencio Ballarín, Catedrático “propietario” de Historia Natural. Estos *tres ilusos*, como los llama Solano, convocan a un grupo de 8 profesores del Preparatorio y del Bachillerato de Ciencias, entre los cuales ya se cuenta él mismo, cuatro días después. Finalmente, una *legión de 17 profesores* presididos por Ballarín, aprovechan la apertura administrativa para solicitar mediante *instancia a la Diputación Provincial de Zaragoza, el 29 de julio de 1870, el establecimiento de una Facultad Libre de Ciencias en la Universidad de Zaragoza, en la que se extiendan títulos de Licenciatura y Doctorado en las tres secciones* que definía la Ley Moyano (Físico-Químicas, Exactas y Naturales). Algunos puntos de la instancia son merecedores de mención expresa, y así lo hace Solano en su discurso: «*Los profesores ofrecen sus servicios sin pedir a esa Excelentísima Diputación remuneración ninguna*»; y deciden por unanimidad no percibir ni siquiera la proporción del fondo de matrículas a la que tienen derecho *“hasta que se adquiriera el material indispensable para que la palabra del Maestro sea confirmada por la Experiencia”*.

La DPZ no se demora mucho en su decisión: la Facultad Libre de Ciencias comienza a preparar y otorgar licenciaturas en Ciencias en el curso 1870-71, regida por el Decano F. Ballarín hasta 1872. En esta primera época “libre”, que abarca desde 1870 a 1874, la Facultad concede 8 títulos de doctor, entre ellos a varios profesores de la casa, como Zoel García de Galdeano (Exactas), Marcelo Guallart (Físico-Químicas) y doblemente a Hermenegildo Gorría (Exactas y Físico-Químicas). Bruno Solano obtiene la licenciatura en Ciencias Físico-Químicas en 1873, sin dejar de ser Catedrático interino de Química en el curso Preparatorio de Medicina y de ejercer, por 800 escudos anuales, como catedrático de Aritmética y Geometría en la Escuela de Bellas Artes de Zaragoza (y que era entonces su único puesto con remuneración). No está claro si fue su intención doctorarse por Zaragoza, pero las vicisitudes administrativas y financieras se lo impiden, puesto que la Facultad Libre de Ciencias es suprimida en 1874, por acuerdo de la Diputación del 1 de octubre. Solano entiende que la situación no podía extenderse más en el tiempo, dado que la exigencia a los docentes (que no cobraban sus clases) y a la pro-



En esta fotografía de Lucién Roisin (colección particular<sup>10</sup>) del año 1931 podemos ver el Paseo de La Gran Vía ya cubierto. A la derecha, fachada lateral de las Facultades de Medicina y Ciencias, y detrás, el Hospital Clínico.

pia Diputación era excesiva, sin que el Estado asumiese sus responsabilidades con la docencia que impartían.

La Facultad de Medicina en Zaragoza se salva, provisionalmente, siendo transformada en Facultad en 1876.<sup>6</sup>

El discurso de Solano rinde merecido homenaje al por tres veces Rector de la Universidad de Zaragoza, Jerónimo Borao, entonces en su segundo mandato. Borao impulsa y acoge la creación de las Facultades Libres de Medicina y Ciencias. Cuando en 1872 deja de ser Rector por su nombramiento como Director General de Instrucción Pública, se reconocieron como oficiales los títulos emitidos por las Corporaciones populares y sus Escuelas Libres, con lo que las 56 licenciaturas y 8 doctorados en Ciencias de Zaragoza pasan a ser títulos tan válidos como los emitidos por la Facultad de Ciencias de la Universidad Central. Solano describe cómo en agradecimiento a todo su trabajo, el 15 de junio de 1872, el Claustro de profesores de Ciencias de Zaragoza deciden *la acuñación de una medalla que recordase a las generaciones venideras tan singular beneficio*. La medalla, que se conserva en el Decanato de la Facultad, incluye un listado de los 17 profesores que ofrecieron y

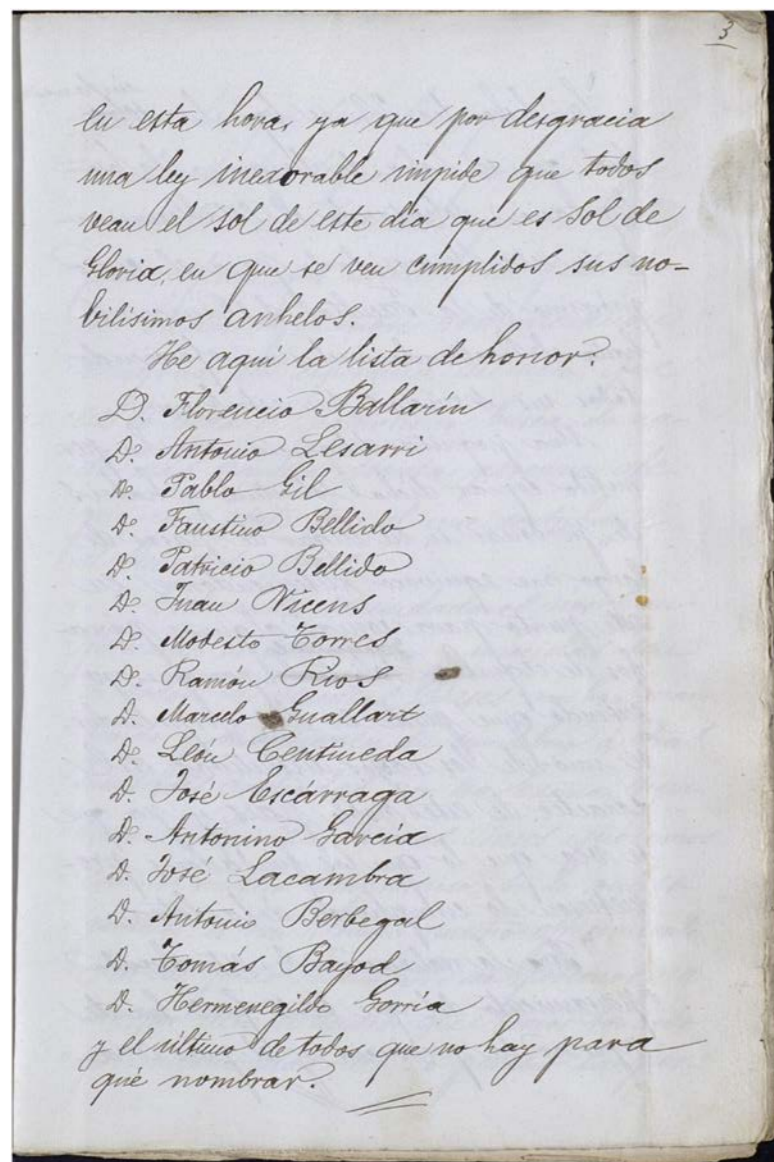
6. *Historia de la Universidad de Zaragoza*, Concha Lomba y Pedro Rújula (eds.) Prensas Universitarias, Zaragoza 2016.

*“Los profesores ofrecen sus servicios sin pedir a esa Excelentísima Diputación remuneración ninguna.”*

Bruno Solano.



Fotografía de Bruno Solano realizada por Modesto Soteras, como aparece en la Ref. [4].



◀ **Discurso manuscrito de Bruno Solano:<sup>1</sup> Legión de 17 profesores que firmaron la instancia a la DPZ para instaurar la Facultad Libre de Ciencias en Zaragoza. En su mayoría coinciden con los que acuñaron la medalla para Borao, cuyos nombres también constan en el discurso**

financiaron dicha medalla, siendo los 16 que respondieron al llamamiento de Ballarín profesores con filiaciones políticas de las más diferentes, haciendo el Bien por el Bien mismo. Y concluye: *Esta época, de las dos en que puede dividirse la historia de nuestra Facultad, bien merece que se la llame "Época de Borao"*.

#### LA ÉPOCA DE CALLEJA

En 1876 solo quedan las tres cátedras científicas del Preparatorio de Medicina como pavesa de lo que fue hoguera: Alberto Segovia sucede a Ballarín en la cátedra de Historia Natural tras su fallecimiento en 1877, José Muñoz del Castillo ocupa la cátedra de Física y Solano es confirmado como profesor, aún

interino, de Química. Tras doctorarse en 1879 en Madrid, gana por oposición la Cátedra de Química de la Facultad de Medicina en 1881, tomando finalmente posesión de la misma en 1882.

En 1880 se había remodelado el plan universitario del país, siendo Barcelona la única universidad de distrito, además de la Central en la que se instaura una facultad de Ciencias. Pero en nuestra ciudad, *la pavesa iba pronto a reavivar la hoguera*: el necesario papel que jugó Borao en la primera época lo jugará ahora D. Julián Calleja, senador por la Universidad de Zaragoza, quien presionado por Solano convence al Ministro D. José Luis Alvareda (*el mismo que refrendó el decreto de nuestro Canfranc*), de reestablecer la Facultad de

Ciencias de Zaragoza ocho años después. Aunque Solano no cita este extremo en su discurso, parece que fue su insistencia una vez que tomó posesión de su cátedra, unida a la del Rector y otros catedráticos, lo que acabó de convencer a Calleja de que debía presionar a Alvareda...

La Facultad de Ciencias de Zaragoza es establecida provisionalmente por una Real Orden el 15 de marzo de 1882. Solano sí nos cuenta que *la manera de reavivar la hoguera fue la de siempre: Catedráticos propietarios que se cargaban con tareas dobles, y jóvenes entusiastas que ofrecían su desinteresado concurso*. Y tanto: la propia Real Orden especificaba *la voluntad de Su Majestad de que los Profesores y auxiliares se encarguen de la nueva docencia sin remuneración alguna* (subrayado del propio Solano en el original). ¡Qué poco hemos cambiado! Hace cien años ya se establecían títulos a coste cero, provisionalmente... Como dijo el mejor discípulo de Solano, Antonio de Gregorio Rocasolano<sup>3,7</sup> "Zaragoza fue la primera población de España que por su esfuerzo y su propia iniciativa estableció los estudios de la Facultad de Ciencias».

José Muñoz del Castillo, el Catedrático más veterano de los tres, fue el primer decano de la Facultad provisional, desde 1882 hasta diciembre de 1887, año en que le sucedió Bruno Solano, que fue decano hasta el día de su muerte, en 1899.

La ciudad y la provincia de Zaragoza tuvieron pronto la ocasión de disfrutar de la inversión realizada: durante la epidemia de cólera de 1885, al no existir en Zaragoza otro laboratorio de química que el de Solano, y ante las dudas de los ciudadanos y las autoridades acerca de la salubridad de las aguas del canal, se encargó a Solano el análisis de las mismas. Análisis minuciosos le permitieron comprobar que las aguas no estaban contaminadas, tal y como Cajal suponía por sus estudios epidemiológicos en los barrios de la ciudad.<sup>8</sup> Solano notificó al alcalde la buena nueva con las que son probablemente sus más famosas palabras: "el sueño de mi vida, mi vida misma, es mi madre; para tranquilidad de todos, yo no tengo inconveniente en dar de beber a mi madre las aguas consideradas sospechosas".<sup>9</sup>

#### EL CUERPO DE LA FACULTAD

La Universidad de Zaragoza no tenía espacio para una nueva facultad. De hecho, la de Medicina ya no cabía en el viejo edificio de la Magdalena, compartido con

Filosofía y Letras y Derecho, teniendo que ocupar parcialmente el Hospital de Nuestra Señora de Gracia, hoy Provincial. Solano responsabilizaba en su discurso a don Julián Calleja del Decreto que el 6 de marzo de 1886 de conseguir la aprobación del proyecto del necesario nuevo edificio para las Facultades de Medicina y Ciencias: *el mismo [...] que con sabio plan plasmó alma, después emprendió la creación del cuerpo*. Cuerpo al que dieron forma el arquitecto Ricardo Magdalena y el constructor Juan Pruneda, en un solar junto al Huerva, el Campo Hondo de Lezcano, situado a las afueras (!), que fue comprado a tal efecto por 180.000 pesetas,

**“El discurso de Solano rinde merecido homenaje al por tres veces Rector de la Universidad de Zaragoza, Jerónimo Borao.”**

- .....
7. Biografía Científica de la Universidad de Zaragoza, Mariano Tomeo Lacrué, Facultad de Ciencias, Zaragoza, 1962.
  8. Santiago Ramón y Cajal. "Estudios sobre el microbio vírgula del cólera y las inoculaciones profilácticas" Diputación Provincial de Zaragoza, 1885. Se imprimió una versión facsímil en 2003 con ocasión del Simposio Cajal y la Consciencia, Zaragoza 1999.
  9. F. Zubiri Vidal, "Médicos aragoneses ilustres". Zaragoza: Institución Fernando el Católico; 1983.

y pagado a escote por el Ayuntamiento de Zaragoza y la Diputación Provincial. Los tres edificios, cuya construcción costó 2.852.521,20 pesetas, fueron pagados por el Estado: facultades, hospital clínico (hoy Facultad de Empresariales) y Laboratorio de disección (cuyo emplazamiento hoy ocupa la actual Biblioteca de Empresariales). El Instituto Anatómico Forense fue añadido al conjunto, también de la mano de Ricardo Magdalena, unos años después.<sup>10</sup>

Magdalena firmó un proyecto que cumplía con las especificaciones de los dos Claustros de profesores, como estaba obligado por el Decreto, *pues igual que el artista estudia la Naturaleza, el Arquitecto debe escuchar al Catedrático si se apercibe a construir una Escuela*. Y Solano tenía una intención clara y radicalmente moderna: *Demostrar experimentalmente la doctrina. El experimento a todas horas. No hay palabra que lo supla. Exponer las Ciencias sin el cortejo de la demostración experimental es como estudiar equitación sentado en una silla*. La belleza del Paraninfo se engrandece pensando en ese espíritu que lo engendró en la cabeza de aquellos que se atrevieron a exigir lo que era justo.

#### FÉNIX TANTAS VECES RESUCITADO

Las obras fueron largas. La primera piedra (proveniente de los cimientos del edificio de la Magdalena) la colocó el 21 de marzo de 1887 el director General de Instrucción Pública... ¡don Julián Calleja! La obra fue terminada en primavera de 1892 e inaugurada el 18 de octubre de 1893 por el ministro de Fomento, don Segismundo Moret, en la "solemne fiesta literaria" en la que el Dr. Solano pronunció el magnífico discurso que hila este artículo. Pero... ¿Porqué tuvo que pasar año y medio entre el fin de las obras y la inauguración?

Porque, como en las películas de miedo de serie B, cuando las obras estaban ya casi acabadas, a nuestra Facultad le quedaba sufrir un último susto: debido a drásticos recortes presupuestarios, el 16 de julio de 1892 se promulgó un decreto en virtud del cual se suprimían de la Universidad de Zaragoza los estudios de Ciencias aprobados en 1882, dejando (¡de nuevo!) solamente los correspondientes al curso preparatorio de las enseñanzas de Medicina. Podemos imaginarnos las protestas de Solano, en esta tercera ocasión ya catedrático y decano, argumentando que la inversión realizada en el nuevo edificio no podía caer en saco roto, ni aún parcialmente. Y surgieron efecto en un año bastando un cambio en el Ministerio de Fomento, que

pasó a manos de Segismundo Moret, diputado por Zaragoza, para que el Real Decreto de restricciones en los gastos para Enseñanza fuese revocado en lo tocante a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. No quedó ahí la cosa: las negociaciones del Rector Antonio Hernández Fajarnés y los Decanos de Medicina, Salustiano Fernández de la Vega, y de Ciencias, junto al senador Calleja, consiguieron además la ampliación de la Facultad con la Sección de Exactas y el establecimiento **definitivo y oficial** de la Facultad de Ciencias, tras 11 años de provisionalidad, y casi en su versión definitiva hasta nuestros días. Con razón dice Solano en su discurso que es oportuno dedicar a la Facultad una variación de la inscripción de Pignatelli en la fuente del Canal, *Incredulorum convictioni et scholarum commodo*, esto es, "para convicción de los incrédulos y conveniencia de los estudiantes".

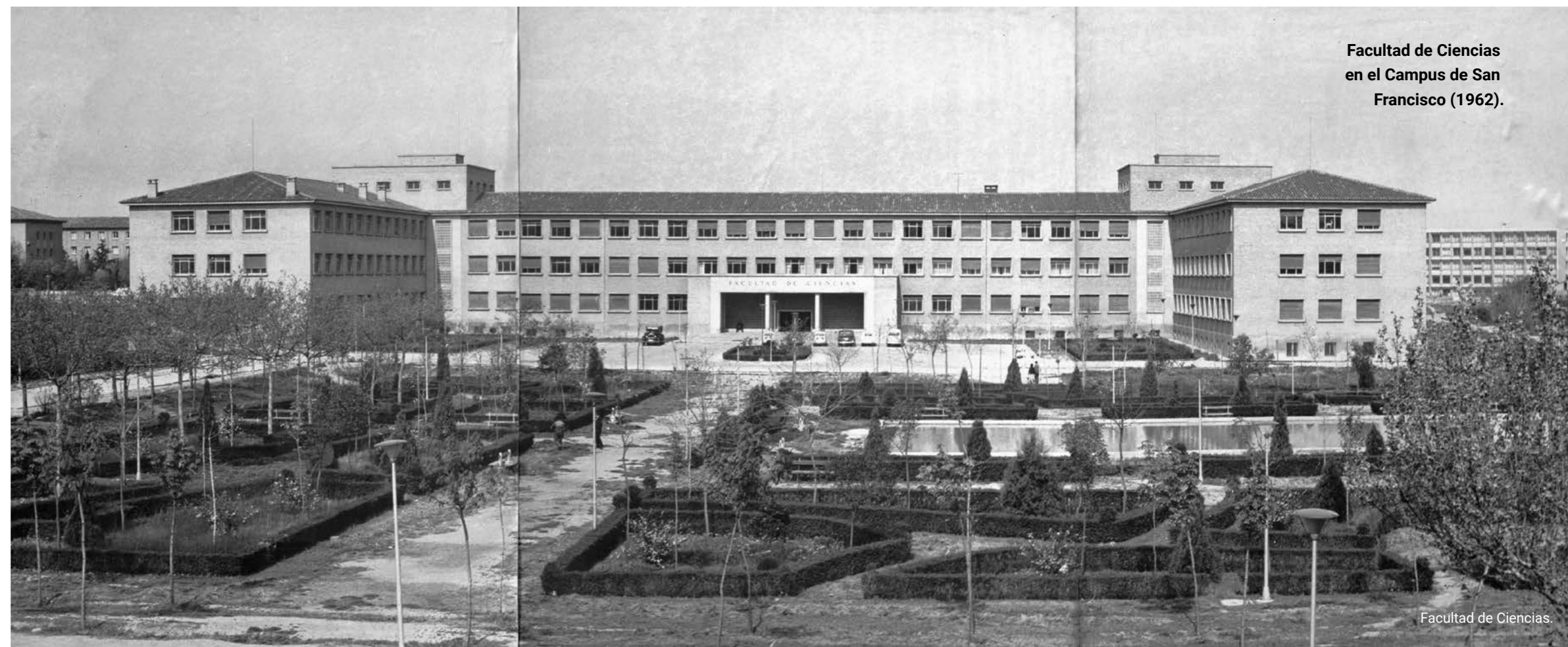
Como recuerda Cajal<sup>5</sup>, Solano tenía "un soberbio temperamento de escritor. ¡Un escritor que no quiso nunca escribir!..." Su discurso en la inauguración del edificio de las Facultades da testimonio de ello, aunque Cajal destaca "singularmente, el bellísimo discurso de apertura universitaria acerca de las orientaciones de la Química

moderna" (Clase inaugural del Curso 1887-88), que bien podría merecer otro artículo en un futuro, menos legislativo y más científico, si hay ocasión.

Solano no titula explícitamente esa segunda era de la Facultad como "**época de Calleja**", salvo por la comparación continua del personaje con Borao, que da nombre a la primera. Creo que, en justicia, haber establecido oficial y definitivamente los estudios de Ciencias, en un edificio no solo digno sino bello, su impulso investigador y emprendedor y la sabia elección de los discípulos de los que se rodeó, que fueron inicio de la llamada Escuela de Química de Zaragoza<sup>3,11</sup> bien podría llevarnos a nombrar una tercera época "**de Solano**", que al menos se extendería hasta la inauguración del nuevo edificio de Ciencias y el traslado de la Facultad a la Ciudad Universitaria en 1962.

Fernando Bartolomé  
Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón  
CSIC – Universidad de Zaragoza

10. Guadalupe Ferrández Sancho - El Palacio de la Ciencia y el Saber, en <[www.elviajedelalibélula.com](http://www.elviajedelalibélula.com)> El viaje de la libélula, página web y blog sobre historia del arte y arquitectura, que ha facilitado varias de las imágenes e información histórica.  
11. José Luis Cebollada, L'ull 11, 189 (1988)



Facultad de Ciencias  
en el Campus de San  
Francisco (1962).



# GuíaME-AC-UMA: un programa de apoyo al alumnado de altas capacidades intelectuales

Enrique Viguera Mínguez  
y Ana Grande Pérez



Imágenes cedidas por el autor.

◀ El alumnado de altas capacidades intelectuales se caracteriza por su afán por conocer.

**GuíaME-AC-UMA: un programa de apoyo al alumnado de Altas Capacidades Intelectuales desde la Universidad de Málaga.**

—¿Le habéis preguntado a vuestro hijo por el significado de los dibujos que hace? —Preguntó su profesora de primero de infantil.  
 —No —dijeron los padres—. Son generalmente dibujos muy sencillos, esquemáticos, incomprensibles.  
 —A ver, explícanos por ejemplo éste de aquí.  
 —Pues he dibujado una casa, unas nubes y dos estrellas.  
 —Pero la casa está ardiendo —dijo el padre.  
 —Sí, claro, por este rayo que ha salido de las nubes y ha caído en la casa. Por eso arde.  
 —¿Y las estrellas junto a la casa?  
 —Las estrellas sirven para apagar el fuego.  
 —(j) Explícamelo, porfi.  
 —Cara de condescendencia... —El fuego necesita oxígeno para que se produzca y como en las estrellas no hay oxígeno, las uso para apagar el fuego...

Teniendo en cuenta que el niño tenía sólo cinco años, la respuesta no dejaba de ser sorprendente. En algún sitio había oído hablar acerca de la combustión, de la falta de atmósfera en las estrellas y el resto ya era cosecha propia. «Manejar esos conceptos a esta edad es sorprendente. Llega incluso a incluir la variable tiempo en los dibujos, algo muy poco frecuente a esta edad. Cuando le he dicho que me dibuje a su hermanito recién nacido sólo faltaba la imagen del ginecólogo. Y cuando le dije que dibujara un árbol comenzó por una semilla,

luego ésta echó raíces, en otro dibujo ya tenía tallo y en el siguiente, hojas. Sólo he visto pocos casos similares en mis veinte años de maestra. Deberíais consultar con un especialista en altas capacidades intelectuales para que le hagan un estudio porque, de confirmarse, vuestro hijo os va a demandar mucho».

Este es sólo uno de los ejemplos de comentarios de padres acerca del momento en el que empiezan a darse cuenta de que su hijo no va al mismo ritmo que los



▶ Estructura de taller inspirada en el método científico.

demás niños de su edad. La precocidad es una de las características del alumnado identificado con altas capacidades intelectuales. Este alumnado suele comprender inmediatamente los conceptos que se explican en clase, empiezan a explorar por ellos mismos, sacar conclusiones y a demandar más y más información. Si bien intuitivamente pensamos que los alumnos superdotados son siempre brillantes académicamente, lo cierto es que lo más característico es su heterogeneidad: alumnado que efectivamente se caracteriza por un rendimiento académico intachable, que elabora las pruebas con gran rapidez y con excelentes resultados, también está el alumnado altamente creativo, con una capacidad para aportar soluciones originales y planteamientos que han escapado incluso al profesor que ha elaborado las cuestiones y, entre ambos y en gran parte de los casos, alumnado que pasa desapercibido durante su etapa educativa o que, mientras destaca en áreas muy concretas, se enfrenta a grandes retos en las demás.

Trabajo en ciencia. Desde que acabé la carrera me introduje en el mundo de la investigación y en él sigo. Si hay algo que valoro especialmente es este pensamiento divergente, tan necesario en la investigación. Ver las cosas desde otra perspectiva, otras orientaciones, ideas y soluciones creativas en las que no haya pensado nadie... Me viene a la cabeza el descubrimiento

de las secuencias CRISPR que realizó el investigador Francis Martínez Mojica y su propuesta acerca de la existencia en bacterias de un sistema de defensa contra los fagos. Tan absolutamente brillante y excepcional que ningún investigador le creyó. Ahora es un firme candidato al Premio Nobel.

Sin embargo, este alumnado altamente creativo se aburre en clase, suele manifestar problemas de conducta y su mente imaginativa le hace evadirse de la rutina del trabajo en la escuela. La consecuencia principal es el conflicto con los profesores, que no comprenden a este alumnado y malinterpretan esta creatividad, con el sistema educativo, que muestra limitaciones en su detección y su intervención, y con sus compañeros, quienes ven en ellos un objeto de burla y en consecuencia este alumnado es frecuentemente objeto de acoso escolar.

**Acto de inauguración programa GuíaME-AC-UMA en las instalaciones de la Universidad de Málaga.**



Imágenes cedidas por el autor.



¿Cómo podemos ayudar desde la universidad a este alumnado en su etapa de estudios de secundaria, bachillerato o ciclos formativos? Esta fue la cuestión que nos planteó la psicóloga M<sup>a</sup> Dolores García Román, especialista en alumnado de altas capacidades intelectuales. Durante más de 25 años ha estado trabajando desde la Delegación de Educación de la Junta de Andalucía para implantar un sistema de identificación de este alumnado y para darle apoyo. M<sup>a</sup> Dolores reclamaba para este alumnado un programa que complementase su formación, que les proporcionase otros referentes y la posibilidad de iniciarlos a la investigación a través de la universidad, lo cual se aventuraba como una buena opción.

Varios profesores de la Universidad de Málaga y de enseñanza media llevábamos varios años desarrollando la iniciativa Encuentros con la Ciencia-Málaga, una actividad de difusión a la sociedad de la ciencia que se origina en centros de investigación españoles en la que, además de conferencias científicas, desarrollábamos talleres de ciencia para el público general.

Aquello nos pareció un bonito reto, por lo que varios de los profesores participantes en este proyecto nos implicamos desde la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga en el desarrollo de talleres de ciencia específicos para este alumnado, cada uno desde su respectiva disciplina. Han transcurrido ya siete edi-

**Taller del programa GuíaME-AC-UMA Mutantes ¿Ciencia ficción o realidad? Impartido por la profesora Ana Grande.**

**“Si hay algo que valoro especialmente es este pensamiento divergente, tan necesario en la investigación.”**

ciones de los talleres GuíaME-AC-UMA, un programa de enriquecimiento extracurricular dirigido a estudiantes identificados con altas capacidades intelectuales (AACII), entre 12 y 18 años, desde 1º de la ESO a 2º de Bachiller y Ciclos Formativos de Grado Medio y Superior denominado como talleres “GuíaME-AC-UMA”. El proyecto está coordinado y evaluado por un equipo constituido por tres psicólogos especialistas en altas capacidades intelectuales, además de M<sup>a</sup> Dolores García Román, creadora del programa, Serafina Castro Zamudio y Diego Tomé y yo como coordinador con la UMA y la FECYT, y en él participan centros educativos (públicos, concertados y privados) en un procedimiento coordinado desde la UMA con la colaboración de la Delegación territorial de la Consejería de Educación en Málaga.

GuíaME-AC-UMA es un programa pionero en España, reconocido oficialmente por la Universidad de Málaga y la Delegación de Educación de la Junta de Andalucía y se enmarca en el convenio de la propia Universidad de Málaga (UMA) y la Asociación ASA Málaga y se incluye dentro del programa de actividades de Encuentros con la Ciencia, financiado por FECYT en las últimas convocatorias.

Como todo proyecto, ha ido evolucionando con el tiempo y en la actualidad participan más de 50 profesores de la Universidad de Málaga, así como con mentores provenientes del mundo de la Escuela Superior de Arte Dramático, ESAD y del Conservatorio de Música, así como profesionales de otras Universidades y participan una media de 170 alumnos.

El método que utilizamos consiste en talleres experimentales o teóricos en una o dos sesiones que los profesores imparten a grupos reducidos de alumnado identificado de AACII. Los títulos de algunos de los talleres lo dicen todo: *Virus emergentes*, *Bioinformática: explorando los genomas*, *Animales sobre los que investigar*, *animales con los que investigar*, *Taller de habilidades para hablar en público*, *Comunicación de las marcas*, *Diseña tu propio detector de ondas gravitacionales*, *Magia matemática*, *Cómo mentir con estadísticas*, *¿Pueden pensar las máquinas?*, *¿Cómo funciona tu móvil?*, *Cuerpo y género: expresión corporal*, *El juego de la vida y sistemas emergentes*, *Prospectiva y análisis de inteligencia*, etc. Toda la información actualizada está recogida en nuestra web [www.guiame-ac.es](http://www.guiame-ac.es).

Los talleres se realizan en las instalaciones de la Universidad de Málaga, con un método que favorece el aprendizaje por descubrimiento, contribuye al desarrollo



“Como todo proyecto, ha ido evolucionando con el tiempo y en la actualidad participan más de 50 profesores de la Universidad de Málaga.”

Imágenes de talleres de verano: Astronomía y construcción de una cápside vírica por impresión 3D.





Imagen cedidas por el autor.

▲  
**Taller de Oceanografía.**

científico del alumnado y que utiliza una amplia variedad de recursos didácticos para potenciar la curiosidad, el pensamiento creativo y crítico. Además, estimula la automotivación, la tolerancia a la frustración, la perseverancia y la toma de decisiones, fundamentales en la actividad científica.

Adicionalmente, al alumnado participante en el programa GuíaME-AC-UMA se le ofrece la oportunidad de profundizar en alguno de los temas en los que ha participado, guiado por el profesor mentor, y elaborar un trabajo que puede presentar al público en un concurso que organizamos al comienzo del curso académico.

Los resultados obtenidos a lo largo de la trayectoria indican que ha promovido la motivación hacia el aprendizaje, ha posibilitado la creación de vínculos sociales y emocionales con el resto de alumnado AACII, que se

“Desde hace unos años nos hemos visto motivados a extender la acción hacia edades más tempranas.”

han extendido a sus estudios universitarios actuales. Este modelo se está exportando a otras universidades españolas (Universidad de la Laguna, Universidad de las Islas Baleares, Universidad de Cantabria, etc.) y de Sudamérica, constituyendo una oportunidad para la formación de este alumnado.

Pero además del enfoque inicial, que como hemos mencionado abarca la franja etaria de 12 a 18 años, desde hace unos años nos hemos visto motivados a extender la acción hacia edades más tempranas. Niños y niñas que, con diferentes niveles de profundidad, demandan la misma atención pedagógica y a los que hemos canalizado este servicio coordinados con entidades con experiencia y rigor en educación como Planeta Explora y en colaboración con la Asociación ASA de Altas Capacidades de Málaga. Nuestras acciones “DE MAYOR QUIERO SER...” y el “Campus Científico- Tecnológico” de verano, coordinadas por la Dra. Ana Grande del equipo de Encuentros con la Ciencia, son acciones de éxito consolidadas ya y modelo de ejemplo para aplicaciones emergentes en otros contextos.

En esta franja de edad, los contenidos de los talleres son muy variados y contemplan un primer objetivo general que pasa por programar didácticamente con un tratamiento adecuado del nivel de atención, para evitar la dispersión por excesiva confianza, aspecto que no trabajado puede llevar a un rechazo a la escuela y a consecuencias no deseadas.

Las acciones que abordamos con la línea de menores de 12 años tienen su marco educativo en varios puntos sobre los que hacemos orbitar los diferentes contenidos: ciencia divertida (astronomía, robótica educativa, paleontología, salud, medioambiente, ingeniería, etc.), enriquecimiento, contenidos de educación emocional y social o artes.

Memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva, autorregulación y discronía son variables transversales sobre las que hay que pensar siempre trabajando educativamente con alumnos de alta capacidad intelectual y así lo hacemos.

El formato por el que optamos para esta edad, combinar educadores profesionales que atienden las necesidades pedagógicas de cada grupo con investigadores de la UMA a través de Encuentros con la Ciencia en cada área de contenido, es una fórmula de éxito que nos permite profundizar con atención personalizada y

respetando gustos e intereses. Y debe ir bien, porque las familias nos demandaron la realización de campus en verano para conciliar su vida laboral con la opción que sus hijos e hijas más disfrutaban y cada día que pasa contamos con mayor demanda de servicios entre la comunidad.

*No basta saber. Se debe también aplicar. No es suficiente querer, se debe también hacer.*

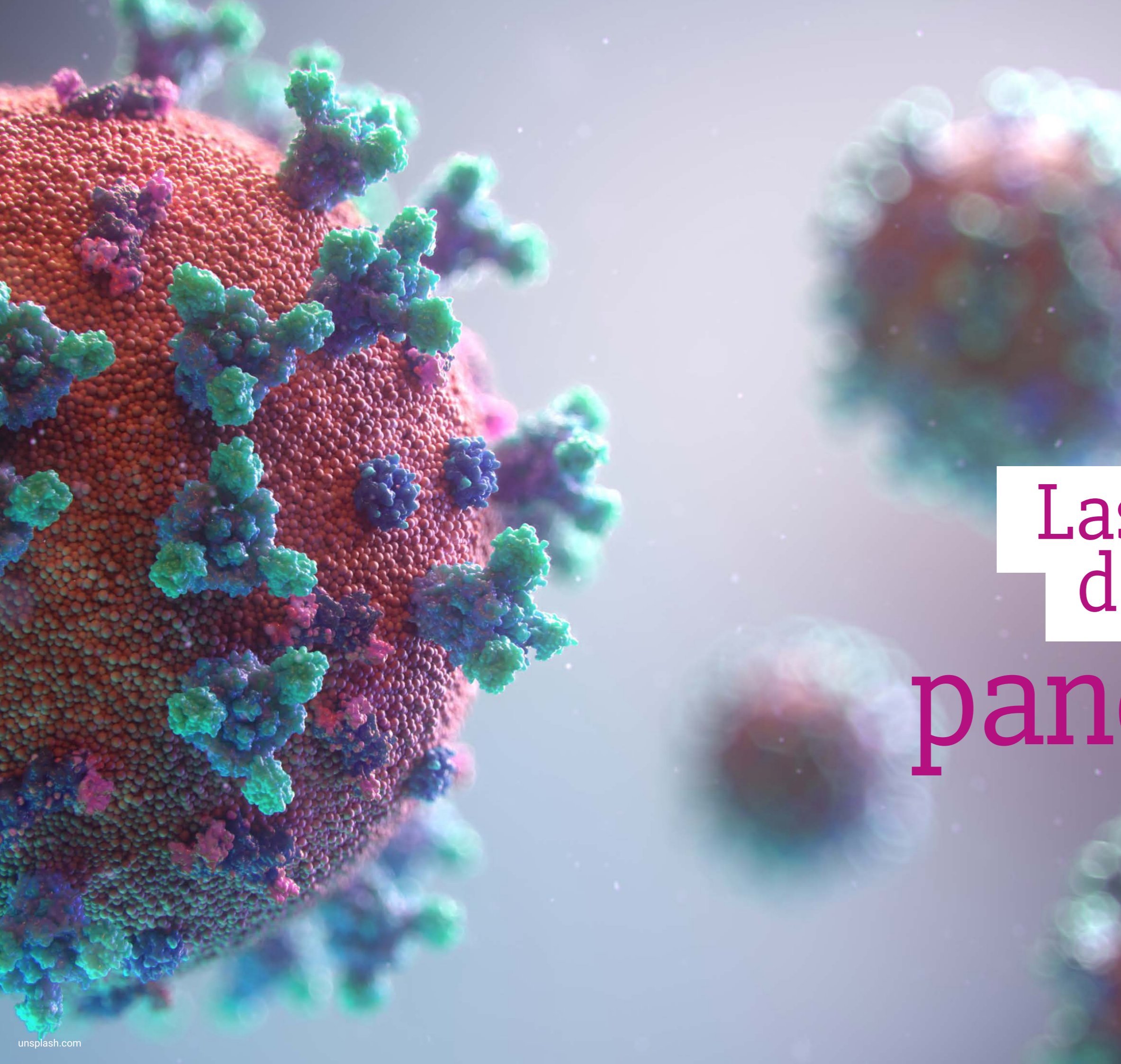
J. W. Goethe

Enrique Viguera Mínguez y Ana Grande Pérez  
Área de Genética  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Málaga

.....  
**MATERIAL COMPLEMENTARIO**

- Adelantando camino: reportaje de la cadena de televisión CanalSurTV a los talleres GuíaMe.  
<https://www.youtube.com/watch?v=bgJqK8MwXTs&feature=youtu.be>
- Presentación Talleres GuíaMe 2019-20:  
<https://www.youtube.com/watch?v=S8UvAFzoCAg>





“Empezaremos por la palabra pandemia, que indica una situación de alerta sanitaria debida a la aparición rápida de una enfermedad grave en numerosos países. Este es el caso de la Covid-19”.

# Las palabras detrás de la pandemia

Ignacio de Blas



“Los virus no son seres vivos (no se les puede matar, el término correcto es inactivar).”

Seguramente ya sabrás lo que es una **epidemia**, que se define como un aumento brusco del número de enfermos en una población. Es lo que ha ocurrido en España, desde la aparición del virus en febrero, el número de casos de Covid-19 ha aumentado rápidamente, hasta alcanzar un máximo. A partir de ese momento el virus empezará a propagarse más despacio y cada vez aparecerán menos nuevos casos.

Sin embargo, el virus SARS-CoV-2 es muy probable que no desaparezca y la enfermedad Covid-19 se convierta en una **endemia**. Y veremos que la aparición de nuevos casos sigue de forma constante (con pequeñas variaciones), pero esta vez en menor cantidad.

Lo esperable es que ocurra lo mismo que con otros coronavirus respiratorios humanos (CoV-229E, CoV-NL63, CoV-OC43 y CoV-HKU1) y con la gripe, que tienen una **presentación mixta**. Durante todo el año se producen unos pocos nuevos casos cada semana (es lo que llamamos **canal endémico**), hasta que llega el invierno, donde vemos un aumento rápido de casos (es el **brote epidémico estacional**).

Aprovecho para comentar un tipo especial de presentación de enfermedades que se denomina **anademia**. Aparentemente se trata de una epidemia a pequeña

escala que solo afecta a unos pocos individuos, pero que se caracteriza porque el patógeno no se transmite desde los enfermos a los sanos. Es lo que ocurre con algunas toxiinfecciones alimentarias, como la producida por la triquina (un parásito común en la carne de los jabalís, que produce la enfermedad solo en aquellas personas que hayan comido carne mal cocinada de jabalíes infectados).

Supongo que llega el momento de hablar del virus. SARS-CoV-2 es un coronavirus, concretamente un Betacoronavirus, de la misma familia que CoV-OC43 y

**E**n estos últimos meses parece que todo el mundo está haciendo un curso acelerado de epidemiología, y el vocabulario popular se ha enriquecido notablemente con términos científicos. Mi intención en este artículo es explicar algunos de estos términos en el contexto de la pandemia de Covid-19.

Empezaremos por la palabra **pandemia**, que indica una situación de alerta sanitaria debida a la aparición rápida de una enfermedad grave en numerosos países. Este es el caso de la Covid-19, una enfermedad causada por un nuevo virus denominado SARS-CoV-2 que apareció en China a finales del año 2019 y se ha extendido en pocos meses por la mayoría de los países del mundo causando numerosos enfermos y muertos.



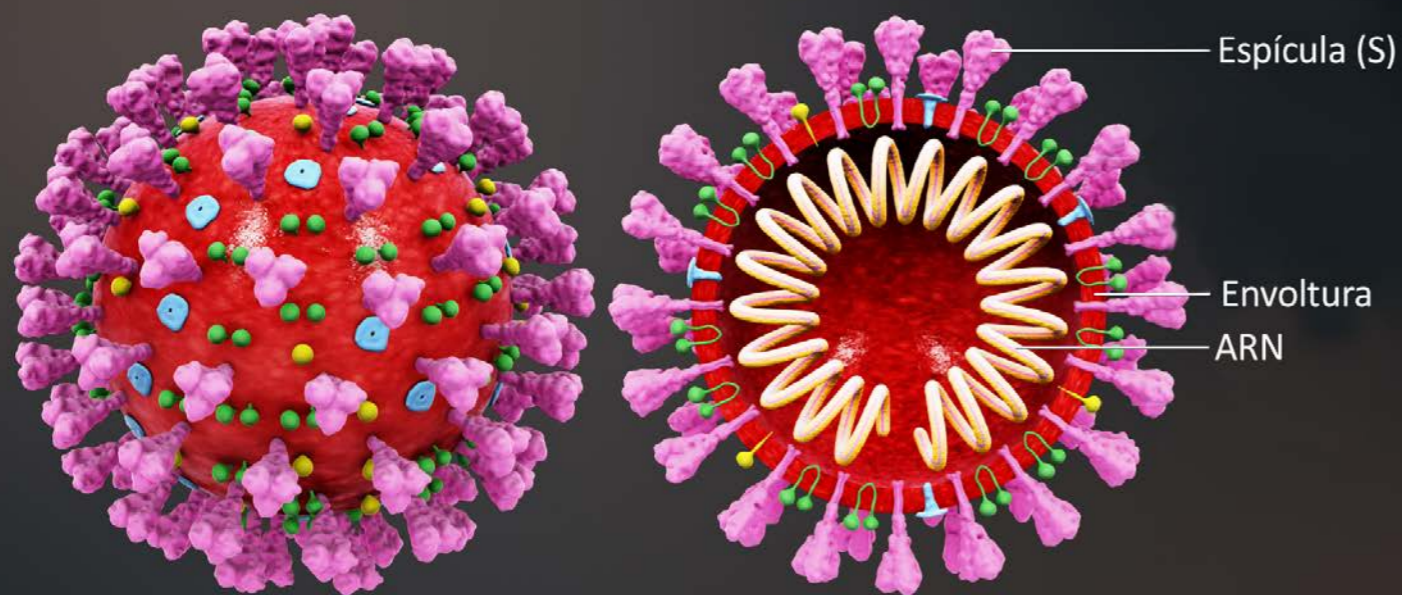
CoV-HKU1, y de otros virus más famosos como el SARS-CoV-1, que apareció en China en 2002 produciendo un síndrome respiratorio agudo severo, y el MERS-CoV, que se detectó en 2012 en Arabia Saudí produciendo un cuadro respiratorio muy grave y mortal.

Con estas pistas ya imaginarán el origen del nombre del virus SARS-CoV-2: **Severe Acute Respiratory Syndrome** por **CoronaVirus** tipo 2.

Quizás se pregunte de dónde viene el nombre de **coronavirus**. Para eso tengo que explicar algunas estructuras de este virus. En primer lugar, hay que decir que los virus no son seres vivos (no se les puede matar, el término correcto es inactivar). Pueden tener dos tipos de material genético ARN o ADN. En el caso de SARS-CoV-2 su genoma está formado por una sola cadena de ARN, que es muy frágil y es fácil de destruir usando calor. Además, los mecanismos que emplea para su replicación no son perfectos y se comenten algunos fallos, que denominamos **mutaciones**.

“Cuando el virus invade las células de un ser vivo, aprovecha los mecanismos celulares del hospedador para fabricar el resto de las piezas que necesita.”

Estructuras importantes del virus SARS-CoV-2 (adaptada de una imagen con licencia Creative Commons; Wikipedia).

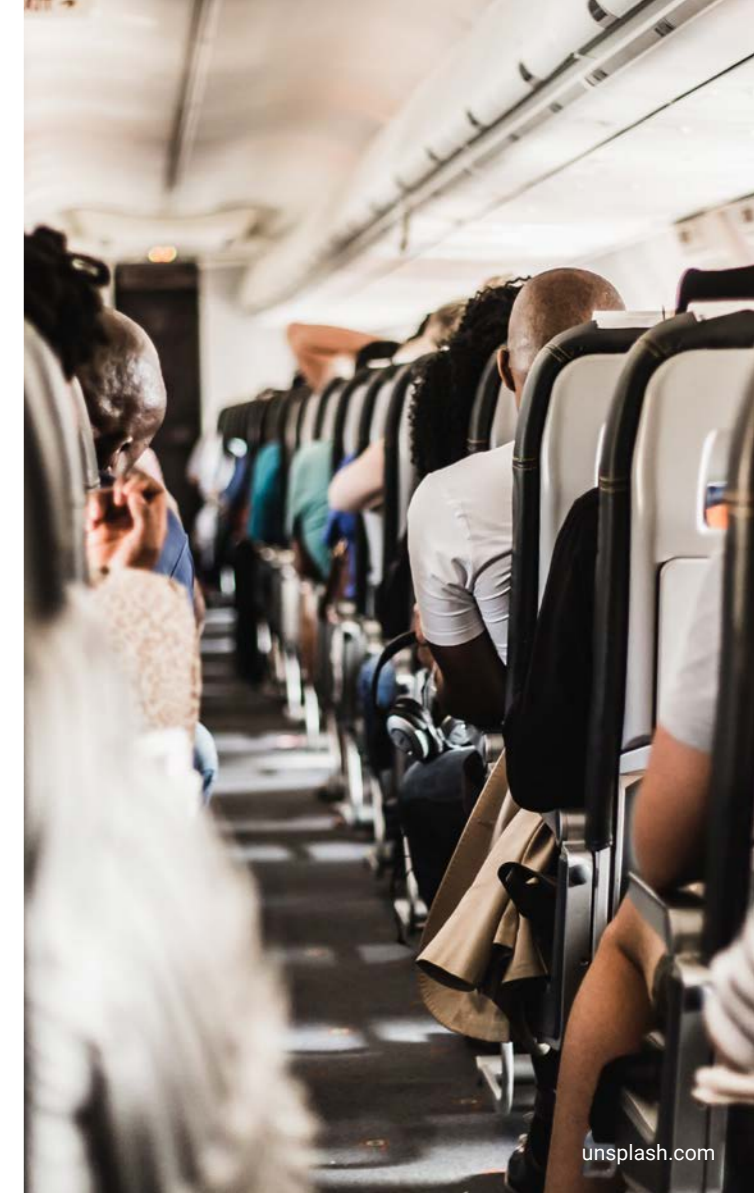


Cuando el virus invade las células de un ser vivo, aprovecha los mecanismos celulares del **hospedador** (así denominamos al ser vivo infectado) para fabricar el resto de las piezas que necesita. Concretamente algunas moléculas que van a formar parte de la envoltura que rodea al núcleo y lo protege de las agresiones externas. En el caso de los coronavirus esta envoltura se disuelve fácilmente con agentes detergentes, por eso hay que lavarse las manos con jabón. Pero hay otras moléculas como la proteína S que forma unas espículas o espinas (*spikes*) que le dan un aspecto de corona muy típico de esos virus (por eso tienen ese nombre). Esas espículas son muy importantes porque son el mecanismo que utiliza el virus para fijarse a la superficie de las células que quiere invadir.

Como imagina, los hospedadores infectados (en este caso las personas) van a intentar controlar esta invasión de virus para evitar que les produzca daños. No todos los microorganismos que invaden a un hospedador son perjudiciales (en algunos casos son incluso beneficiosos, como las bacterias probióticas). Pero cuando el invasor (en este caso un virus) produce lesiones en el hospedador decimos que es un **patógeno**.

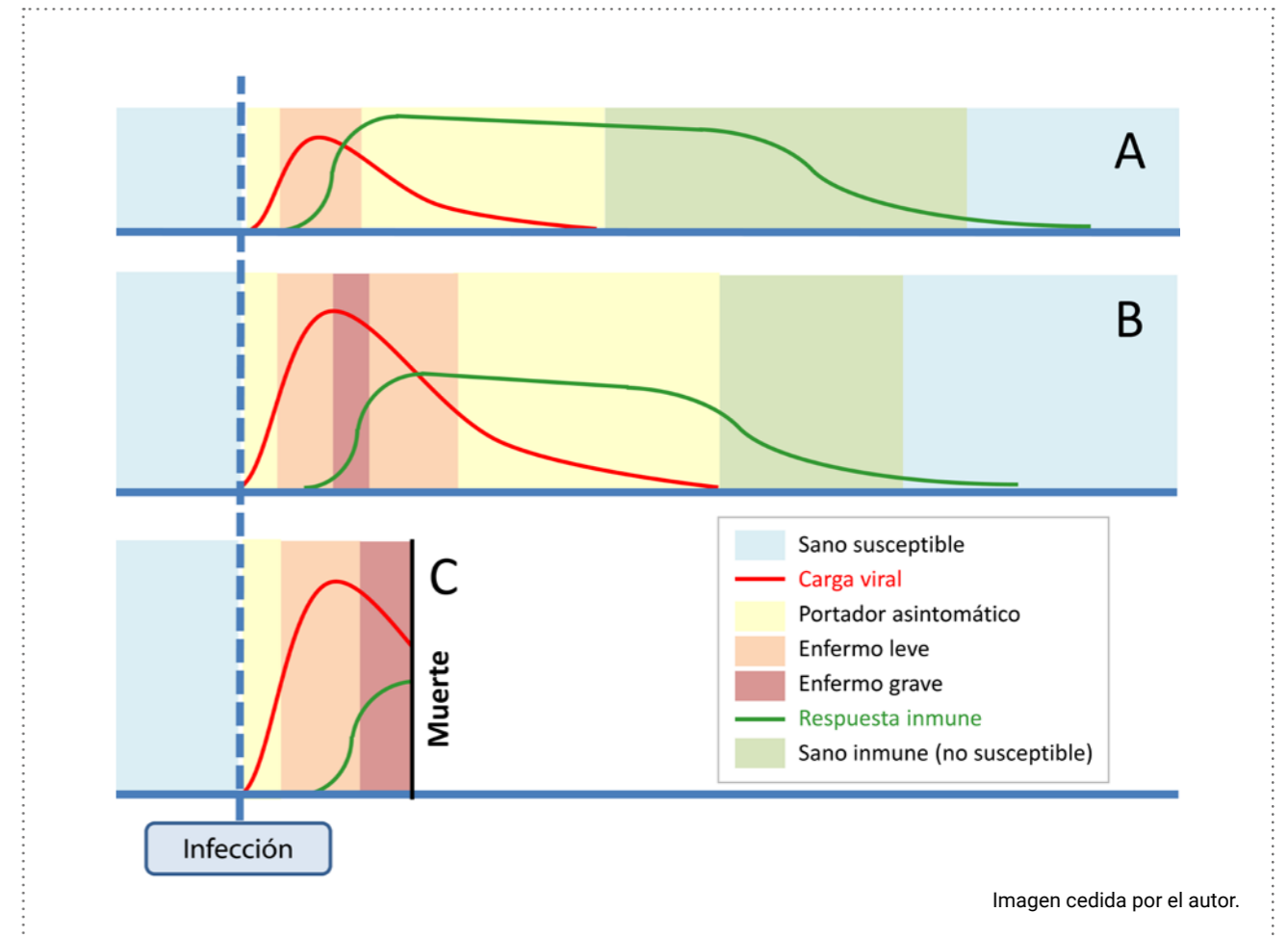
El hospedador va a intentar defenderse de esta agresión utilizando su sistema inmune y en un primer momento usará mecanismos inespecíficos; por ejemplo, determinadas células defensivas como los macrófagos van a capturar a esos virus (esto se denomina **fagocitosis**), y mientras tanto va preparando defensas más específicas, como son los **anticuerpos** que se van a fijar a determinadas estructuras del virus (llamadas **antígenos**) para inutilizarlas o para facilitar su localización por parte de las células defensivas. Esto es lo que ocurre con SARS-CoV-2 donde los anticuerpos se van a fijar en la proteína S para impedir que se puedan fijar a las superficies celulares.

Voy a describirles en orden cronológico una serie de conceptos básicos. Lo primero que tenemos que conocer es la **infecciosidad**, que es la capacidad de un organismo para entrar, multiplicarse y transmitirse en los tejidos de un hospedador. Esto va a depender de que llegue en una cantidad suficiente para producir una infección efectiva, es lo que se llama **dosis infectante o infectiva**. Si esta dosis es muy baja la invasión fracasará, y por eso son importantes las medidas de distanciamiento social y la desinfección de superficies: para que la concentración del virus sea la menor posible.



Pero no todos los hospedadores se van a infectar, solo los que sean **receptivos** (SARS-CoV-2 tiene preferencia por los humanos, pero también se han descrito infecciones eventuales en gatos y perros).

A partir de este momento hay dos historias que transcurren en paralelo. Por una parte, el virus empieza a diseminarse por el organismo y a multiplicarse en cantidad suficiente para producir nuevas copias que sean expulsadas al exterior para invadir a nuevos hospedadores. A esta habilidad para propagarse en una población la denominamos **contagiosidad**, y en este caso la transmisión se produce por vía respiratoria al inhalar partículas con virus que flotan en el aire, o al llevarnos a la boca y a la nariz las manos contaminadas con el virus después de tocar superficies infectadas. Cuanto más contagioso sea el virus más rápidamente se va a propagar en la población como ha ocurrido en este caso, y se producirá una epidemia.



El problema es que para poder propagarse tiene que invadir y destruir células del hospedador y si es demasiado agresivo va a producir unas **lesiones**, que se manifestarán en forma de **síntomas**. La destrucción del epitelio respiratorio va a producir una insuficiencia respiratoria y la persona toserá y tendrá dificultades para respirar. El virus va a aprovechar estas toses para salir al exterior e infectar a otras personas sanas. La capacidad para producir la enfermedad es lo que se denomina **patogenicidad**. Un término que se suele utilizar incorrectamente es el de **virulencia**, que es el potencial del patógeno para producir un cuadro clínico grave e incluso puede llegar a producir la muerte del hospedador. Es decir, un patógeno es virulento cuando produce muchas muertes, y no cuando se propaga rápidamente (recuerde que eso era la contagiosidad).

Ya hemos dicho antes que el hospedador va a pasar a la acción activando su sistema inmune. Si la respuesta es eficaz es posible que no se llegue a desarrollar la en-

fermedad, que es lo que ocurre en los perros, que son receptivos, pero no susceptibles. La **susceptibilidad** es la predisposición de un hospedador a desarrollar la enfermedad tras exponerse al patógeno. El éxito de la respuesta inmunitaria va a depender de la cantidad de virus a los que se expone el hospedador (la dosis infectante antes comentada) y la **inmunogenicidad** (que es la aptitud del patógeno para inducir una respuesta defensiva). Afortunadamente los antígenos de SARS-CoV-2, las espículas S, son muy inmunógenos y las personas pueden producir anticuerpos que neutralizan al virus, aunque tardan en aparecer varios días (entre 5 y 10 días).

La resolución de este conflicto tiene dos posibilidades: pierde el hospedador (la enfermedad se agrava y la persona muere) o gana el hospedador (el cuadro clínico va mejorando poco a poco y se recupera).

La figura ilustra varios escenarios posibles descritos de una forma muy esquemática (la realidad es un poco

▲  
**Distintas evoluciones de la enfermedad.**

“Si la respuesta es eficaz es posible que no se llegue a desarrollar la enfermedad, que es lo que ocurre en los perros, que son receptivos, pero no susceptibles.”

más complicada). El escenario A es el más deseable. Un hospedador susceptible se infecta, y tras una pequeña fase inicial en la que no presenta síntomas (fase de **portador asintomático**), desarrolla la enfermedad de forma muy leve (en muchos casos ni siquiera presenta síntomas), y la respuesta inmune es lo suficientemente rápida e intensa como para controlar al virus, y por tanto los daños que produce. La carga viral va disminuyendo en esos individuos sanos convalecientes, hasta que desaparece completamente y el individuo vuelve a estar libre de infección, pero en este caso está **inmunizado**. Con el tiempo las defensas pueden bajar y puede volver a ser susceptible.

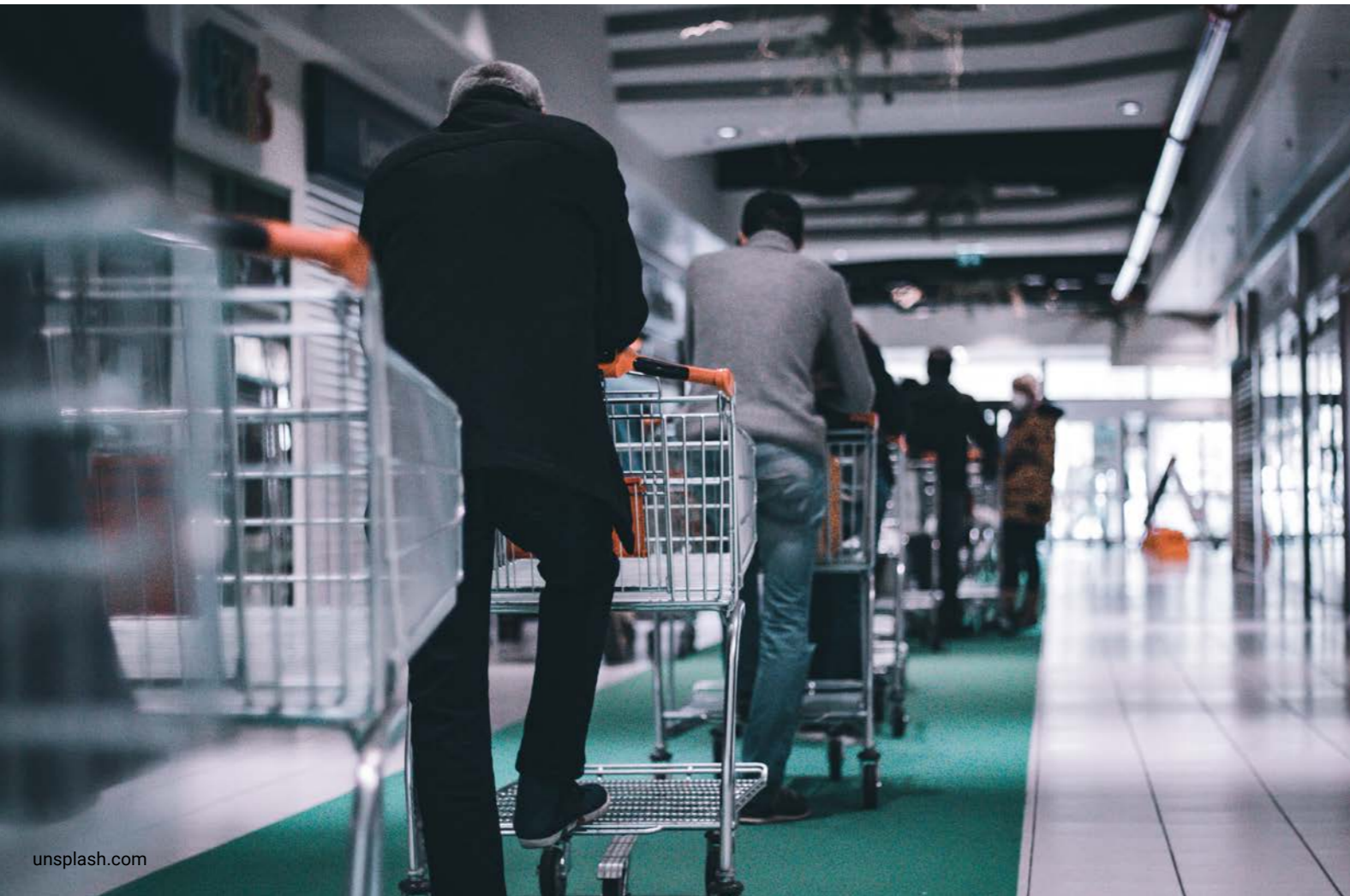
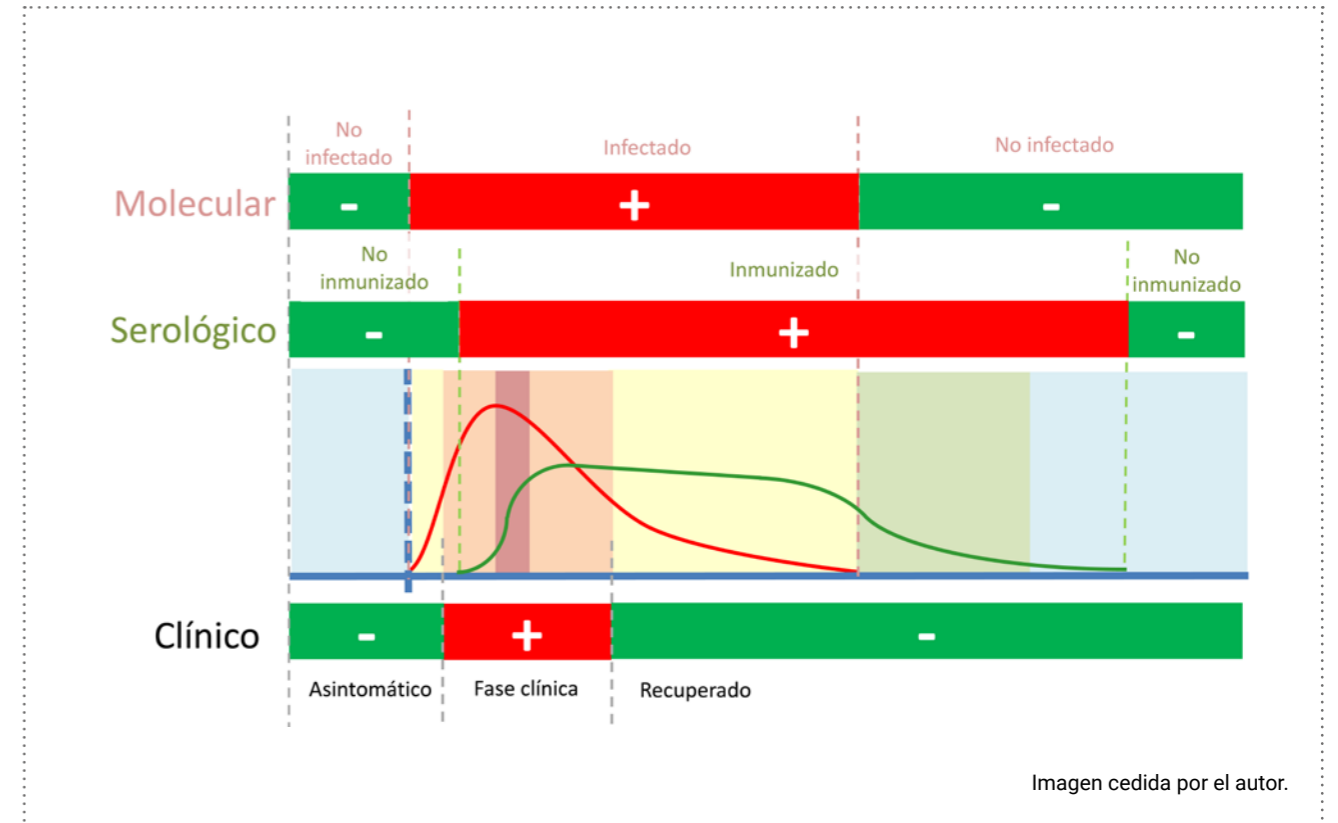
El inicio es similar en el escenario B, pero la respuesta inmune no es suficientemente rápida e intensa para controlar precozmente al virus y es posible que la persona sufra síntomas más graves, de manera que la fase clínica es más prolongada. Una vez que desaparecen los síntomas, la evolución continúa como en el caso anterior.

El escenario C es el menos deseable. La respuesta inmune es insuficiente (es tardía y/o débil, como en las personas ancianas) para controlar la infección (también, puede ser debido a que la exposición al virus ha sido más intensa o porque es una variante más virulenta). El resultado es que el cuadro clínico se agrava y el enfermo muere.

En este momento es necesario que explique algo sobre **diagnóstico**, ya que se pueden estar diagnosticando estados diferentes. Podemos diagnosticar la **enfermedad**, y para eso se verá si los síntomas y lesiones observadas coinciden con el cuadro clínico de la enfermedad y utilizaremos pruebas complementarias como análisis de sangre, radiografías, etc.

Otra opción es que diagnostiquemos la **infección**, ya que todos los enfermos están infectados, pero no todos

“El objetivo más frecuente de los métodos indirectos es la identificación de anticuerpos frente al virus en la sangre de una persona.”



Resultados diagnósticos ideales según la evolución de la enfermedad.

los infectados están enfermos (recuerde los portadores asintomáticos). La infección, es decir la presencia del virus, se puede detectar por varios métodos directos. Uno de los más repetidos en los últimos días es la prueba de la PCR, que son las siglas de reacción en cadena de la polimerasa. La PCR es una **técnica molecular** que permite detectar la presencia de un fragmento del genoma del virus que sea típico de ese virus. Otra opción es intentar encontrar la presencia de determinados antígenos (las espículas S) utilizando una **técnica inmunológica** de detección de antígenos. En ambos casos estamos demostrando que el virus está presente en la muestra tomada al hospedador.

Hay una última opción, y es tratar de demostrar la existencia de una respuesta inmune del hospedador frente al virus. El objetivo más frecuente de los **métodos indirectos** es la identificación de anticuerpos frente al virus en la sangre de una persona usando una **técnica serológica**.

Pero es muy importante saber en qué momento de la evolución de la enfermedad se encuentra el hospedador pues los resultados pueden ser muy diferentes. Veamos

en la figura los resultados diagnósticos correspondientes a los diagnósticos clínico, molecular (por ejemplo, RT-PCR) y serológico (por ejemplo, ELISA).

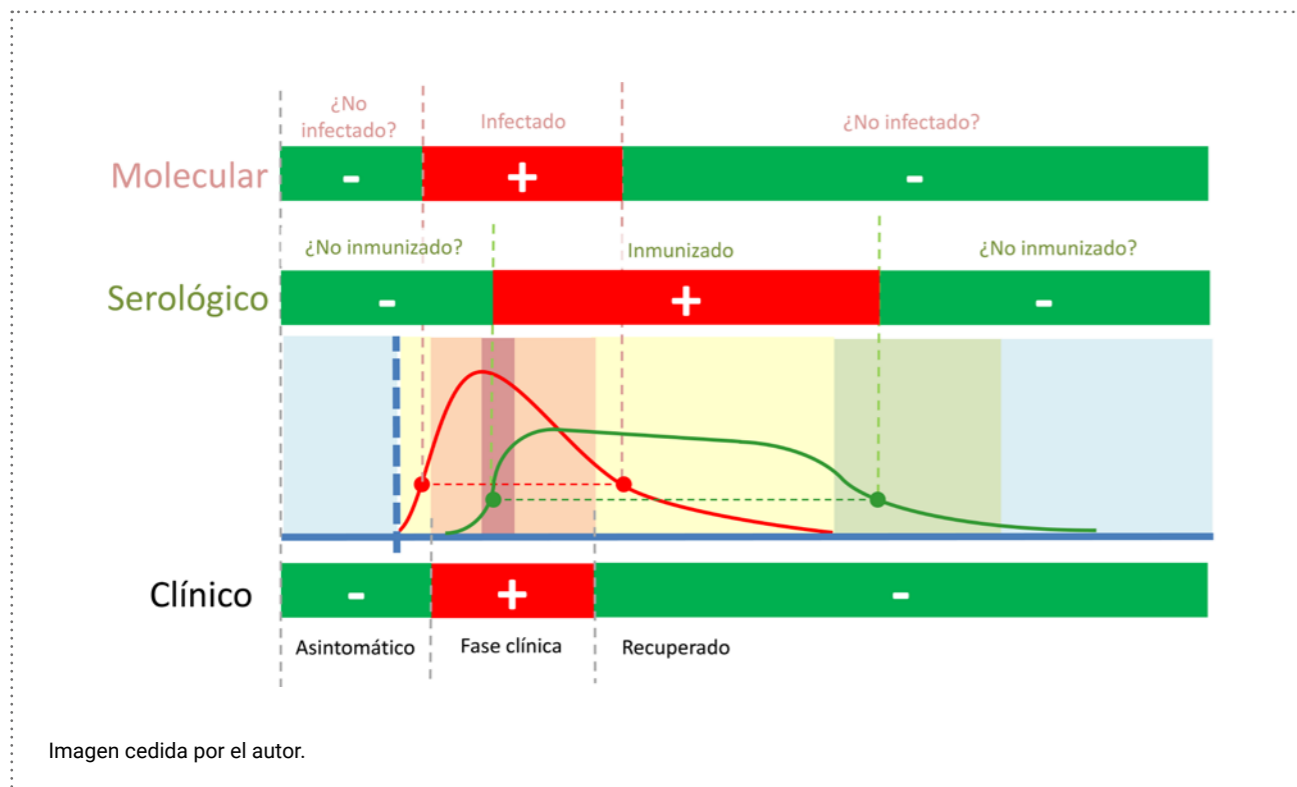
Hay un periodo muy importante denominado **periodo de incubación** que es el tiempo que transcurre desde que el hospedador se infecta hasta que aparecen los primeros síntomas. En ese momento el individuo está infectado, pero no lo sabemos. Y el problema es que en ese momento puede ser infectante.

El otro periodo importante es el **periodo de latencia** que depende de cada técnica diagnóstica. En el diagnóstico molecular (un diagnóstico directo que busca el genoma del virus) corresponde con el tiempo que transcurre desde que el hospedador se infecta hasta que tenemos un diagnóstico positivo. Mientras que en el diagnóstico serológico (un diagnóstico indirecto que busca anticuerpos frente al virus) será el tiempo que transcurra desde que se infecta hasta que aparecen los primeros anticuerpos.

Sin embargo, las pruebas diagnósticas no son perfectas y solo dan resultados positivos cuando la concentración de virus o de anticuerpos alcanza un determinado nivel (es el **umbral de detección**), y en la figura se muestra cómo los periodos de latencia aumentan, y transcurre un tiempo desde que se infecta el individuo hasta que se puede detectar la infección; pero también ocurre posteriormente, desde que se deja de detectar el virus hasta que desaparece completamente (y de forma similar con los anticuerpos) donde el resultado diagnóstico es incorrecto. La prueba diagnóstica da un resultado negativo, pero es un resultado incorrecto. A estos resultados incorrectos se denominan **falsos negativos**. Y están muy relacionados con una caracterís-

“transcurre un tiempo desde que se infecta el individuo hasta que se puede detectar la infección.”

**Resultados diagnósticos reales según la evolución de la enfermedad.**



unsplash.com

tica de las pruebas diagnósticas denominada **sensibilidad**, que es la capacidad de una prueba para diagnosticar correctamente a un individuo infectado o enfermo.

Si se pregunta si existen los **falsos positivos**, la respuesta es afirmativa. En el caso de la PCR es poco frecuente, pero es posible que el fragmento de genoma que estamos buscando se encuentre también en otro virus diferente. En las pruebas serológicas podemos encontrar anticuerpos similares formados frente a virus de la misma familia (eso se denomina **inmunidad cruzada**, y podría llegar a ocurrir si el individuo se ha infectado con CoV-OC43 y CoV-SARS-1, por ejemplo). Sin embargo, también es un problema habitual cuando el individuo ha sido vacunado previamente y tiene anticuerpos frente al patógeno, desafortunadamente esto no ocurre de momento con SARS-CoV-2 ya que no existe vacuna.

Los falsos positivos determinan otra característica de las pruebas diagnósticas: la **especificidad**, que es la capacidad de dicha prueba para detectar correctamente individuos sanos o sin infectar.

Espero que este cursillo acelerado de “palabras detrás de la pandemia” le haya sido de utilidad, y en el próximo artículo explicaré los números que hay detrás de la pandemia.

Ignacio de Blas  
 Dpto. de Patología Animal  
 Facultad de Veterinaria  
 Universidad de Zaragoza

PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS



INSTRUMENTA

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



Triquinoscopio

Es un microscopio con un sistema de iluminación inventado. A mediados del siglo pasado, se ideó. Más tarde, el físico francés Louis Bragg lo perfeccionó para estudiar la estructura cristalina de los sólidos.

Este instrumento permitió la construcción de los primeros modelos atómicos de los cristales. Para ello, se usaban rayos X de longitud de onda comparable con los espaciados atómicos. Los triquinoscopios, con un sistema de iluminación fabricado y el sistema de cámara de Bragg.



INSTRUMENTA

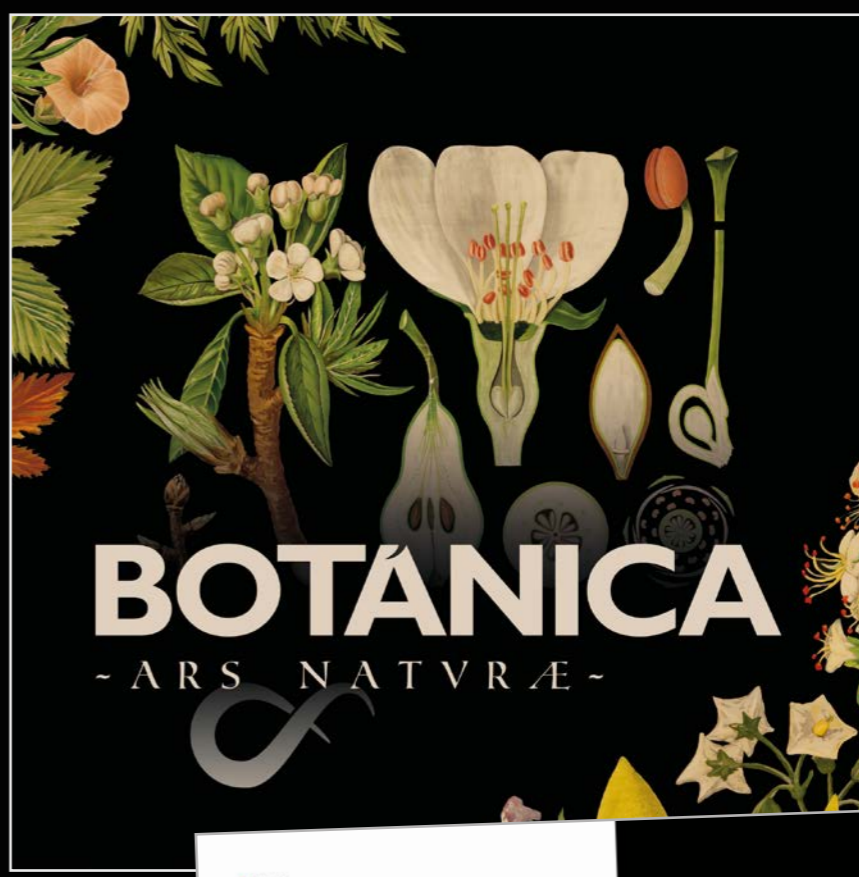


MIROBALANO. Prunus cerasifera

A diferencia de los otros miembros del género, el mirobalano, o de hecho, el mirabilis, no es un árbol frutal. Su fruto es pequeño, de color rojo o negro, y es comestible. En el mundo, se le conoce como el mirabilis. En el mundo, se le conoce como el mirabilis. En el mundo, se le conoce como el mirabilis.



LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS



BOTÁNICA - ARS NATURÆ



Tulipano

Tulipa pratensis L. (Fam. Liliaceae)

Se le atribuye el protagonismo de haber sido la primera flor que se cultivó en un jardín. Su cultivo se remonta al siglo XVI, cuando se introdujo en Europa desde Turquía. En el mundo, se le conoce como el tulipano.

Fecha de publicación: 2015

Autores: F. Martínez & P. Martínez



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

**MARATÓN DE ASTROPARTÍCULAS 2020**

**Las astropartículas y la radiación cósmica fueron el eje de las actividades que se organizaron en el Planetario de Aragón, Huesca, en el marco del Marathon de Astropartículas 2020**

El Centro de Astropartículas y Física de Altas Energías de la Universidad de Zaragoza (UNIZAR) organizó un Marathon de Astropartículas en el Planetario de Aragón, Huesca, el pasado 20 de febrero de 2020.

En la organización del evento colaboraron la Agrupación Astronómica de Huesca, el Planetario de Aragón y el Laboratorio Subterráneo de Canfranc. Esta actividad fue financiada por FECYT, como parte del proyecto "II Maratón de Astropartículas: Detectores de Rayos Cósmicos en colegios de ámbito nacional", FCT-18-13747, que coordina la Universidad de Alcalá de Henares.

Hubo actividades planificadas a lo largo de todo el día. Por la mañana, de 10.00h a 13.30h, 60 alumnos de 2º de Bachillerato de la especialidad de Ciencias del IES

Ramón y Cajal y del IES Pirámide participaron en el taller de rayos cósmicos y astropartículas. Este taller consistió en una charla introductoria a cargo de María Luisa Sarsa y María Martínez, investigadoras del CAPA, sobre la radiación cósmica y tres actividades prácticas: una actividad de medida de la dirección de la radiación cósmica en superficie, en concreto de su componente muónica, una segunda actividad enfocada a la medida del espectro de energías depositadas por los muones en un detector y el flujo de partículas que se observa en superficie, y la tercera actividad consistente en la visualización del documental 'Phantoms of the UNIVERSE', sobre la materia oscura del Universo, así como material audiovisual sobre el Laboratorio Subterráneo de Canfranc.

Foto con todos los participantes.



Diferentes momentos del evento.







**Photocall: viaja por el Universo y tráete una foto de recuerdo.**

El Marathon continuó por la tarde, de 16.00h a 20.00h, con la temática 'Báñate en radiación cósmica y astropartículas', con múltiples actividades en el Planetario para niños y mayores, siendo la entrada libre y gratuita. Estas actividades estuvieron centradas en aprender de forma lúdica qué es la radiación cósmica y qué información nos proporcionan las astropartículas.

Carlos Pobes, investigador de ICMA-CSIC, fue el encargado de abrir las ponencias con 'Un cazador de neutrinos en el Polo Sur', a las 17.00h, seguido por Luis Del Peral, catedrático de Física Aplicada de la Universidad de Alcalá de Henares con 'Detectando la radiación cósmica'. Las ponencias continuaron con "¿Qué se investiga en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc?", impartida por Carlos Peña-Garay, director del Laboratorio Subterráneo de Canfranc y como cierre de la sesión, María Luisa Sarsa, catedrática de Física Atómica, Mo-

lecular y Nuclear de la Universidad de Zaragoza, presentó los objetivos y resultados del experimento ANAIS en "¿Sopla el viento de materia oscura en el Pirineo?".

Entre otras actividades se proyectó el documental "Phantoms of the UNIVERSE" en la cúpula del planetario. Se pudo ver la exposición de paneles "El universo primitivo, el universo invisible y el universo violento" y en la actividad "Viaja por el universo", los asistentes pudieron hacerse una fotografía con la tecnología CROMA en su lugar del Universo preferido y llevársela de recuerdo. (más información en <http://gifna.unizar.es/marathon2020>).

**María Martínez Pérez es investigadora ARAID en la Universidad de Zaragoza y María Luisa Sarsa Sarsa profesora del área de Física Atómica, Molecular y Nuclear, ambas investigadoras del CAPA y organizadoras de la actividad.**



**Telescopio de muones.**



**Charlas.**



**SEMANA INTERNACIONAL DE LA MUJER Y LA CIENCIA 2020 EN LA FACULTAD DE CIENCIAS**

El pasado 11 de febrero se volvió a celebrar el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia. Desde la Facultad de Ciencias se realizaron, entre los días 11 y 13 de febrero, distintas actividades orientadas a dar apoyo a la participación de las mujeres en la ciencia:

*El taller "Hola, somos científicas II"* (martes 11 de febrero) recibió en la Facultad de Ciencias (hall de los edificios A y D) a los estudiantes de 3º de primaria del colegio José María Mir para desarrollar las distintas actividades programadas. Este proyecto se ofrece a centros de primaria de la comunidad aragonesa y pretende acercar la vida y trabajo de científicas de diversas áreas al alumnado de primaria. En esta edición, 48 niños y niñas de 8 y 9 años tuvieron la oportunidad de conocer la composición del universo, ser paleontólogos por unas horas, realizar la radiografía de su mano, descubrir la composición de una sustancia secreta o conocer más sobre los minerales que nos rodean, y todo ello de la mano de científicas voluntarias de la Universidad de Zaragoza y de diversos Institutos de Investigación, así como estudiantes de grado, máster y doctorado de la Facultad. Este taller está financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, con la colaboración de FECYT.

*Proyección del documental LA MUJER QUE SOÑABA CON NÚMEROS* (miércoles 12 de febrero, 12:00 h.) en la Sala de Grados de la Facultad de Ciencias. Este documental, dirigido por Mirella R. Abrisqueta, se ha creado con motivo del 300 aniversario del nacimiento de la matemática zaragozana María Andresa Casamayor, autora del primer libro de ciencias escrito por una mujer que se conserva en nuestro país. Ha sido realizado por la productora SINTREGUA COMUNICACION, con la colaboración, entre otras entidades, del Instituto Universitario de Matemáticas y Aplicaciones (IUMA) y de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. El Decano de la Facultad, Luis A. Morellón, acompañado por el director y la subdirectora del IUMA, Luis Rández y Raquel Villacampa, dieron la bienvenida al grupo de 80 alumnos de tercero de la E.S.O. del IES Virgen del Pilar de Zaragoza que asistieron a la proyección. El acto contó además con la presencia de la directora del documental, Mirella Abrisqueta, y con una de las actrices, Minerva Arbués.

El *Café-tertulia con científicas químicas* (jueves 13 de febrero, 12:00 h.), dirigido a alumnas de los grados de la Facultad y realizado en la Cafetería de la Facul-

tad de Ciencias. Esta actividad trata de mostrar, de modo cercano y distendido, los problemas con los que se enfrentan las mujeres que desean dedicar su vida profesional a la investigación. El café se orientó a estudiantes universitarios de todos los niveles, desde estudiantes de primer curso hasta doctorandos, y contó con científicas y profesoras titulares de diferentes edades y ramas de la Química, Sara Gracia, Josefina Pérez-Arantegui, Elisabet Pires y Ana Mª Mainar y con Fernando Lahoz, director del Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea (ISQCH; CSIC-UNIZAR). Durante la tertulia las ponentes presentaron, desde su experiencia, los problemas con los que se han encontrado a lo largo de su carrera y se debatió sobre posibles soluciones.

Ana Rosa Soria  
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza



►  
**Momentos previos a la presentación del documental "La mujer que soñaba con números" (arriba) y foto de grupo de participantes y organizadoras del taller "Hola, somos científicas" (abajo).**

**V EDICIÓN DEL TALLER DE IMPRESIÓN 3D**

Desde la Facultad de Ciencias, y dado el éxito de ediciones anteriores, se ha organizado este curso la V edición del *Taller de impresión 3D*, dirigido a estudiantes de 4º de ESO y 1º de Bachillerato de Centros de Educación Secundaria y Bachillerato de Aragón. De acuerdo con la experiencia acumulada de ediciones anteriores, se propuso para el curso 2019-20 una actividad que plantea el desarrollo de un proyecto de impresión 3D más orientado al diseño e impresión de objetos que a la construcción de impresoras. El objetivo principal es acercar a los alumnos al mundo de la impresión 3D y demostrar su aplicación a múltiples facetas de la educación.

El taller incluye una introducción general al *hardware* y *software "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, y tiene la siguiente estructura:

1.-*Sesión de presentación del taller (18/10/2019)*: a esta reunión pudieron asistir tanto los profesores como los alumnos interesados en participar en el taller.

2.-*Sesiones presenciales en la Facultad de Ciencias*: siete sesiones (de 2 horas) dirigidas por el profesor José Barquillas sobre:

- Impresoras 3D: Componentes y funcionamiento (8/11/2019)
- Impresoras 3D: Imprimiendo en 3D (22/11/2019)
- Diseño 3D: Alternativas de software
  - TinkerCAD 1 (13/12/2019)
  - TinkerCAD 2 (17/01/2020)
  - OpenSCAD 1 (7/02/2020)
  - OpenSCAD 2 (28/02/2020)
  - Fusion 360 (13/03/2020)



Facultad de Ciencias.



Estudiantes y profesores de centros de secundaria que asistieron a la sesión de presentación de la V Edición del Taller de impresión 3D (izquierda) y el profesor José Barquillas en un momento de la sesión (derecha).

3.-*Desarrollo de un proyecto* (meses de enero a mayo): la temática es elegida por los equipos de cada centro, y debe potenciar la interdisciplinaridad y poner en valor el campo de la impresión 3D como apoyo a otras materias distintas a la tecnología. La idea es integrar diversos campos tecnológicos como materiales, mecánica, electricidad, incluso electrónica a un nivel elemental, con el fin de estudiar y valorar su importancia en el objetivo final. Durante el desarrollo del proyecto contarán con ayuda y asesoramiento del profesor del curso, de forma presencial en la Facultad o mediante los canales de comunicación que se estimen oportunos, y se realizarán dos sesiones presenciales de control de los proyectos en realización.

4.-*Sesión de clausura* (22/05/2020). Los equipos participantes presentarán los proyectos desarrollados ante el resto de grupos de los distintos centros.

En esta edición participan 50 alumnos pertenecientes a ocho Centros de Educación Secundaria, que están mostrando una muy alta participación y un elevado interés.

“El objetivo principal es acercar a los alumnos al mundo de la impresión 3D y demostrar su aplicación a múltiples facetas de la educación.”

Ana Rosa Soria  
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

**PHYSICS AROUND THE CLOCK 2020**

Los días 15 y 16 de febrero, en el Edificio de Geológicas de la Facultad, se celebró la III edición del Physics around the clock. En este Physicatón universitario 80 participantes tuvieron que resolver, en un plazo de 36 horas, uno de los tres problemas de física propuestos. El éxito de la convocatoria del año pasado propició un aumento de las plazas para esta edición (de 60 a 80), que además contó con la presencia de estudiantes de la Universidad Complutense de Madrid.

‘Physics around the clock’ nació hace dos años como una iniciativa que ofrece a los alumnos la oportunidad de trabajar en equipo, sumergiéndose en problemas de extrema complejidad, y de discurrir conjuntamente una solución original que aúne creatividad y rigor científico. Los problemas que se plantean son tan inabarcables que no poseen una solución única, por lo que el jurado tiene a su vez que debatir cuál es la propuesta más acertada. ‘Physics around the clock’ está organizado por estudiantes de la Facultad de Ciencias y cuenta con el apoyo de los vicerrectorados de Cultura y Proyección Social y de Estudiantes, la Oficina Verde de la Universidad de Zaragoza, la Facultad de Ciencias, el Instituto Universitario de Matemática Aplicada, el Colegio Oficial de Físicos y la Real Sociedad Española de Física. Además, colaboran las empresas Fibercom, Hiberus, Ibercivis, Dismafrío, Ingesol y Telepizza y el Planetario de Aragón.

El Physicatón fue inaugurado el sábado por el rector, José Antonio Mayoral, y, antes de dar a conocer los tres problemas planteados, contó con una conferencia de Alejandro Riveiro, divulgador científico de gran notoriedad.

La mecánica de este ‘hackathon’ aplicado a la Física (aunque también concurren alumnos de otras cuatro carreras universitarias) es sencilla. Los equipos, formados por cuatro estudiantes, deben elegir uno de los tres problemas que se les presentó el sábado 15 de febrero a las 10:30 horas y elaborar una solución antes de las 15:00 h del domingo. El primer problema planteado era buscar una solución viable a la gran cantidad de basura espacial en la órbita baja de la Tierra; el segundo solicitaba la búsqueda de un método eficaz de transporte de energía sin cables; y el tercer problema consistía en clasificar diferentes eventos de desintegración usando “*machine learning*” para diferenciar la señal del bosón de Higgs del ruido en el experimento ATLAS.

Cada uno de los equipos tuvo que presentar sus resultados en formato ‘paper’, y defenderlo de forma verbal el domingo por la tarde. Tres jurados (uno por cada problema) formados cada uno por tres miembros, profesores de la Universidad de Zaragoza o representantes de las empresas anteriormente mencionadas, decidieron cuál fue la solución más adecuada para cada uno de los problemas y proclamaron los equipos ganadores de cada uno de los problemas planteados.

Ana Rosa Soria  
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

“Los problemas que se plantean son tan inabarcables que no poseen una solución única, por lo que el jurado tiene a su vez que debatir cuál es la propuesta más acertada.”



Facultad de Ciencias.



Los organizadores de Physics around the clock: Diego Alcón, Natalia Chueca, Silvia Gracia, Andrea Irazo y Alejandro Sáinz (arriba) y foto de grupo tras la clausura de Physics around the clock (abajo).



**CICLO DE COLOQUIOS ConCIENCIA de MUJER**

A iniciativa de Cámara de Comercio de Zaragoza y ARAME, se está desarrollando un ciclo de coloquios centrado en el ámbito de la Mujer en la Ciencia. Este ciclo ha sido organizado por la profesora Ana Isabel Elduque, Catedrática de la Universidad de Zaragoza, que también es la encargada de conversar con las ponentes invitadas en este ciclo.

El ciclo pretende hacer visible a la mujer en la ciencia en un gran número de facetas por lo que en él participan cuatro mujeres con perfiles diferentes.

Clara Grima, matemática, profesora y divulgadora es muestra de lo polifacética que se puede ser. Su carácter jovial hace de ella una persona que despierta el interés de quienes la escuchan, ya que sabe poner en valor su amplio conocimiento y volcarse en demostrar que aprender es siempre una aventura excitante y divertida. Con ella se inauguró el ciclo el pasado 12 de febrero.

Ana Betegón demuestra la capacidad de la mujer. Coronel médico, ha sido pionera en muchos cargos que solo habían sido desempeñados por oficiales varones. Su carrera dentro de las fuerzas armadas es muy amplia, tanto por la variedad de destinos, como de funciones, incluyendo varias misiones internacionales. Pero lo que más nos interesa aquí es la experiencia, vital y profesional, sobre cómo ejercer una profesión de marcado carácter científico, la medicina, en un mundo tradicionalmente masculino, las fuerzas armadas, y todo ello de forma exitosa. La conversación mantenida el pasado 11 de marzo estableció un interesante debate con el público asistente.

En este ciclo se ha querido mantener un coloquio de carácter científico con mujeres que han destacado en el mundo de la ciencia en aspectos muy variados. Rosa María Menéndez, presidenta del CSIC, la institución de investigación más representativa de nuestro país. Investigadora y gestora, es el ejemplo perfecto de lo que anteriormente hemos dicho.

Elsa Punset es un ejemplo claro de cómo el conocimiento es transversal y que no puede quedar relegado a una simple acumulación de información en nuestros cerebros. Sus estudios, y su propia actividad, nos enseñan cómo es posible desarrollar nuestra inteligencia sin dejar de lado aquello que nos hace más humanos, nuestros sentimientos y emociones. Sus libros y sus

**Ciclo de coloquios sobre mujeres y ciencia.**

**COLOQUIOS**

# ConCIENCIA de MUJER

**Febrero-mayo 2020**  
**Cámara de Comercio de Zaragoza**

INFORMACIÓN E INSCRIPCIONES: [www.camarazaragoza.com](http://www.camarazaragoza.com)

**18 DE FEBRERO**  
**CLARA GRIMA**  
Profesora de Matemática Aplicada de la Universidad de Sevilla y divulgadora científica

**11 DE MARZO**  
**ANA BETEGÓN**  
Directora del Hospital General de la Defensa en Zaragoza

**15 DE ABRIL**  
**ROSA MENÉNDEZ**  
Presidenta del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

**7 DE MAYO**  
**ELSA PUNSET**  
Escritora, filósofa y especialista en inteligencia emocional

**COORDINA Y MODERA**  
**ANA ELDUQUE**  
Catedrática de Química Inorgánica de la Universidad de Zaragoza

**arame** ASOCIACIÓN ARAGONESA DE MUJERES EMPRESARIAS

**Cámara Zaragoza**

conferencias nos enseñan a superar nuestros momentos tristes y a buscar la felicidad, pues sin ella no podemos avanzar.

A fecha de edición de esta revista, se han desarrollado, con un gran éxito de asistencia, las dos primeras conversaciones. Lamentablemente, y debido al estado de alerta provocado por el COVID-19, se ha pospuesto las charlas con Rosa Menéndez y con Elsa Punset previstas en abril y mayo, respectivamente, para una futura fecha todavía sin determinar.

Equipo editorial



Cartel (arriba) y uno de los momentos del ciclo (abajo).



Varios momentos de los coloquios con Clara Grima y con Ana Betegón.



# ENCUENTROS CON LA CIENCIA

Ciclo de charlas de divulgación científica

**¡Os esperamos en el CURSO 2020-2021!**

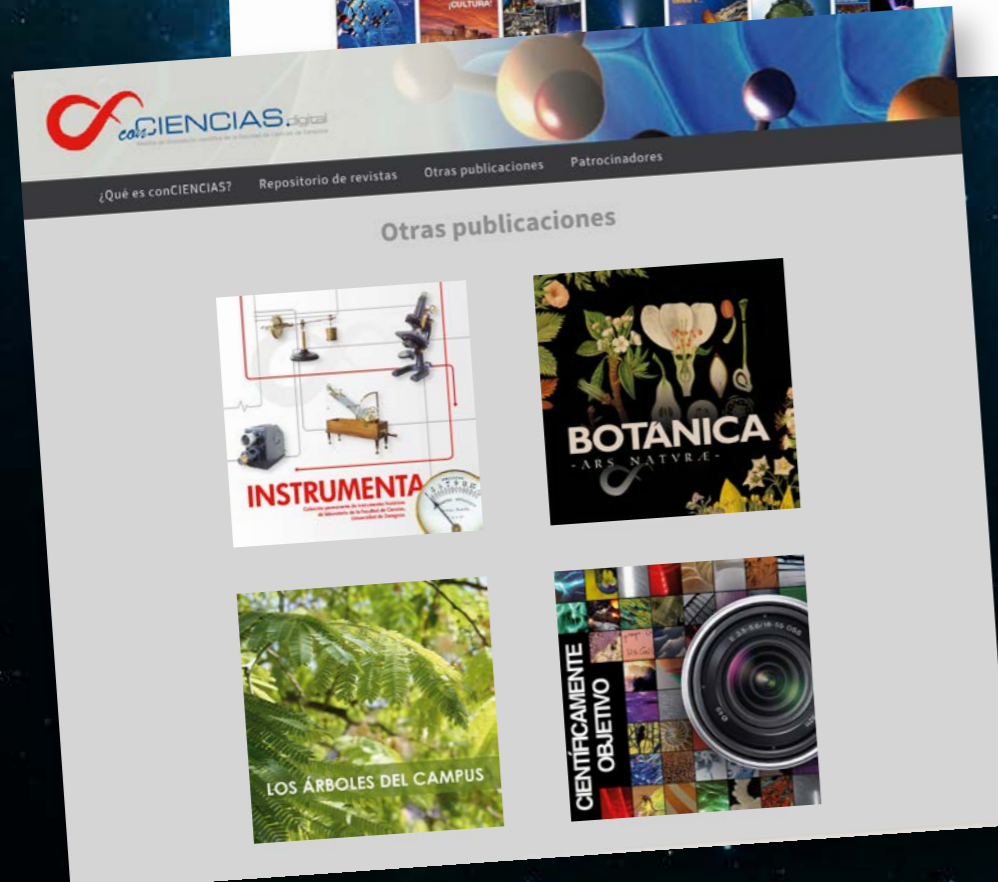
**ÁMBITO CULTURAL**  
**EL CORTE INGLÉS**  
 Paseo de la Independencia 11  
 Zaragoza

**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

ii 13 años divulgando  
la Ciencia!!



divulgacionciencias.unizar.es



**Nº 1 conCIENCIAS. Descubre la revista de tu Facultad.**

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

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

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

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

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

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

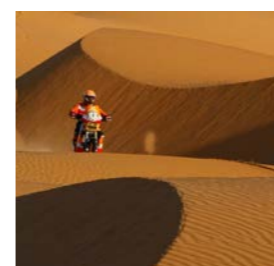
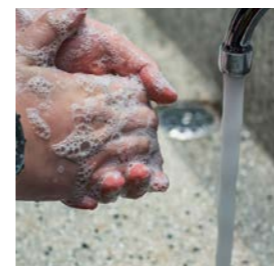
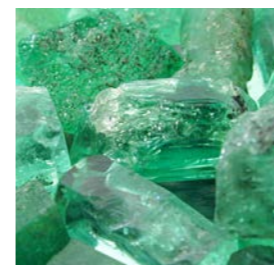
**El aceite de oliva, un reto para los científicos.**  
*de la Osada J.* (6)  
**La renovación del paisaje.** *García Novo F.* (12)  
**La magia de las astropartículas.**  
*Cuesta C., Pobes C. y Sarsa M. L.* (28)  
**Planetas y exoplanetas II.** *Elipe A.* (32)  
**El Universo desde Javalambre.** *Moles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

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

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

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

**El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la tierra.** *Alegret L., Arenillas I. y Arz J. A.* (6)  
**La Ciencia en la Zaragoza del siglo XI.** *Corral J. L.* (14)  
**Hablando de... Química.** *Elduque A. I.* (24)  
**Consecuencias del fuego en los paisajes mediterráneos.**  
*Eceverría M., Pérez F., Ibarra P. y de la Riva J. R.* (32)  
**Un personaje singular en la historia de meteorología: Benjamin Franklin.** *Uriel A. E. y Espejo F.* (44)



**El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva (II).** *Vicente J. M.* (52)  
**La radiactividad.** *Lozano M. y Ullán M.* (64)  
**Peregrinaje matemático en el camino de Santiago.**  
*Miana P. J.* (76)  
**A las puertas de 2011: Año Internacional de la Química.** *Carreras M.* (84)

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

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

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

**El cambio climático.** *Uriel A.* (6)  
**Metales en Medicina.** *Laguna A. y Gimeno M<sup>a</sup> C.* (16)  
**Ibones del Pirineo aragonés: lagos glaciares entre agrestes montañas.**  
*del Valle J., Arruebo T., Pardo A., Matesanz J., Rodríguez C., Santolaria Z., Lanaja J. y Urieta J.* (30)  
**Leer el periódico con ojos matemáticos.** *Ibañez R.* (48)  
**AMS-02: la odisea de un detector de rayos cósmicos.**  
*Aguilar M.* (58)  
**Arte y Ciencia: la invención de la litografía.**  
*Pagliano S.* (76)  
**El legado del Año Internacional de la Química.**  
*Elduque A. I.* (92)  
**Los microRNA: pequeñas moléculas, grandes reguladoras.** *Lizarbe M<sup>a</sup> A.* (98)

**IMAGINARY, una mirada matemática.**

*Artal E., Bernués J. y Lozano Imízcoz M<sup>a</sup> T. (110)*

**El túnel subterráneo de Canfranc: 25 años apasionantes.** *Villar J. A. (116)*

**Nº 9 conCIENCIAS. NUEVOS TIEMPOS, RETOS DESCONOCIDOS.**

**Tras las huellas de los dinosaurios.** *Canudo J. I. (4)*

**Larga vida a la superconductividad.**

*Camón A., Mazo J. J. y Zueco D. (16)*

**Marte en lontananza.** *Díaz-Michelena M. (26)*

**Y la Medicina se hizo Ciencia, ¿o no? .** *Gomollón F. (38)*

**Marie Curie: Ciencia y Humanidad.** *Román P. (48)*

**Iberia cartesiana.** *Boya L. J. (62)*

**Tiempos nuevos.** *Elduque A. I. (72)*

**Homenajes a la Ciencia en Zaragoza.**

*Sorando J. M. (84)*

**Nº 10 conCIENCIAS. UN ANIVERSARIO PARA MEDITAR.**

**Estética, creatividad y Ciencia.** *Franco L. (4)*

**Reflexión sobre principios de la divulgación científica.** *Mira J. (16)*

**Terremotos y tsunamis.** *González A. (24)*

**El día más largo de mi vida.** *Pobes C. (38)*

**Zaragoza matemática.** *Sorando J. M. (52)*

**La Responsabilidad Social de la información (bio) química.** *Valcárcel M. (72)*

**Un aniversario para meditar.** *Elduque A. I. (84)*

**Claves para la excelencia universitaria: pasado y futuro inmediato del Campus Íberus.**

*López Pérez M. (94)*

**Una vieja historia para el Cincuentenario del Edificio de la Facultad de Ciencias.** *Carrión A. (102)*

**El emblema histórico de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.** *Bernués J. y Rández L. (108)*

**Ramanujan: un matemático ejemplar para todos.**

*López Pellicer M. (114)*

**Nº 11 conCIENCIAS. CIENCIA: EL CAMINO SIN FIN**

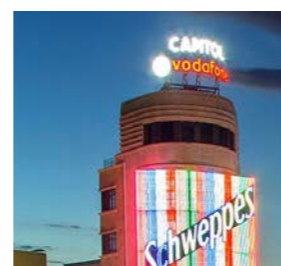
**Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista.** *Román P. (4)*

**La Prevención de Riesgos en Laboratorios de Química.** *Blein A. (20)*

**El origen de la teoría cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913.** *Boya L. J. (50)*

**Másteres: pasado, presente y futuro.** *Elduque A.I (66)*

**Estancias de verano para estudiantes.** *Bolsa M. (78)*



**El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima.**

*Bruschi V., Bonachea J., Remondo J., Forte L. M., Hurtado M. y Cendrero A. (42)*

**Nº 12 conCIENCIAS. ERÁSE UNA VEZ LA CIENCIA**

**Matemáticas y Música.** *Garay J. (4)*

**La Ciencia vista por un hombre de letras.** *Arce J. (14)*

**Los comienzos de la era nuclear.** *Núñez-Lagos R. (30)*

**Einstein en Zaragoza.** *Turrión J. (46)*

**Entendiendo la Estadística: modelos, controversias e interpretaciones.** *Cristóbal J. A. (60)*

**¿Hay alguien ahí fuera?** *Elduque A. I. (76)*

**Leiden: lecciones de Ciencia y Universidad.**

*Bartolom F. (96)*

**La Matemática desde Zaragoza.** *González S. (106)*

**Nº 13 conCIENCIAS. LA CIENCIA Y SU IMPORTANCIA SOCIAL**

**Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra.**

*Román P. (4)*

**Los asesinos del sistema inmunitario.**

*Anel A., Martínez-Lostao L. y Pardo J. (22)*

**Biología: breve biografía de una disciplina emergente.** *Mendivil J. L. (30)*

**Polímeros: de macromoléculas a materiales.**

*Piñol M. y Oriol L. (46)*

**Geología para una Nueva Cultura de la Tierra.**

*Simón J. L. (64)*

**La reforma que nos va a llegar.** *Elduque A. I. (76)*

**Espirales en la naturaleza: una incursión en la Biomatemática recreativa.** *Gasca M. (88)*

**Nº 14 conCIENCIAS. OBJETIVO: SABER**

**El día que el universo creció enormemente.**

*Martínez V.J. (4)*

**Baade y Zwicky, la extraña pareja.** *Pérez Torres M. (14)*

**Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad.**

*Bartolomé F. (22)*

**La Colección de Minerales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza.** *Calvo M. (42)*

**El último ser vivo.** *Sabadell M.A. (56)*

**35 años del Seminario Rubio de Francia.** *Alfaro M. (66)*

**¿Es 4+1 igual a 3+2?** *Elduque A. I. (92)*

**IAESTE: un puente hacia el mundo laboral.**

*Rísquez E. y Garzo R. (94)*

**¿Estás preparado para trabajar en el extranjero?**

*Gracia G. y Sarsa M. (102)*

**Nº 15 conCIENCIAS. Al principio, LA CIENCIA**

**Gamow, Alpher y el Big Bang.** *Pérez Torres M (4)*

**2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad**

**(una reflexión por encargo).** *Turrión J. (10)*

**Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la**

**Botánica mítica.** *Martínez Rica J. P. (26)*

**Cristales en los alimentos.**

*Cuevas-Diarte M. A., Bayés-García L., y Calvet T. (44)*

**Química Forense ¿Ciencia o Ficción?**

*Montalvo G. y García-Ruiz C. (58)*

**Un modelo universitario.** *Elduque A. I. (72)*

**Hilbert y los fundamentos de la Matemática.**

*Bombal F. (86)*

**Nº 16 conCIENCIAS. Una visión emotiva de la Ciencia**

**El poder de las emociones. Aprender a convivir con ellas.** *Aceña J. (4)*

**Cooperación en Salud Visual en África.** *Bea A. (18)*

**Óptica y Arte: Salvador Dalí creador de imágenes.**

*Vallés J. A. (26)*

**Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte I).**

*Pinto G., Martín M. y Martín M.T. (46)*

**El poder de los cristales.** *Bauluz B. (66)*

**Una experiencia docente con Ibercivis.**

*Pelacho M. (74)*

**Los elementos químicos.** *Boya L J. (88)*

**Nº 17 conCIENCIAS. Simplemente CIENCIA**

**Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II).**

*Pinto G., Martín M. y Martín M.T. (4)*

**La era del silicio. De la arena al microprocesador.**

*Aldea C. (22)*

**Edificios de consumo de energía casi nula: ¿Es posible?** *Rodríguez B. (42)*

**Una nueva política educativa.** *Elduque A. I. (58)*

**El Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza.** *Canudo J. I. (68)*

**Ars Qubica, el patrón geométrico de la belleza.** *Miana P. J., Corbalán F., Rández L., Rubio B. y Vila C. (86)*

**La Química en mi vida.** *Carreras Ezquerra M. (98)*

**La Ciencia explicada a los Niños. Hoy... "Ondas Gravitacionales".** *Bartolomé F. y García-Nieto D. (110)*

**Nº 18 conCIENCIAS. La CIENCIA y el TODO**

**La Química a través del espejo.** Gomollón-Bel F. (4)

**Riadas del Ebro: comprenderlas sin miedo.**

del Valle J. (14)

**Átomos y moléculas de cristal.** Martínez-Ripoll M. (24)

**El Paleomagnetismo y el viejo geólogo.**

Pardo G., Pérez F. J. y Arenas C. (36)

**Dieta Mediterránea y Salud Pública.**

Mauriz Turrado I., y Martínez Pérez J. M. (50)

**Matemáticas en los bolsillos: los dígitos de control.**

Gasca M. (66)

**La RSME en Aragón.** Miana P. J. (76)

**Nº 19 conCIENCIAS. PASIÓN POR EL CONOCIMIENTO**

**Las cuevas heladas del Pirineo: crónica de una**

**sorpresa efímera.** Sancho C., Belmonte A.,

Bartolomé M., Leunda M. y Moreno A. (4)

**Viaje a los Campamentos de Refugiados Saharais.**

Vallés J. A. y Collados M<sup>a</sup> V. (20)

**Una nueva política académica.** Elduque A. I. (30)

**El fascinante mundo de los Insectos.**

Lanero J. M. (42)

**Miguel Servet: la Vida y la Ciencia.** Corral J. L. (66)

**La búsqueda de los restos de Cervantes. ¿Qué hay**

**debajo del suelo?.** Cubas Jiménez S. (80)

**Nº 20 conCIENCIAS. ¡20!**

**Un mundo de minerales.** Bauluz B. (4)

**El desarrollo de la carrera profesional.** Ortega J. J. (16)

**Un campeonato entre árboles: más alto, más grande,**

**más viejo...** Martínez-Rica J. P. (24)

**La óptica en la China Oriental.** Vallés J. A. (42)

**Desafíos de la higiene, inspección y seguridad**

**alimentarias para el tercer milenio.**

Martínez J. M. y Mauriz I. (54)

**El 40 aniversario de un paradigma en el análisis de**

**cuencas sedimentarias.**

Pardo G., Gonzalez A. y Arenas C. (70)

**Nº 21 conCIENCIAS: SIGLO XXI.**

**Conciencia química y CO<sub>2</sub>.** Fernández Álvarez F. J. (4)

**Mendeléiev y San Alberto Magno en el paraíso de los**

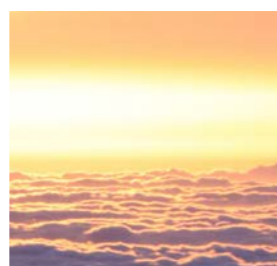
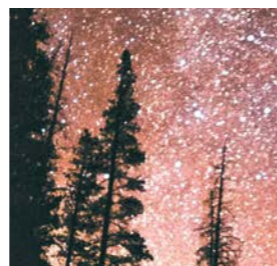
**inmortales.** Román Polo P. (16)

**Los yacimientos minerales como indicadores**

**ambientales en la tierra arcaica.** Subías I. (34)

**Biología sintética: La ingeniería de la naturaleza.**

Nevot G. (48)



**La arqueología subacuática: Hay que llegar al fondo.**

Martin-Bueno M. (62)

**Una definición Genérica de los másteres.**

Elduque A. I. (78)

**Nº22 conCIENCIAS: CIENCIA, SIEMPRE.**

**La verdadera historia de la balsa de piedra.**

Pardo G. y Arenas C. (4)

**Toumai: ¿Nuestro primer antepasado directo?**

Armendáriz A. (16)

**Antonio de Ulloa: Un patriota y científico ilustrado**

**polifacético.** Pinto G. y Martín M. (24)

**Biopsia Virtual: Ver el cáncer invisible.**

Jiménez Schuhmacher A. (36)

**La ciencia en crisis: Los investigadores contra las**

**revistas académicas.** Sabadell M. A. (52)

**María Andrea Casamayor: Matemática ilustrada.**

Miana P. J. (68)

**Un mundo lleno de ondas.** Martínez Jiménez J. P. (76)

**Nº23 conCIENCIAS: 150 AÑOS.**

**Año internacional de la tabla periódica de los**

**elementos químicos.** Ortega J. J. (4)

**Henry Moseley: Rayos x, tabla periódica y guerra.**

Román P. (18)

**El éxodo de nuestros científicos.** Oro L. (36)

**Sobre el almacenamiento de agentes químicos en el**

**laboratorio.** Blein A. y Elduque A. I. (48)

**Cristalografía y biominerales.** Moya R. (58)

**Paisajes que nos hemos perdido.** Pardo G.

y Arenas C. (72)

**Nº24 conCIENCIAS: LA CIENCIA ES COSA DE**

**MUCHOS.**

**Yo estuve una vez en África.** Gómez-Moreno C. (4)

**Un valor oculto del patrimonio frutal. De la**

**biodiversidad a la gastronomía.** Errea Abad P. y

González Bonillo J. (28)

**Mitología, cultura y arte en la tabla periódica de los**

**elementos químicos.** Román Polo P. (38)

**Big data: La fiebre del siglo XXI: Reinventándose la**

**estadística para los nuevos datos.** Olave Rubio P. (56)

**La química en la frontera: Más allá de buretas y tubos**

**de ensayo.** Madrona Martínez H. (68)

**Del quinto postulado a la forma del universo.**

Vigara Benito R. (80)

**Nº25 conCIENCIAS: EN TIEMPOS DE CONFINAMIENTO**

**El neutrino y el origen de la materia.**

Cuesta Soria C. (4)

**Cómo construir "Construyendo la tabla periodica".**

Calvo M. (16)

**Estructuras sedimentarias: más que *ludus naturae*.**

Pardo G. y Arenas C. (28)

**Agenda 2030. ¿hacen falta más datos?.**

Elduque A. I. (50)

**La Antártida, un paraíso para la investigación.**

Anzano J., Cáceres J., Marina C.

y Pérez-Arribas L. V. (60)

**Bruno solano y los inicios de la facultad de ciencias de**

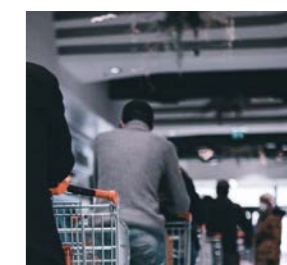
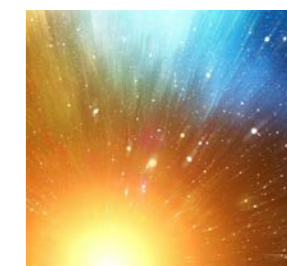
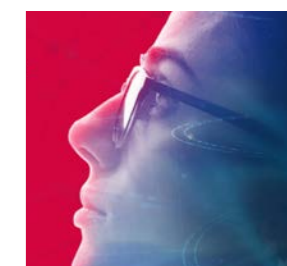
**zaragoza.** Bartolomé F. (72)

**GuíaME-AC-UMA: un programa de apoyo al alumnado**

**de altas capacidades intelectuales.**

Viguera Mínguez E. y Grande Pérez A. (84)

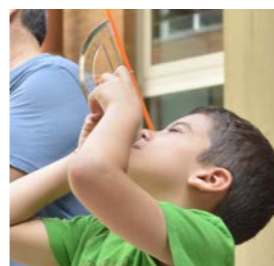
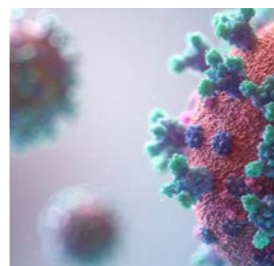
**Las palabras detrás de la pandemia.** de Blas I. (94)



Apellido, nombre, volumen de la revista y página:

**Aceña, Javier**, 16 (4)  
**Aguilar, Manuel**, 8 (58)  
**Aldea, Concepción**, 17 (22)  
**Alegret, Laia**, 6 (6)  
**Alfaro, Manuel**, 14 (66)  
**Álvarez, Ana**, 4 (96)  
**Amaré, Julio**, 3 (22)  
**Anel, Alberto**, 13 (22)  
**Anzano, Jesús**, 25 (60)  
**Arce, José Luis**, 12 (14)  
**Arenas, Concepción**, 18 (36), 20 (70) 22 (4), 23 (72), 25 (28)  
**Arenillas, Ignacio**, 6 (6)  
**Armendáriz, Andrés**, 22(16)  
**Arruebo, Tomás**, 8 (32)  
**Artal, Enrique**, 4 (114), 8 (110)  
**Arz, José Antonio**, 6 (6)  
**Badía, Laura**, 8 (132)  
**Balas, Francisco**, 7 (16)  
**Bartolomé, Fernando**, 6 (106), 12 (96), 14 (22), 17 (110), 25 (72)  
**Bartolomé, Miguel** 19 (4)  
**Bauluz, Blanca**, 16 (66), 20 (4)  
**Bayés-García, Laura**, 15 (44)  
**Bea, Alnudena**, 16 (18)  
**Belmonte, Ánchel**, 19 (4)  
**Bernués, Julio**, 8 (110), 10 (108)  
**Blein, Antonio**, 11 (20), 23 (48)  
**Bolsa, Marta**, 11 (78)  
**Bombal, Fernando**, 15 (86)  
**Bonachea, Jaime**, 11 (84)  
**Boya, Luis J.**, 2 (56), 3 (6), 9 (62), 11 (50), 16 (88)  
**Bruschi, Viola**, 11 (84)  
**Cáceres, Jorge**, 25 (60)  
**Calvet, Teresa**, 15 (44)  
**Calvo, Miguel**, 14 (42), 25 (16)  
**Camón, Agustín**, 9 (16), 9 (122)  
**Canudo, José Ignacio**, 2 (36), 9 (4), 11 (32), 17 (68)  
**Carreras, Miguel** 6 (84), 17 (98)  
**Carrión, J. Alberto**, 3 (84), 5 (122), 6 (94), 6 (108), 8 (126), 9 (126), 10 (102)  
**Cebrián, Susana**, 6 (90)  
**Cendrero, Antonio**, 11 (84)  
**Collados, M<sup>a</sup> Victoria**, 19 (20)  
**Comenge, Luis**, 7 (88)  
**Conde, Mariola**, 10 (128)  
**Corbalan, Fernando**, 17 (486)  
**Corral, José Luis**, 6 (14), 19 (66)  
**Cristóbal, José A.**, 12 (60)

**Cruz, Andrés**, 7 (100)  
**Cuenca, Gloria**, 2 (42), 6 (100)  
**Cuesta, Clara**, 4 (28), 25 (4)  
**Cuevas-Diarte, Miguel Ángel**, 15 (44)  
**Cubas, Santiago**, 19 (80)  
**Dafni, Theopisti**, 6 (90)  
**De Azcárraga, José Adolfo**, 4 (74)  
**De Blas, Ignacio**, 25 (94)  
**De la Osada, Jesús**, 4 (6)  
**De la Riva, Juan Ramón**, 6 (32)  
**De Teresa, José María**, 4 (128)  
**Del Valle, Javier**, 5 (6), 8 (32), 18 (14)  
**Díaz, Jesús Ildelfonso**, 7 (110)  
**Díaz-Michelena, Marina**, 9 (26)  
**Díes, María Eugenia**, 2 (28)  
**Echenique, Pablo**, 4 (56)  
**Echeverría, Maite**, 6 (32)  
**Elduque, Alberto**, 1 (10)  
**Elduque, Ana Isabel**, 1 (42), 3 (54), 4 (102), 5 (94), 6 (24), 7 (62), 8 (92), 9 (72), 10 (84), 11 (66), 12 (76), 13 (76), 14 (82), 15 (72), 17 (58), 19 (30), 21 (78), 23 (48), 25 (50)  
**Elguero, José**, 6 (26)  
**Elipe, Antonio**, 3 (46), 4 (32)  
**Errea Abad, Pilar** 24 (28)  
**Espejo, Francisco**, 6 (44)  
**Etayo, Fernando**, 4 (62)  
**Figuerola, Adriana**, 8 (132)  
**Fernández Álvarez, Francisco José**, 21 (4)  
**Forte, Luis**, 11 (84)  
**Franco, Luis**, 10 (4)  
**Galindo, Jesús**, 7 (76)  
**Gámez, José Antonio**, 2 (28)  
**Garay, José**, 3 (70), 12 (4)  
**García, Eduardo**, 2 (6)  
**García- Nieto, Dani**, 17 (110)  
**García Novo, Francisco**, 4 (12)  
**García-Ruiz, Carmen**, 15 (58)  
**Garzo, Ricardo**, 14 (94)  
**Gasca, Mariano**, 13 (88), 18 (66)  
**Gil, Andrés**, 7 (76)  
**Gil, Inmaculada**, 7 (76)  
**Gimeno, M<sup>a</sup> Concepción**, 8 (16)  
**Gómez-Moren, Carlos** 24 (4)  
**Gomollón, Fernando**, 9 (38), 18 (4)  
**González, Álvaro**, 10 (24)  
**González, Ángel** 20 (70)  
**González, José** 24 (28)  
**González, Santos**, 12 (106)  
**Gracia, Gustavo**, 14 (102)  
**Grande Pérez, Ana**, 25 (84)

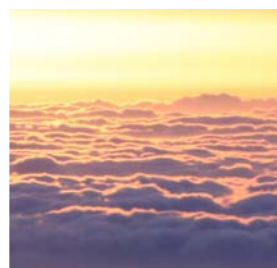
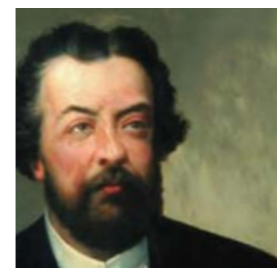
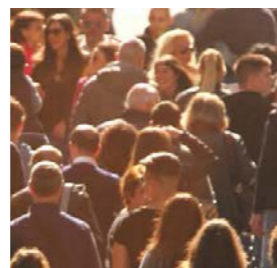
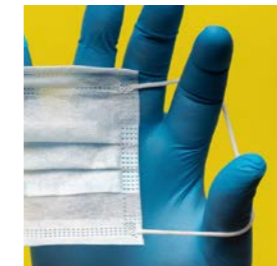


**Grupo Aragosaurus**, 11 (32)  
**Hurtado, Martín**, 11 (84)  
**Ibañez, Raúl**, 8 (48)  
**Ibarra, Paloma**, 6 (32)  
**Ibarra, Ricardo**, 4 (128)  
**Jiménez Schuhmacher, Alberto**, 22 (36)  
**J. Miana, Pedro**, 22 (68)  
**Laguna, Antonio**, 8 (16)  
**Lanaja, Javier**, 8 (32)  
**Lantero, José Manuel** 19 (42)  
**Leunda, María**, 19 (4)  
**Liñán, Eladio**, 2 (28), 3 (58)  
**Lizarbe, M<sup>a</sup> Antonia**, 8 (98)  
**Lozano, Manuel**, 6 (64)  
**Lozano Imízcoz, M<sup>a</sup> Teresa**, 8 (110)  
**López Pellicer, Manuel**, 10 (114)  
**López Pérez, Manuel**, 10 (94)  
**Madrona Martínez, Héctor**, 24 (68)  
**Maestro, Adolfo**, 7 (76)  
**Marín-Yaseli, Julia**, 2 (14)  
**Marina, César**, 25 (60)  
**Martín-Bueno, Manuel**, 21 (62)  
**Martín, Manuela**, 16 (46), 17 (4), 22 (24)  
**Martín, M<sup>a</sup> Teresa**, 16 (46), 17 (4)  
**Martínez, Juan Pablo**, 1 (13), 5 (16), 15 (26), 20 (24), 22 (76)  
**Martínez, Vicent**, 14 (4)  
**Martínez-Lostao, Luis**, 13 (22)  
**Martínez-Pérez, José Manuel**, 18 (50), 20 (54)  
**Martínez-Ripoll, Martín**, 18 (24)  
**Matesanz, José**, 8 (32)  
**Mauriz, Isabel**, 18 (50), 20 (54)  
**Mazo, Juan José**, 9 (16)  
**Mendivil, Jose Luis**, 13 (30)  
**Meléndez, Alfonso**, 2 (16)  
**Menéndez, Amalia**, 9 (120)  
**Miana, Pedro J.**, 6 (76), 17 (86), 18 (76)  
**Mira, Jorge**, 10 (16)  
**Moles, Mariano**, 4 (38)  
**Montalvo, Gemma**, 15 (58)  
**Montañés, Margarita**, 7 (124)  
**Moreno, Ana**, 19 (4)  
**Moya, Raquel**, (58)  
**Nevot, Guillermo**, 21 (48)  
**Núñez-Lagos, Rafael**, 2 (70), 5 (54), 12 (30)  
**Olave Rubio, Pilar**, 12 (60), 24 (56)  
**Orera, Víctor M.**, 7 (42)  
**Oriol, Luis**, 13 (46)  
**Oro, Luis**, 23 (36)  
**Ortega, Juan José**, 20 (16), 23 (4)  
**Pagliano, Silvia**, 8 (76)

- Palacián, Susana**, 1 (12), 7 (88)  
**Pardo, Alfonso**, 8 (32)  
**Pardo, Gonzalo**, 18 (36), 20 (70), 22 (4), 23 (72), 25 (28)  
**Pardo, Julián**, 13 (22)  
**Pelacho, Maite** 16 (74)  
**Peleato, M<sup>a</sup> Luisa**, 3 (32)  
**Peña, Rubén**, 1 (11), 5 (68)  
**Pérez-Arribas, L. Vicente**, 25 (60)  
**Pérez, Fernando**, 6 (32)  
**Pérez, Francisco Javier**, 18 (36)  
**Pérez Torres, Miguel**, 14 (14), 15 (4)  
**Pétriz, Felipe**, 7 (58)  
**Piñol, Milagros**, 13 (46)  
**Pinto, Gabriel**, 16 (46), 17 (4), 22 (24)  
**Pobes, Carlos**, 4 (28), 6 (90), 10 (38)  
**Puyod, Carmina**, 5 (110)  
**Rández, Luis**, 10 (108), 17 (86)  
**Remondo, Juan**, 11 (84)  
**Rey, Jorge**, 7 (76)  
**Rísquez, Eduardo**, 14 (94)  
**Rodríguez, Beatriz**, 17 (42)  
**Rodríguez, Carlos**, 8 (32)  
**Román, Pascual**, 9 (48), 11 (4), 13 (4), 21 (16), 23 (18), 24 (38)  
**Rubio, Beatriz**, 17 (86)  
**Rubio, Mario**, 3 (76)  
**Sabadell, Miguel Ángel**, 5 (84), 14 (56), 22 (52)  
**Sánchez Cela, Vicente**, 2 (64), 3 (16)  
**Sancho, Carlos**, 19 (4)  
**Sancho, Javier**, 1 (44)  
**Sangiao, Susana**, 9 (118)  
**Santamaría, Jesús**, 7 (16)  
**Santolaria, Zoé**, 8 (32)  
**Sarsa, María Luisa**, 2 (6), 4 (28), 5 (78), 6 (90), 7 (128), 9 (124), 9 (126), 14 (102)  
**Serrano, José Luis**, 10 (144)  
**Sesma, Javier**, 3 (66)  
**Sevil, Begoña**, 9 (116)  
**Simón, José Luis**, 2 (26), 13 (64)  
**Soler, Manuel**, 7 (6)  
**Sorando, José María**, 5 (30), 9 (84), 10 (52)  
**Soriano, Roberto**, 1 (24)  
**Subías, Ignacio**, 21 (34)  
**Tornos, José**, 6 (94), 6 (108)  
**Turrión, Javier**, 12 (46), 14 (14), 15 (10)  
**Ullán, Miguel**, 6 (64)  
**Uriel, Amadeo E.**, 6 (44), 8 (6)  
**Urieta, José**, 8 (32)  
**Usón, Rafael**, 2 (54)  
**Valcárcel, Miguel**, 10 (72)  
**Vallés, Juan**, 16 (26), 19 (20), 20 (42)



- Vicente, José Manuel**, 5 (40), 6 (52)  
**Vigara Benito, Rubén**, 24 (80)  
**Viguera Mínguez, Enrique**, 25 (84)  
**Vila, Cristóbal**, 17 (86)  
**Villar, José Ángel**, 6 (90), 8 (116)  
**Villarroya, Jorge**, 7 (54)  
**Virto, Alberto**, 3 (38), 5 (98), 10 (142)  
**Zueco, David**, 9 (16)  
**Zulaica, Fernando**, 8 (128)





[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/1](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/1)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/2](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/2)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/3](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/3)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/4](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/4)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/17](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/17)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/18](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/18)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/19](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/19)



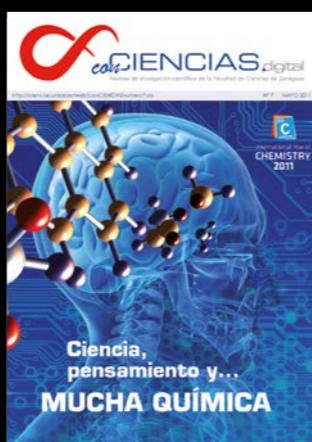
[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/20](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/20)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/5](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/5)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/6](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/6)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/7](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/7)



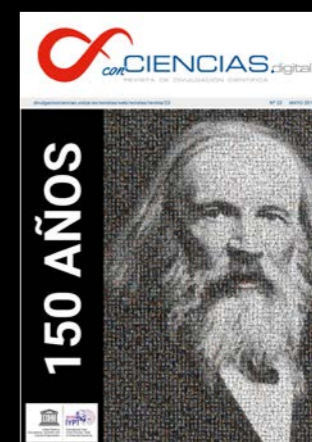
[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/8](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/8)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/21](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/21)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/22](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/22)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/24](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/24)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/9](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/9)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/10](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/10)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/11](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/11)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/12](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/12)



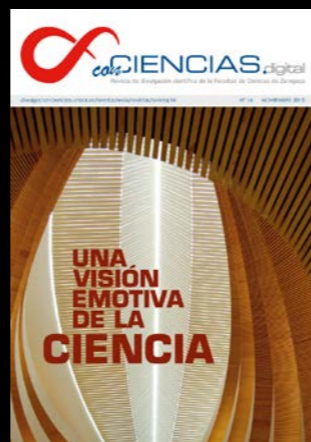
[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/13](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/13)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/14](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/14)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/15](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/15)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/16](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/16)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/25](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/25)

↓  
¡DESCÁRGALAS GRATIS!

ENCIASCIENCIASCIENCIASCIENC  
ASCIENCIASCIENCIASCIENCIASC  
NCIASCIENCIASCIENCIASCIENC  
SCIENCIASCIENCIASCIENCIASO  
CIENCIASCIENCIASCIENCIASCIEN  
CIASCIENCIASCIENCIASCIENCIAS  
ENCIASCIENCIASCIENCIASCIEN  
ASCIENCIASCIENCIASCIENCIASO  
CIENCIASCIENCIASCIENCIASCIEN  
CIASCIENCIASCIENCIASCIENCIAS  
ENCIASCIENCIASCIENCIASCIENC  
ASCIENCIASCIENCIASCIENCIASO  
CIENCIASCIENCIASCIENCIASCIE  
CIASCIENCIASCIENCIASCIENCIA  
IENCIASCIENCIASCIENCIASCIEN



*con* **CIENCIAS**.digital  
REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Patrocinan:

