



con CIENCIAS.digital

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/27

Nº 27 NOVIEMBRE 2021

EL CONOCIMIENTO siempre empieza
por el APRENDIZAJE



Nº 27 / NOVIEMBRE 2021

REDACCIÓN

Dirección:
Ana Isabel Elduque Palomo

Subdirección:
Ángel Francés Román

Diseño gráfico y maquetación:
Víctor Sola Martínez (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

IMPRIME: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza
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: **Reflexiones**
por Ana I. Elduque (Hotel Alfonso V - León)

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



EDITORIAL	2
EL TIEMPO ENTRE DOLINAS	4
Mª Asunción Soriano y Andrés Pocoví	
JACQUES HADAMARD EN ZARAGOZA	22
Pedro J. Miana	
ANAIS Y EL VIENTO DE MATERIA OSCURA	34
María Luisa Sarsa	
EXPERIMENTANDO	44
CON LA DIVULGACIÓN DE LA QUÍMICA	
Ángel Madurga	
TOSCAS, TOBAS Y TRAVERTINOS: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y ARCHIVOS GEOLÓGICOS	54
Gonzalo Pardo y Concha Arenas	
LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES Y LA FORMACIÓN SUPERIOR	74
Ana Isabel Elduque	
NOTICIAS Y ACTIVIDADES	92



EL CONOCIMIENTO SIEMPRE EMPIEZA POR EL APRENDIZAJE

Saludos de nuevo, querido lector. Volvemos a encontrarnos en estas páginas dedicadas a la divulgación del conocimiento científico, y de reflexión, para que este precioso camino hacia el saber siga teniendo vía y no se detenga nunca. Y como decimos en el título, el conocimiento solo es posible adquirirlo por medio del estudio y del aprendizaje. Como es habitual, traemos a estas páginas temas variados pero, también como siempre, tremendamente interesantes y dignos de divulgarse.

Quiero comenzar con un artículo dedicado a mostrar nuestra pequeñez frente a la magnificencia de la Naturaleza. Ahora, que estamos asistiendo a un cataclismo de magnitudes impensables en nuestro país hace apenas algunos meses. El episodio de la erupción volcánica de Cumbre Vieja en la isla de La Palma es algo inusual, y terrible para los palmeros, que nos muestra en un espacio brevísimo de tiempo la fragilidad de nuestras infraestructuras. Pero en su artículo "El tiempo entre dolinas", Asun Soriano y Andrés Pocoví nos muestran cómo no es necesario que nuestro planeta se nos muestre con la violencia que lo ha hecho en La Palma. Poco a poco, en procesos lentos pero inexorables, todo lo que hayamos construido encima de una dolina está en ries-

go de colapso, con un resultado análogo si el suceso se produjera de forma mucho más rápida. Al igual que en el caso de la erupción del volcán palmero, la monitorización de la situación, su estudio y su correcta interpretación según criterios científicos son las herramientas que permiten evitar riesgos mayores.

¿A quién, en alguna visita al Pirineo, no le han llamado la atención las chimeneas cónicas típicas de las casas de los pueblos montañoses? La explicación más frecuente es que se trata de construcciones destinadas a albergar un gran hogar, creando un espacio bajo la misma que era el centro de la actividad doméstica. Cuando se visita una de estas casas nos damos cuenta de que, frecuentemente, están estas chimeneas apoyadas solo en tres paredes, lo que no sería posible si sillares o mampostería fueran los constituyentes de la fábrica. El material empleado son las llamadas toscas, piedras calcáreas muy ligeras y de gran ocurrencia en nuestro Pirineo. Pero no todas las toscas tienen este origen. Y, como se decía en el concurso televisivo, hasta aquí puedo leer. Todos los secretos se desvelan en el artículo de Gonzalo Pardo y Concha Arenas. No se lo pierdan.

La vida de los científicos no es solo una relación de hechos que pueden, algún día, convertirse en un guion cinematográfico. No es necesario que todo en la vida este

totalmente novelado. Pero, en cambio, saber de las circunstancias personales de muchos de esos que Newton llamaba gigantes, siéndolo él mismo también, nos da una dimensión nueva de su obra y nos ayuda a reflexionar más y mejor sobre sus descubrimientos y teoría. En un siglo tan convulso, como fue el pasado, Jacques Hadamard es un ejemplo del que algunos pudieron disfrutar en persona en sus visitas a nuestra ciudad. Un judío que claramente no comulgaba con las ideas imperantes y que dedicó su vida a aquello que más amaba, las Matemáticas en lo profesional y las personas y sus derechos en lo personal. Todo un ejemplo que Pedro Miana nos trae a estas páginas para disfrute de todos.

Todas aquellas que amamos la Química y que la hemos convertido en nuestra razón de ser profesional sentimos el laboratorio como nuestro hogar. Y vamos a él a hacer solo una cosa, a experimentar. La Química es principalmente una ciencia experimental. Todas las teorías, propuestas e ideas deben contrastarse, falsarse, a través de un experimento. Pero, como todo, esto requiere de unas técnicas que deben aprenderse y, al igual que el resto del conocimiento, cuanto antes se empiece, mejor. Ángel Madurga nos explica con detalle su esfuerzo y el de otros muchos para que los jóvenes entiendan y se interesen por esta ciencia y cómo ha contribuido, y lo sigue haciendo, a mejorar las condiciones de vida de

todos. Lector, tienes la oportunidad de conocer el trabajo que realizan algunos compañeros por sembrar el amor por la ciencia entre los que, más pronto que tarde, serán colegas.

Llegamos a la parte más oscura de nuestra publicación. Pero no porque ni se entienda su contenido ni porque trate de cuestiones esotéricas. Marisa Sarsa nos habla de la materia oscura. Esta materia que nos rodea y de la que apenas tenemos constancia, pero que sin su participación no podríamos entender cómo está conformado el Universo. Y lo hace desde aquí cerca, desde el Laboratorio Subterráneo de Canfranc, donde se está llevando a cabo el experimento Anais, que nos proporcionará valiosa información de algo invisible y casi imperceptible, pero que sabemos que está ahí. Desde las profundidades de la Tierra para entender la inmensidad del Universo. Una paradoja más de la ciencia que Marisa nos ayuda a entender.

Desde que se implantó el EEES la formación de nuestros alumnos debe centrarse en la adquisición de competencias, profesionales y personales. Pero ¿lo estamos consiguiendo? ¿Sabemos realmente qué es una competencia y cuáles deben tener los titulados cuando finalicen sus estudios? Aquí os dejo mis reflexiones sobre el tema, abierto y polémico, pero necesario para que los titulados de nuestra universidad puedan decir, durante el desarrollo de su carrera profesional, "esto me lo enseñaron durante la carrera". Un docente siempre aspira a dejar alguna huella entre sus pupilos y una buena formación en competencias es, en mi opinión, un magnífico objetivo.

Ya ves lector que el número es amplio y variado. Es nuestro espíritu y tu lectura nuestra recompensa. Nos vemos en el próximo número.

Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS





El tiempo entre dolinas

“Las dolinas son depresiones cuya forma en planta es circular o subcircular, que pueden contener agua en su fondo y cuyas dimensiones son variables.”

M^a Asunción Soriano y
Andrés Pocoví



Las diaclasas y fracturas favorecen la circulación del agua, como en esta estrecha galería de la Cova del Toll (Moyà, Barcelona / B) y pueden generar galerías y cavidades, donde además de procesos erosivos también hay sedimentación como en Cuevas de Artà, Mallorca (C). En superficie se produce formas kársticas variadas. Las de menores dimensiones son karren o lapiaz. También se ensanchan las diaclasas y se formen regueros, como en este ejemplo de Escorca, Mallorca (foto A. Pocoví / A).



Numerosos procesos naturales al interaccionar con las actividades humanas provocan graves pérdidas (terremotos, volcanes, huracanes, inundaciones, movimientos en masa, colapsos y subsidencia kársticas,...). Sin ir más lejos, recordemos los temporales en enero de 2020 en que las costas de las comunidades valenciana y catalana fueron las más afectadas. También las inundaciones causadas por las crecidas recurrentes de los cursos fluviales (como en el Ebro) o por intensas precipitaciones (noviembre de 2020 en Valencia y Andalucía). Con menor frecuencia también se han producido graves daños como consecuencia de la actividad sísmica (región de Murcia y este de Andalucía) y volcánica (Islas Canarias).

Pues bien, entre los mencionados, los procesos relacionados con el karst afectan a una extensión importante de nuestro territorio y son causa constante de destrucción o quebranto de bienes y riesgo para personas. La terminología del karst tiene su origen en Eslovenia. El término *kras* hace referencia a una zona pedregosa

y yerma y también es la denominación de la meseta eslovena de Kras, lindante con Italia, pero su uso se generalizó en la versión germánica de Karst (Cvijic, 1893). Se trata de un proceso común a nivel mundial (U.S.A, Canadá, Inglaterra, Italia, Turquía, Israel, Arabia, etc) tal como señalan por ejemplo Ford y Williams (2007). La característica más importante de las zonas en que tiene lugar este proceso es la disolución por el agua de los materiales (carbonatos, sulfatos, sales haloideas) y, además, que el drenaje es predominantemente subterráneo. Los materiales solubles pueden estar o no cubiertos por otras rocas y depósitos, denominándose al primero de ellos karst cubierto y al segundo karst desnudo. Son muy numerosos los autores que consideran que el karst cubierto es el mayor peligro geológico relacionado con el karst, ya que constituyen zonas con un terreno muy inestable (Waltham *et al.* 2005). Para que se produzca karstificación se necesitan unos elementos básicos que, de forma muy sucinta, se pueden reducir a tres. (1) Material soluble: formaciones rocosas que puedan disolverse por el agua, en muchos casos con



ayuda de CO₂, ácidos húmicos, H₂S... (2) Disponibilidad de agua: es preciso que esta siga entrando al sistema ya que, si no, se produciría su saturación y la disminución de la disolución. (3) Gradiente hidráulico: es decir, una diferencia de cotas entre los puntos de entrada y salida del agua del sistema que permita que el agua circule para que la disolución sea más efectiva (White, 1988).

Pese a que la circulación del agua se produce sobre todo en el subsuelo formando conductos y cavidades subterráneas (endokarst), los modelados desarrollados en la superficie del terreno (exokarst) son también muy importantes teniendo gran variedad de tamaños (milimétricos a kilométricos) y formas (redondeadas, tubulares, surcos, depresiones cerradas, pináculos, etc). Las denominaciones que reciben, al igual que el término karst, proceden en su mayoría del área de Eslovenia. Entre todos los modelados, las dolinas o depresiones superficiales, se considera que son los más representativos del exokarst, hallándose descritas profusamente a nivel mundial y desarrollándose en diversos contextos ambientales (Ford y Williams, 2007). Son también frecuentes en nuestra comunidad y, en algunos casos, son elementos espectaculares del paisaje que constituyen espacios naturales de gran valor. Posiblemente, las más conocidas por los problemas que han provocado y por su repercusión en los medios de comunicación, son aquellas generadas en las inmediaciones de la ciudad de Zaragoza. La causa reside en que es un área muy poblada, con numerosas edificaciones e infraestructuras de diversos tipos y donde la formación de dolinas provoca serios daños en las mismas.

Pero observando el registro geológico se constata que la karstificación no se limita a ser un fenómeno actual, sino que también tuvo lugar a lo largo del tiempo geológico. Si, en el presente, ese karst ya no es activo, se habla de paleokarst. Su importancia es no solo científica, sino también económica (yacimientos minerales) e ingenieril (Eraso, 1989; Zhao et al., 2014).

DOLINAS, ¿SON UNA MOLESTIA?

Las dolinas son depresiones cuya forma en planta es circular o subcircular, que pueden contener agua en su fondo y cuyas dimensiones son variables (desde algunos metros hasta cientos de metros de diámetro y decenas de metros de profundidad). Las generadas en el centro del valle del Ebro se han desarrollado por la disolución de evaporitas (niveles yesíferos y salinos) depositadas en el Mioceno, cuando la cuenca del Ebro

no tenía comunicación con el mar, que constituyen el sustrato en el que se excavó la actual red hidrográfica. Estos depósitos están cubiertos parcialmente por materiales detríticos cuaternarios ligados, principalmente, a la acción fluvial. Estos últimos pueden ser o no cohesivos y permiten la entrada de agua hacia los materiales solubles. La mayoría de las dolinas se encuentran sobre los niveles de terrazas más recientes del río Ebro.

Como se ha indicado, la **disolución** es el mecanismo fundamental en la formación y desarrollo de karst y, por tanto, de las dolinas. Pero no es el único ya que, entre otros, también intervienen **colapso** y **sufosión** (*suffosion*). En general, varios de ellos van a colaborar en la génesis de dolinas y, en función de cuales sean,

►
Cuando la disolución es el proceso dominante se forman dolinas en cubeta y en embudo (dolina en las inmediaciones de la Piedra de San Martín / A). Es frecuente que los colapsos que se producen en las galerías subterráneas se transmitan hacia la superficie y formen dolinas en ventana como en Frías de Albarracín (B) o en la espectacular Sima de San Pedro, Oliete, Teruel (C).



A. Pocoví



M. A. Soriano



C

influirán en la morfología de las mismas. La disolución de los materiales se produce a favor de las discontinuidades de las rocas, es decir, de fisuras o fracturas. El agua percola por ellas y las trayectorias de flujo se concentran hacia esos puntos, las fisuras comienzan a ensancharse, siendo la disolución mayor donde estas intersectan y disminuyendo en profundidad. Las dolinas formadas mediante este mecanismo tendrán una inclinación de las paredes variable, respondiendo a los tipos morfológicos de dolinas en cubeta y en embudo. Su crecimiento estará limitado por la competencia con dolinas contiguas o por el cese de condiciones geológicas favorables. Este proceso se puede producir tanto directamente sobre la roca karstificable, como bajo otra roca o cobertera detrítica que esté sobre la misma. Recordemos que la disolución subterránea es fundamental en el desarrollo del karst y dará lugar a la formación de galerías y cavidades. En este caso es frecuente que se ocasionen colapsos, es decir, caída rápida de fragmentos de los estratos del techo que adquiere forma de cúpula. Los desplomes sucesivos se propagarán hacia la superficie y, en muchos casos, la alcanzará.

Las dolinas en las que interviene el colapso en su desarrollo tienen paredes con gran inclinación siendo estas verticales o subverticales (dolinas en ventana), e incluso con contrapendientes. La evolución posterior de las mismas causa la degradación y la disminución del ángulo de vertiente adquiriendo, por ejemplo, morfologías en embudo. El colapso puede también afectar a rocas y coberteras detríticas compactadas que recubran a la roca kárstica. La sufosión, que conlleva el arrastre y evacuación de sedimentos de grano fino no consolidados a través de los conductos de disolución, se producirá cuando haya una cobertera detrítica no cohesiva sobre la roca kárstica. La inclinación de las vertientes será variada y, por tanto, también las morfologías resultantes (Williams, 2003; Waltham *et al.*, 2005).

El desarrollo de dolinas causa problemas en zonas agrícolas y en urbanas. En las primeras se ha producido una coexistencia, una especie de equilibrio dinámico, entre el fenómeno y las prácticas agrícolas. Los agricultores rellenaban y explanaban las zonas deprimidas al avanzar la subsidencia, lo que enmascaraba el fenómeno.

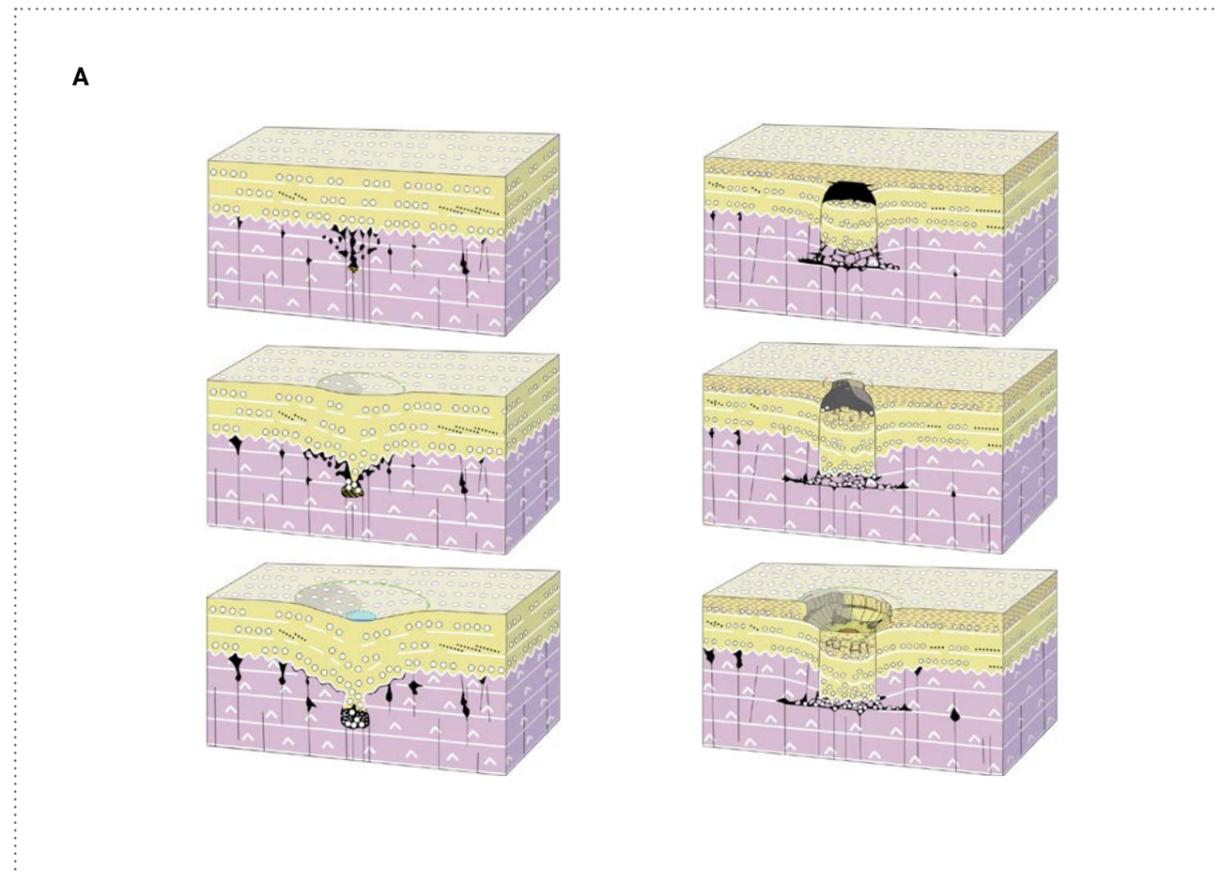


A. Casas

B

B. La disolución producida bajo cobertera de gravas sueltas sin cohesión, favorece el desarrollo de dolinas en cubeta (cerca de la Feria Muestras de Zaragoza).

C. Si las gravas están cementadas (cobertera cohesiva) forman dolinas en ventana, proximidades de Gallur.



A. Esquemas simplificados de formación de dolinas en el valle del Ebro. Sobre el material soluble (p. ej. Yesos de la Formación Zaragoza, en color fucsia), por lo general, hay una cobertera detrítica aluvial (p. ej. gravas, en color amarillo). La morfología de las dolinas estará muy condicionada por la presencia de niveles cohesivos en la cubierta. Si no los hay (izquierda), la disolución provocará un hundimiento lento que se transmitirá hacia la superficie. Parte de esos depósitos podrán ser introducidos hacia el interior del sistema kárstico por, entre otros procesos, sufosión. En superficie se desarrolla una dolina en cubeta. Cuando hay niveles cohesivos (derecha), estos sustentan el techo de las cavidades kársticas que crecen (sin afectar a la superficie) hasta que la bóveda se hace inestable y se produce su desplome (súbito o por sucesivos pulsos). La vertiente es vertical e incluso con contrapendientes (dolina en ventana). Con el tiempo la zona colapsada puede ir incrementando su diámetro y los materiales que caen al interior de la dolina favorecen una disminución de la inclinación de la vertiente (dolina en embudo).



C

En los casos de rápida y extensa subsidencia y de colapso, la renivelación del terreno puede ser más costosa por el volumen de material de aporte requerido o por la inclinación de las paredes. A menudo se optaba por abandonar el cultivo en el terreno afectado o acondicionar una parcela para otros cultivos dentro de la misma, siempre que las dimensiones lo permitiesen. Ahora bien, recordemos que el desarrollo del karst está ligado a la circulación de agua infrasaturada en el subsuelo para que la disolución de la roca sea eficiente. La lenta circulación y las oscilaciones de nivel de los acuíferos relacionados con el río y, sobre todo en los niveles próximos a la superficie, el riego, las fugas de conducciones y las extracciones e inyecciones provocan variaciones en los parámetros hidrológicos y contribuyen al desarrollo de dolinas (Soriano y Simón, 1995, Soriano *et al.*, 2012).

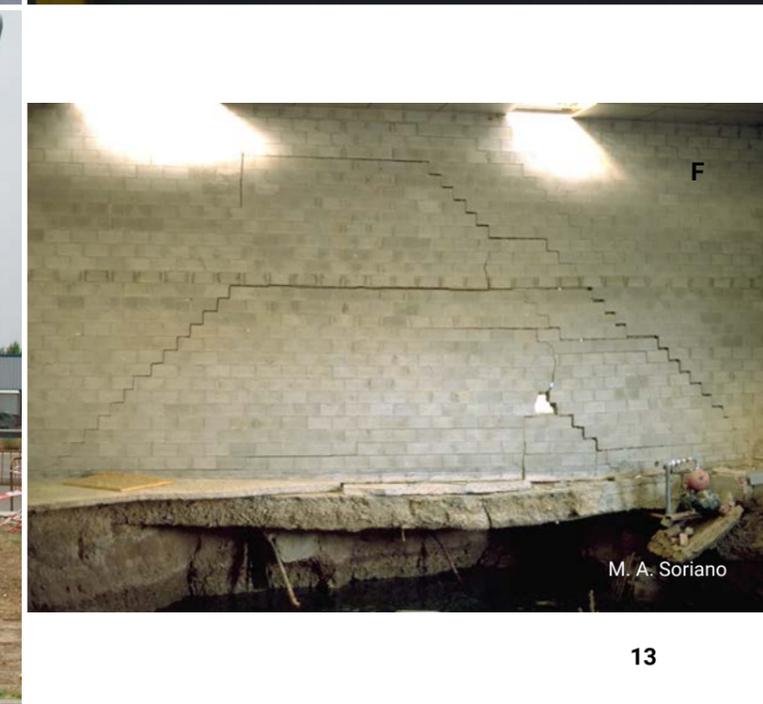
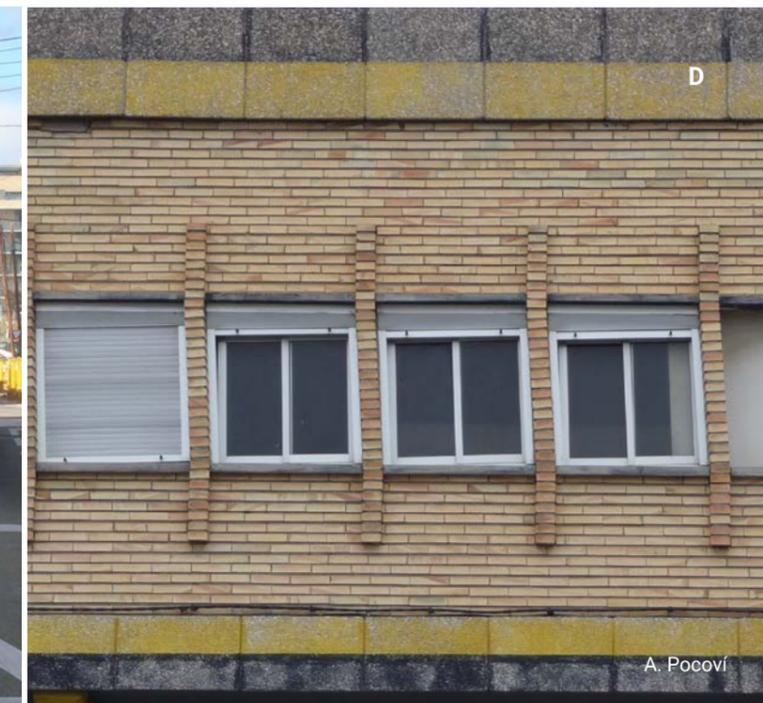
En el valle medio del Ebro, buena parte de las áreas agrícolas transformaron su uso a zonas urbanas y polígonos industriales a partir de los años 70. Terrenos en los que había dolinas se explanaron y se construyó sin prestar la debida atención a la localización de las dolinas y su relleno. Al cabo de unos años, como la karstificación sigue activa, se formaban nuevas depresiones y algunas de las antiguas se reactivaban con el consiguiente daño en vías de comunicación, edificios y sistemas de abastecimiento (Soriano y Simón, 1995; Soriano y Simón, 2002; Simón *et al.*, 2008; Soriano *et al.*, 2012). En buena parte de ellas el hundimiento es gradual. Sin embargo, también se han producido algunos colapsos repentinos que, afortunadamente, además de los daños materiales solo han causado algunos heridos leves.

El estudio de las dolinas implica diversas metodologías y fases, entre ellas señalamos: 1) Identificación, localización, delimitación de cada caso en la superficie del territorio investigado, así como las características geológicas del subsuelo. Para su reconocimiento se utilizan mapas y fotografías aéreas de distintos años, campañas de campo para localizar indicios directos e indirectos (mayor humedad, grietas, rellenos extraños, etc) de su presencia y daños que afectan a zonas urbanizadas. Además, es preciso conocer las variables geológicas e hidrogeológicas que contribuyen a incrementar la susceptibilidad del terreno a la karstificación (bajo espesor de la cubierta cuaternaria, tipo de materiales que la integran, oscilaciones importantes del nivel freático, pozos de extracción o inyección, etc). 2) Determinar su evolución y comportamiento recurriendo a documentos antiguos (mapas y fotos), mediante sucesivas mediciones topográficas y por interferometría a partir de imágenes

de satélite. 3) Reconocimiento de la estructura interna por métodos geofísicos que midan las variaciones de parámetros físicos debidas a peculiaridades del terreno. 4) En casos escogidos, campañas de sondeos mecánicos o excavación de trincheras para la lectura directa de la historia registrada en los niveles del relleno y del terreno encajante, con posibilidad de toma de muestras y realización de dataciones absolutas. 5) Previsión de endokarst antes de que tenga manifestación en superficie (Soriano y Simón, 1995; Pueyo *et al.*, 2010; Gutiérrez *et al.* 2011).

“¿Es posible prevenir la formación de dolinas? Ello conllevaría reducción de la peligrosidad y un ahorro económico significativo.”

Las dolinas se rellenaban, aunque transcurrido poco tiempo daban muestras de su actividad con la aparición de grietas y vegetación (cercañas polígono Europa / A). En muchas ocasiones se ha construido sobre dolinas activas sin tomar medidas correctoras especiales y tarde o temprano se han manifestado patologías que, en ocasiones, han acabado con los edificios en ruinas. Algunos ejemplos como los viales anejos a la autovía de Logroño son testigos de esta actividad (B). Los edificios pueden tener grietas y abombamientos en muros (barrio de Miralbueno / C) y deformaciones en ventanas (polígono El Portazgo / D). Los colapsos son menos frecuentes pero también se han generado en el exterior (autovía Logroño / E) y en el interior de edificios industriales (polígono Europa / F).





A. Pocoví



A. Pocoví



M. A. Soriano



M. A. Soriano

Los ejemplos de paleodolinas que se observan en la cuenca del Ebro son muy variados. Cuando domina la subsidencia lenta, las capas se encuentran claramente basculadas hacia el centro de la estructura dibujando una forma en cubeta (N-II en las cercanías de PLA-ZA / A). En ocasiones, es posible ver el contacto de los depósitos cuaternarios sobre los estratos miocenos solubles karstificados (cercanías de Rodén / B). En otros casos no se accede a ese contacto, pero las deformaciones en los depósitos son claras. En este ejemplo se ve una forma tubular, formada como consecuencia del colapso de una cavidad kárstica, delimitada por fallas que tiende a cerrarse mediante una cúpula en la parte superior, si bien sedimentos sin deformar depositados por un canal la erosionan parcialmente (cercanías de Fuentes de Ebro / C). También es frecuente que las capas de sedimentos estén basculadas y falladas y con colapsos de decenas de metros en la zona central como el de la imagen (cercanías de Zuera / D).

Llegados a este último punto, ¿es posible prevenir la formación de dolinas? Ello conllevaría reducción de la peligrosidad y un ahorro económico significativo. En el subsuelo puede haber una cavidad importante por disolución que no se ha propagado todavía hacia la superficie. Se trata de utilizar herramientas que sean capaces de determinar en qué lugares se está produciendo disolución y todavía no se aprecian sus efectos, o bien aquellos ocultados deliberadamente por la actividad humana y pueden ser proclives a tener problemas en el futuro. Para ello, se utilizan diversas herramientas de geofísica (punto 3). La aplicación de cada método geofísico dependerá de la extensión de la zona, tiempo disponible y grado de detalle requeridos. Mencionaremos alguno de ellos.

La magnetometría mide el campo magnético terrestre (geomagnetismo) con precisión suficiente para determinar pequeñas variaciones locales del terreno. La radiación electromagnética, y el geo-radar emiten pulsos de ondas electromagnéticas de distintos intervalos de frecuencias y recogen parte de la misma señal que se ha propagado a través del terreno. La prospección sísmica se basa en medir cambios de la velocidad a que se transmiten las señales sísmicas. La microgravimetría mide la atracción gravitatoria con suficiente precisión para reconocer pequeñas variaciones de densidad del terreno. Todos estos métodos están muy al límite de sus capacidad de resolución en la mayoría de casos de aplicación al estudio de dolinas, por lo que se potencia su eficacia aplicando una rutina que combina varios de ellos. En muchos casos, un planteamiento eficaz es empezar la campaña geofísica aplicando un método de ejecución rápida (p. ej. geomagnética) y, a partir de sus resultados, limitar los métodos más laboriosos a las zonas con anomalías o indicios (p. ej. microgravimetría, que implica mucho tiempo invertido en su aplicación para obtener un gran detalle) como proponen (Pueyo *et al.*, 2010).

PALEODOLINAS, LA INFORMACIÓN QUE NOS APORTA EL PASADO

Una vez que de forma breve se ha explicado qué son y qué implica la existencia de dolinas en un territorio, vamos a considerar los vestigios del pasado de este fenómeno en esta zona de la cuenca del Ebro.

En los taludes, fundamentalmente artificiales, de obras lineales y de graveras se observan buenos cortes de los depósitos sedimentados, principalmente, por la actividad del río Ebro y sus afluentes. En numerosas ocasiones, estos presentan deformaciones y se advierten estructuras con formas variadas (tubos, embudos, cubetas) que atraviesan tanto a los depósitos cuaternarios, como a los materiales miocenos infrayacentes. Frecuentemente, su parte superior no está deformada. Por tanto, dichas estructuras se generan durante la sedimentación (sinsedimentarias). Depósitos y estructuras son análogos a los observados en las dolinas activas y se interpretan como paleodolinas (dolinas formadas en el pasado y que no son activas ya que están desconectadas de actual sistema hidrológico).

Las paleodolinas ofrecen facilidades para su estudio que no tienen las dolinas actuales, ya que la altura de los taludes puede superar la decena de metros. Además, cuando se trata de taludes de graveras, visitándolas

con regularidad, se puede acceder a cortes sucesivos y completar una imagen 3D de estas estructuras. Por otra parte, cuando las obras lineales cortan una paleodolina, no se generan los mismos problemas geotécnicos que cuando la actividad humana interfiere con las actuales. En todo caso, puede haber diferencias de cohesión entre los materiales del relleno de la dolina respecto al terreno circundante. Las medidas estabilizadoras (revestimiento o adecuación de la inclinación), suelen tener resultados duraderos.

Pero, ¿para qué sirve el estudio de esas antiguas dolinas si hoy día carecen de actividad y no van a producir daños? No hay una sola respuesta a esta pregunta ya que la información que nos proporcionan es muy variada y, como se verá, resultan un buen complemento al estudio de las dolinas actuales.

Es obvio que su presencia indica que la **karstificación** no se limita a ser un fenómeno actual en la cuenca del Ebro, sino que ya era muy activo, al menos, desde el **inicio del Cuaternario** (hace 2,5 m. a), puesto que hay materiales del Pleistoceno inferior afectados por el mismo (Luzón *et al.*, 2008; 2012; Soriano *et al.*, 2012; Gil, 2017).

A partir del estudio de los taludes analizados se comprueba que los depósitos cuaternarios de las terrazas del río Ebro están integrados, en su mayoría, por gravas con estratificación horizontal y canales con estratificación cruzada. Entre estas gravas se encuentran también niveles de arenas con estructuras variadas y, esporádicamente, arcillas o lutitas que están rellenando cubetas. El análisis de las características sedimentológicas de los mismos muestra que se depositaron en un medio fluvial de cursos trenzados (*braided*), mientras que hoy día el curso del río es meandriforme. Se ha producido un cambio en las condiciones **ambientales** a lo largo de este periodo de tiempo hacia otras menos energéticas con menor disponibilidad de agua y de carga (Luzón *et al.*, 2008 y 2012).

El estudio sedimentológico detallado también muestra que hay diversos elementos que no son característicos del ambiente fluvial y que han debido intervenir otros agentes ajenos al mismo (Luzón *et al.*, 2008). Por otra parte, es frecuente observar que la disposición original de los sedimentos propiamente fluviales está alterada por basculamientos de los niveles, pliegues, fallas de diverso tipo y de escala variable incluso con desplazamientos decamétricos. En definitiva, la geometría de las

“En muchas ocasiones se aprecia que los episodios de subsidencia y colapso han ido sucediéndose en el tiempo, dando lugar a estructuras más complejas, como cubetas que en su interior presentan uno o varios colapsos.”

Panorámica de depósitos fluviales en una terraza del río Ebro en las cercanías de Garrapinillos. Dominan los niveles de gravas depositadas por un curso trenzado. Hacia el centro de la imagen se aprecia que los niveles están basculados e incluso fracturados fruto de la subsidencia. Además, en la zona más deprimida se ha generado un colapso que está relleno por sedimentos de grano fino lacustres prueba de que la zona colapsada estaba inundada. En la parte superior se depositaron de nuevo sedimentos fluviales que no están deformados, lo que indica que los episodios de karstificación fueron sinsedimentarios. El hundimiento central facilitó, no solo la formación de un subambiente no habitual en este contexto, sino también la conservación de los sedimentos de grano fino. En este colapso se realizaron dos dataciones mediante OSL (Optically Stimulated Luminescence), una en la base accesible de la zona colapsada y otra en la base de los sedimentos no deformados (cese de la subsidencia). A partir de ello se estima que el relleno natural de esta paleodolina se prolongaba durante varios miles de años (Luzón *et al.*, 2008), al menos unos 5.000 años ya que no se tenía acceso al contacto de la cubierta con el material karstificado que constituye la base del colapso.



A. Pocovi

paleodolinas nos informa de los **procesos** que actuaron en su desarrollo e incluso permite ordenarlos temporalmente. Con todo ello se puede establecer la **historia evolutiva** de estas estructuras (Soriano et al., 2019).

Así, cuando domina la **subsistencia** lenta, las capas están basculadas hacia el centro de la estructura dibujando una forma en cubeta (simétrica o asimétrica). Se aprecian variaciones laterales en el espesor de las capas y discordancias entre ellas. Es frecuente el desarrollo de estructuras de deformación tales como fallas cuyos planos suelen ser subverticales y cuya vergencia es en sentidos opuestos.

Si el proceso importante es el **colapso**, hay una intensa deformación en los materiales afectados (material desorganizado, bloques basculados, sedimentos blan-

dos intensamente plegados, variación de espesor de las capas, etc). También son frecuentes los rellenos con características sedimentológicas muy distintas a las del entorno (arcillas lacustres, arenas eólicas,...) dentro de la zona colapsada. En la periferia de los volúmenes colapsados son frecuentes las estructuras de deformación, como fallas (sobre todo con componente inversa), bandas de cizalla en las que los ejes mayores de las gravas pueden estar verticales, pliegues, cúpulas, cubetas limitadas por fallas, etc (Luzón et al., 2008; Simón et al., 2014; Soriano et al., 2019).

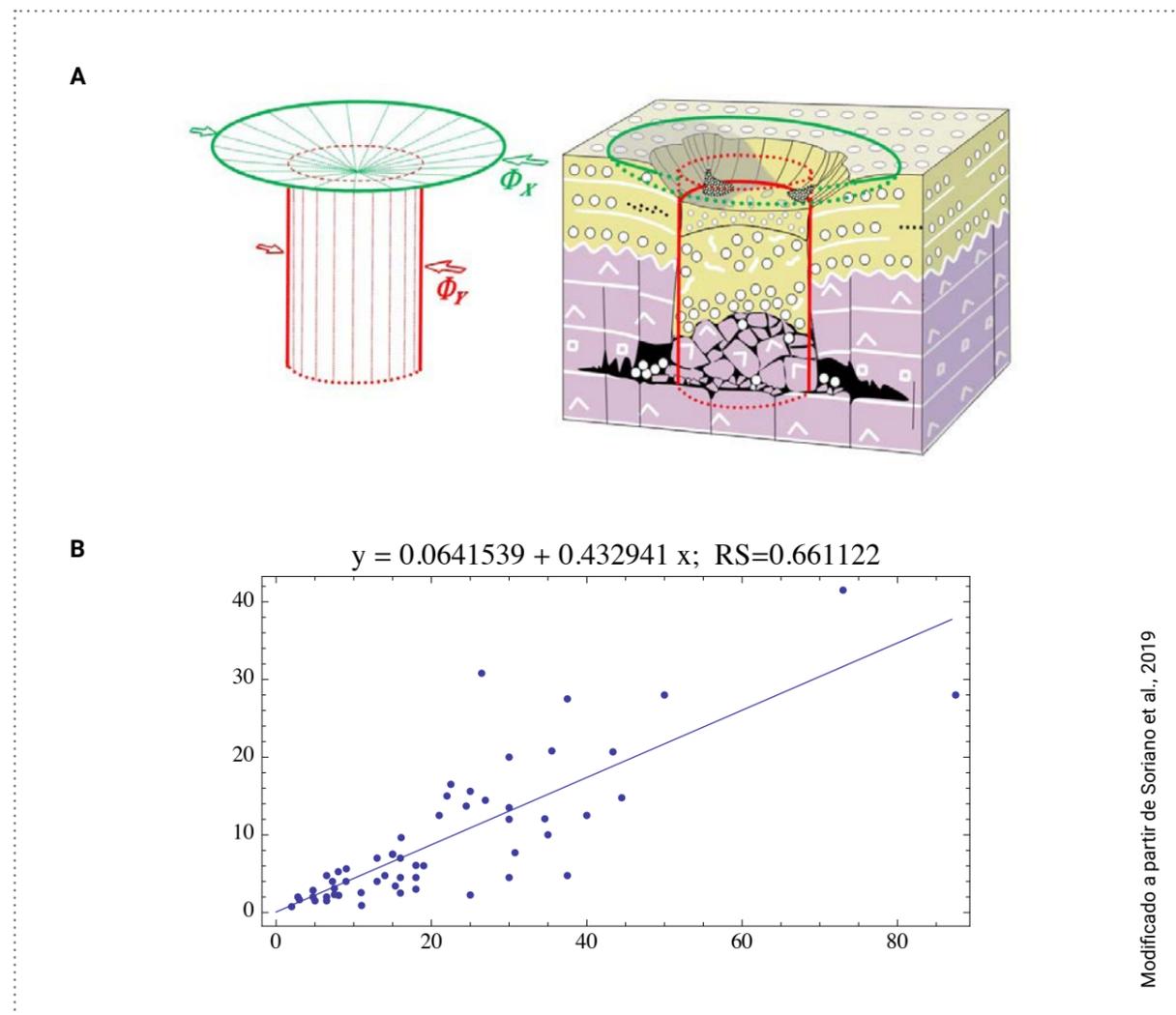
En muchas ocasiones se aprecia que los episodios de subsistencia y colapso han ido **sucedándose** en el tiempo, dando lugar a estructuras más complejas, como cubetas que en su interior presentan uno o varios colapsos sucesivos de considerables dimensiones y sobre ellos

hay una nueva subsistencia (inferida a partir del aumento de espesor de los materiales y de las discordancias). La subsistencia inicial concentra mayor disolución en su zona central y es ahí donde se generará el/los colapsos superpuestos. La progresión de disolución y compactación del material generará la última subsistencia (Soriano et al., 2019). En las áreas colapsadas, además de material desestructurado por el proceso, se conservan materiales arcilloso-limosos y arenas. En estos casos complejos se distinguen todas las estructuras de deformación ya mencionadas.

De forma idealizada, las paleodolinas se pueden ajustar a figuras **geométricas** sencillas: conos y cilindros y su superposición. Así, una cubeta de subsistencia lenta se asimila a un cono cuyo ápice se sitúa en el punto más activo. Los volúmenes colapsados se asimilan a cilindros de eje vertical. La posibilidad de asociar la realidad encontrada sobre el terreno a figuras geométricas simples, permite **cuantificar** y establecer relaciones sencillas entre los parámetros de dichas formas. Por ejemplo, los datos estadísticos sugieren que hay una proporcionalidad entre la extensión de los colapsos y las zonas de subsistencia que, generalmente, los rodean (Soriano et al., 2019).

BIBLIOGRAFÍA

- Cvijic J,1893. Das Karstphänomen. *Geographische Abhandlungen*, 5, (1/1891-96): 217-329. También en: Penck A., ed. (2018): *Geographische Abhandlungen*, Vol 5 (Classic Reprint). Forgotten Books, London, 562 p.
- Eraso A., 1989. Paleokarst in civil engineering. In P. Bosák, D. C. Ford, J. Glazek, & I. Horáček (Eds.), *Paleokarst. A systematic and regional review* (pp. 549–557). Praha: Elsevier and Academia.
- Ford D., Williams P. D. , 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Willey & Sons Ltd. Chichester, 562 p.
- Gil H., 2017. *Los depósitos cuaternarios en el sector central de la Cuenca del Ebro: Arquitectura estratigráfica, paleokarst, su interacción con la sedimentación y cronología*. Tesis doctoral 354 p. Universidad de Zaragoza.
- Gil H., Luzón M., A. Soriano, M. A., Casado, I., Pérez, A., Pueyo, E. y Pocoví, A. 2013. Stratigraphic architecture of interfering alluvial-eolian systems developed on active karst terrains: an Early Pleistocene example in the Ebro basin (NE Spain). *Sedimentary Geology*, 296 : 122-141.
- Gutiérrez F.; Galve J.P.; Lucha P.; Castañeda C.; Bonachea J.; Guerrero J. 2011. Integrating geomorphological mapping, trenching, InSAR and GPR for the identification and characterization of sinkholes in the matled evaporite karst of the Ebro Valley (NE Spain) *Geomorphology* 134, 144-156.
- Luzón M. A., Pérez, A., Soriano, M. A. y Pocoví A. 2008. Sedimentary record of Pleistocene paleodoline evolution in the Ebro basin (NE Spain). *Sedimentary Geology*, 205: 1-13.
- Luzón M. A., Rodríguez López, J. P., Pérez, A., Soriano, M. A., Gil, H. y Pocoví, A. 2012. Karst subsidence as a control on the accumulation and preservation of eolian deposits: A Pleistocene example from a proglacial outwash setting. Ebro basin, Spain. *Sedimentology*, 59 (7): 2199-2225.
- Pueyo Anchueta Ó., Casas Sainz A. M., Soriano M. A. y Pocoví A., 2010. A geophysical routine for detection of doline areas in the surroundings of Zaragoza (NE Spain). *Engineering Geology*, 114: 382-396.
- Simón J. L., Soriano M. A., Arlegui L., Gracia J., Liesa C. L. y Pocoví A. 2008. Space-time distribution of ancient and active karst subsidence: examples from the central Ebro Basin, Spain. *Environmental Geology*, 53 :1057-1065.
- Simón J. L., Soriano M. A., Pérez A., Luzón A.,



Modificado a partir de Soriano et al., 2019

◀ **De manera simple, las paleodolinas se pueden asimilar a figuras geométricas sencillas. Los conos representan formas subsidentes y los cilindros formas colapsadas, tal como muestra el esquema (mediante Φ_x se indica el diámetro del cono y Φ_y el del cilindro / A). La comparación entre los radios de conos (subsistencia) y cilindros (colapso) a partir del análisis de 123 paleodolinas muestra una buena correlación (B). La longitud del radio del cono es, en promedio, unas 1,7 veces la del cilindro.**



M. A. Soriano

El desarrollo de la karstificación no solo condiciona la existencia de elementos extraños al contexto sedimentológico principal, sino que también se acumulará mayor espesor de sedimentos en las zonas subsidentes y la formación de subambientes (Gil *et al.*, 2013). La formación de esos espacios de acumulación peculiares ha permitido la **conservación** de sedimentos, especialmente los de grano fino que, de otra forma, habrían sido erosionados en ese ámbito tan energético por los cursos *braided* del Pleistoceno y, por lo tanto, habrían salido de este sistema. Es el caso de arcillas lacustres y arenas eólicas ya mencionadas, como se señala en Luzón *et al.*, 2012 y Soriano *et al.*, 2019 (figuras página 17 y 20).

COMPARANDO PALEODOLINAS Y DOLINAS ACTUALES

A la vista de lo anterior, se constata que los procesos naturales que intervienen en la karstificación no han variado a lo largo del tiempo. Las estructuras resultantes de estos procesos son similares tanto en depósitos cuya edad es Pleistoceno inferior, como Pleistoceno superior, y coinciden con aquellos que causan el desarrollo de las dolinas actuales.

Ahora bien, el estudio de las paleodolinas muestra una cierta complejidad. Por ello, el mejor conocimiento de la sucesión de procesos actuantes en la evolución de dolinas puede ayudar a delimitar con más precisión las zonas peligrosas y, por lo tanto, contribuir a la planificación urbana. Así, la existencia de discordancias en los sedimentos por causas naturales indica la reactivación de los procesos de disolución, algo que puede ocurrir en dolinas actuales consideradas "inactivas". Hoy en día, no solo las causas naturales sino también las antrópicas (por el relleno de estas depresiones con materiales poco cohesivos) pueden producir este hecho al ser expuestas a sufosión y posterior subsidencia de la zona. En otras ocasiones, se ha visto cómo la morfología superficial no refleja siempre los procesos intervinientes en su génesis. Una interpretación errónea sobre aquellos relacionados con las dolinas actuales puede causar importantes problemas en las zonas más pobladas.

Pero además, se ha observado que los procesos que coadyuvan en la génesis de las dolinas varían a lo largo del tiempo. Tal como hemos visto, tras una subsidencia lenta se pueden desarrollar colapsos de grandes di-



En el interior del colapso producido durante la sedimentación de los materiales del río Ebro se encuentran arenas eólicas. Precisamente el desarrollo del karst facilita la conservación de las mismas (Luzón *et al.* 2013) ya que de otra forma al tratarse de sedimentos de grano fino, hubieran sido evacuados de la zona por los agentes exógenos (gravera cercana a Rodén).

mensiones y, viceversa, tras un episodio de colapso una subsidencia lenta que afectará a una mayor superficie de terreno (recordemos la relación existente en su extensión, figura página 18). Por tanto, esta información aporta objetividad para establecer perímetros de seguridad en torno a las dolinas actuales, algo básico en planificación urbana. Así pues, un mejor conocimiento de la sucesión de procesos kársticos que se obtienen del estudio de antiguas estructuras de deformación es útil, no solo para delimitar las actuales zonas peligrosas, con lo que se mitiga la exposición frente a este riesgo geológico, sino también para ser conscientes de que la evolución (incluso de las dolinas subsidentes que se consideran menos peligrosas) puede modificar su comportamiento con el aumento de la peligrosidad en el área afectada (Soriano *et al.*, 2019).

M^a Asunción Soriano y Andrés Pocoví
Dpto. de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

Pocoví A. y Gil H. 2014. Interacting tectonic faulting, karst subsidence, diapirism and continental sedimentation in Pleistocene deposits of the central Ebro Basin (Spain). *Geological Magazine* 151 : 1115-1134.

- Soriano M.A. y Simón J.L., 1995. Alluvial dolines in the central Ebro Basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. *Geomorphology* 11, 295-309.
- Soriano M.A. y Simón J.L., 2002, Subsidence rates and urban damages in alluvial dolines of the Central Ebro basin (NE Spain). *Environmental Geology*, 42: 476-484.
- Soriano M. A., Luzón A., Pérez A., Yuste A., Pocoví A., Simón J. L. y Gil H. 2012. Quaternary alluvial sinkholes: record of environmental conditions of karst development. Examples from the Ebro basin, Spain. *Journal of Cave and Karst Studies*, 72 : 173-185.
- Soriano M.A., Pocoví A., Gil H., Pérez A., Luzón A. y Marazuela M.A., 2019. Some evolutionary patterns of palaeokarst developed in Pleistocene deposits (Ebro Basin, NE Spain): Improving geohazard awareness in present-day karst. *Geological Journal*, 54: 333-350.
- Waltham T., Bell F., & Culshaw M. 2005. Sinkholes and subsidence: Karst and cavernous rocks in engineering and construction. Berlin: Springer.
- White W. 1988. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. New York:Oxford University Press.
- Williams, P. 2003. Dolines. In J. Gunn (Ed.), *Encyclopedia of caves and karst science* (pp. 304-310). New York: Fitzroy Dearborn.
- Zhao W., Shen A., Qiao Z., Zheng J. & Wang X (2014). Carbonate karst reservoirs of the Tarim Basin, northwest China: Types, features, origins, and implications for the hydrocarbon exploration: Interpretation. *Journal of subsurface characterization*, 2, SF 65-SF90.

32. — ZARAGOZA

FACULTAD DE MEDICINA Y CIENCIAS



Jacques
Hadamard
en Zaragoza

Pedro J. Miana



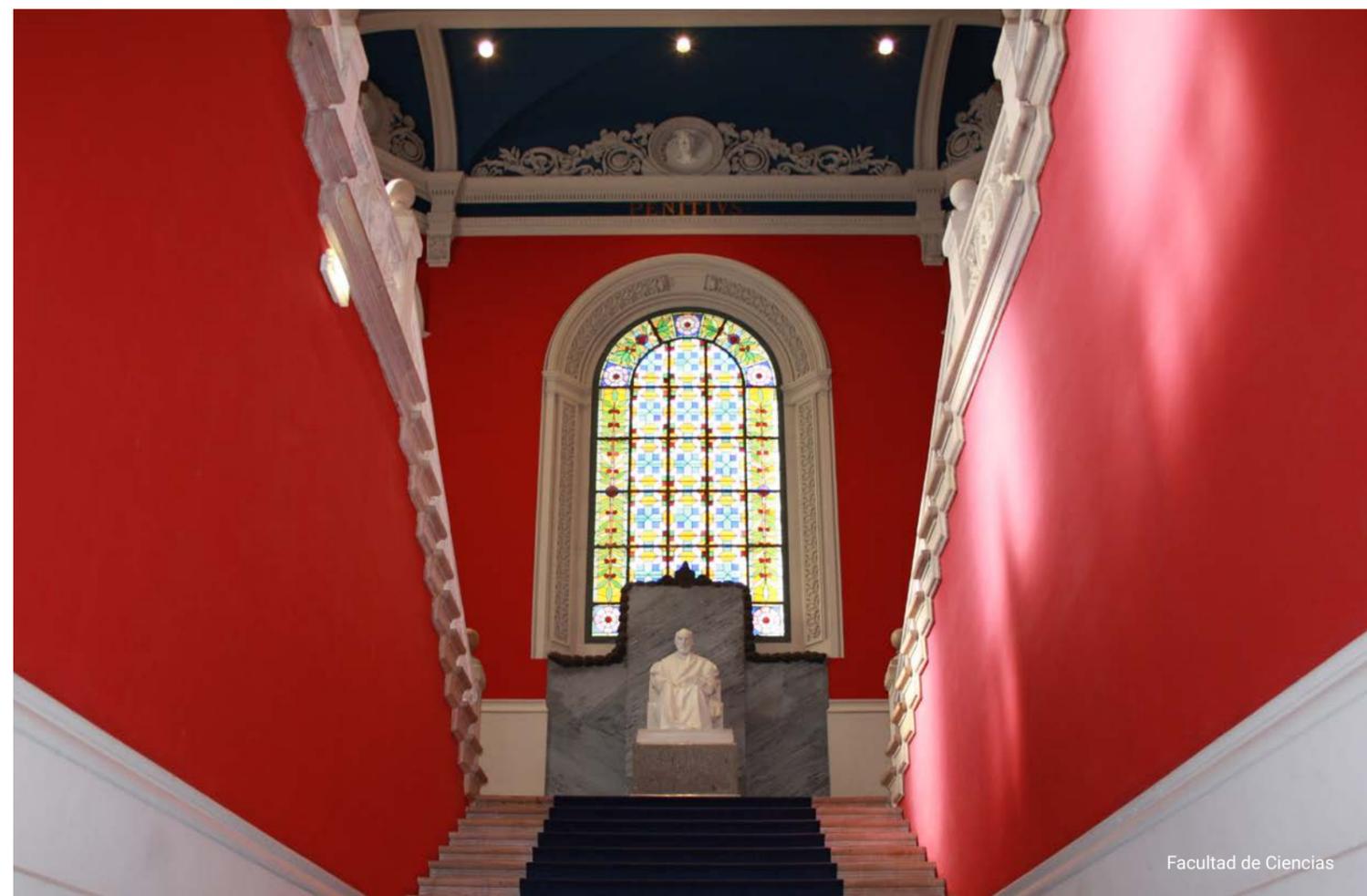
► Jacques Hadamard hacia 1935.

Jacques Salomon Hadamard (1865-1963) es una de las figuras relevantes en la revolución que sufrieron las Matemáticas en el cambio de siglo XIX al XX. Junto a colosos como Henri Poincaré (1854-1912) y David Hilbert (1862-1943), contribuyó notablemente al desarrollo de numerosos campos de las Matemáticas como la teoría de números, las ecuaciones diferenciales o la variable compleja, llegando a publicar más de 400 obras. Entre sus intereses se encontraban la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias o el proceso de la invención científica. Judío y profundamente ateo, se comprometió en la lucha de los derechos humanos, participando en numerosas iniciativas por la justicia, la libertad, los derechos civiles y políticos y la paz, entre ellas en el famoso "caso Dreyfus" y en la creación de la *Ligue des droits de l'homme* (1898).

Jacques Hadamard forma parte de la interesante nómina de científicos extranjeros, quienes invitados por la Facultad de Ciencias y la recién fundada Real Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza (RACZ), se acercaron a nuestra ciudad. La presencia de los catedráticos Zoel García de Galdeano, Antonio de Gregorio-Rocasolano y Jerónimo Vecino permitieron la conexión con investigadores extranjeros de primera línea. Así, en tan apenas ocho años, nos visitaron Charles Henry (1918), Jean Perrin (1919), Jacques Hadamard (1921), Paul Sabatier (1921), Richard Zsigmondy (1922), Albert Einstein (1923) y Heinrich J. Bechhold (1926). Sabatier, Einstein, Zsigmondy y Perrin fueron galardonados con los premios Nobel de Química (1912), Física (1921), Química (1925) y Física (1926), respectivamente. Estos visitantes fueron nombrados Académicos Correspondientes Extranjeros de la RACZ.

En este artículo presentamos algunos detalles de la larga e interesantísima vida de Jacques Hadamard. Nos centraremos en algunos de los detalles de sus tres visitas a España, principalmente la que en abril de 1921 le llevó hasta nuestra Facultad, y de la que se cumple su primer centenario en este año 2021.

Vestíbulo principal del Antiguo Edificio de las Facultades de Medicina y Ciencias de la Universidad de Zaragoza.



Facultad de Ciencias

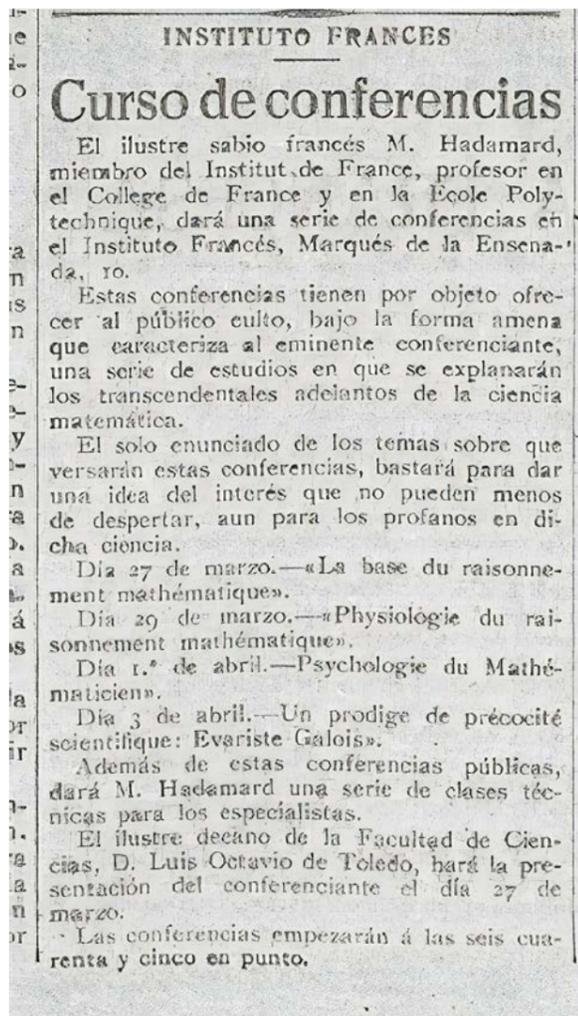
JACQUES HADAMARD, UN MATEMÁTICO UNIVERSAL

El 17 de julio de 1912 fallecía a los 58 años en Paris Henri Poincaré. Desaparecía un genio de las Ciencias Físicas y Matemáticas, y uno de los últimos matemáticos universales. Meses antes, Poincaré había apoyado decididamente a Jacques Hadamard para conseguir la prestigiosa cátedra de Análisis en la École Polytechnique, tras la retirada de Camille Jordan. Aunque pareciera imposible, Hadamard estaba llamado, y lo haría, a ocupar el espacio dejado por el maestro Poincaré en las Matemáticas francesas y mundiales. Así le sucedió en la *Académie des Sciences* en 1912.

Jacques Salomon Hadamard nació en el seno de una familia de origen judío que vivía en las cercanías de París. En la escuela, el joven Jacques sobresalía en todas las materias, excepto en aritmética. Como suele ser habitual, el encuentro con un buen profesor en el quinto curso del Lycée Charlemagne, le recondujo a las Matemáticas y a las Ciencias. En 1884 Hadamard realizó **los exámenes de acceso** en la École Polytechnique y École Normale Supérieure, siendo el primero en ambas pruebas. Durante sus años de doctorado, trabajó como profesor en el Liceo Buffon donde tuvo como alumno a un joven de 12 años Maurice René Fréchet, percibiendo en él un gran talento matemático. Dieciséis años más tarde, Fréchet se convirtió en su primer alumno doctorado. Por su parte, Hadamard se doctoró en 1892 bajo la dirección de Émile Picard y Jules Tannery con una memoria titulada, *Essai sur l'étude des fonctions données par leur développement de Taylor*.

Hadamard trabajó incansablemente en numerosas áreas de la Física, de las Matemáticas, de la enseñanza y de la historia de estas ciencias. Motivado por el tema de su tesis, se inició en la teoría de las funciones analíticas, en particular en la teoría de singularidades. Posteriormente, usando variable compleja atacó varios problemas abiertos en teoría analítica de números. En 1896 probó el Teorema del Número Primo. Este afirma que el número de primos menor que n es del orden $n/\log(n)$ cuando n tiende a infinito. También colaboró en la Axiomatización de las Matemáticas, en el nacimiento del Análisis Funcional así como en la Teoría de Conjuntos y en la Topología, influyendo en la obra de L.E.J. Brouwer.

Pero si en un campo sobresalió el genio de Hadamard, y del que se sintió responsable, ese fue en el mundo de las ecuaciones diferenciales y en derivadas parciales. Probó en 1908 un precedente a la desigualdad de



La Correspondencia de España (27/03/1919).

“A parte de dos cursos para especialistas, Jacques Hadamard participó en una serie de conferencias científicas organizadas en el Instituto Francés, creado en 1910.”

Gagliardo-Nirenberg, modelizó el desplazamiento de las ondas superficiales o el de una gota en un líquido viscoso. Introdujo la noción de ecuaciones bien planteadas en sentido de Hadamard, estudió el problema de Cauchy para ecuaciones hiperbólicas, así como el principio de Huygens. Dio su nombre a las matrices y al producto de Hadamard, al teorema de Cauchy-Hadamard y a la pseudo-transformada de Hadamard, que se usa en criptografía.

JACQUES HADAMARD EN MADRID (1919) Y EN BARCELONA (1921)

El Laboratorio y Seminario de Matemáticas (LSM) dirigido por el riojano Julio Rey Pastor (1888-1962), catedrático de la Universidad Central, inició su andadura, más o menos formal en 1915, con el respaldo de la Junta

para la Ampliación de Estudios (JAE). En un contexto de intercambio y apertura internacional se produce la invitación de Rey Pastor y la posterior visita de Jacques Hadamard a Madrid en marzo y abril de 1919.

En el volumen 2 del Tomo I de la recién fundada Revista Matemática Hispano-Americana dirigida por Rey Pastor, se incluye un anuncio titulado **“Curso de M. Hadamard en Madrid”**. Se afirma *“De gran acontecimiento la próxima venida del gran analista francés”*. Dictará un curso sobre la *“Teoría de las ecuaciones diferenciales, a partir de las investigaciones de Poincaré.”*

En la portada del siguiente volumen se incluye un retrato dedicado (*“Souvenir d'une inoubliable visite a l'Espagne”*) de Jacques Hadamard y a continuación un artículo de



NOMBRE *Jacques Hadamard* 5242 Carpeta N.º
 DOMICILIOS *Membre de l'Institut* Archivo N.º
25, rue Humboldt. Paris
 Trabajos

RELACIONES CON ESTA JUNTA
Profesor de Matemáticas. Dio
curso en el Laboratorio de
Ray Pastor. Hombre muy inteli-
gente. - Ju dio

REVISTA MATEMÁTICA
 HISPANO-AMERICANA
 TOMO I MARZO DE 1919 N.º 3



Souvenir d'une inoubliable
visite à l'Espagne
J. Hadamard

MÉMOIRES
 PRÉSENTÉS PAR DIVERS SAVANTS
 À L'ACADÉMIE DES SCIENCES
 DE L'INSTITUT NATIONAL DE FRANCE.
 TOME XXXIII. — N.º 4.

MÉMOIRE
 SUR
 LE PROBLÈME D'ANALYSE
 RELATIF À L'ÉQUILIBRE
 DES
 PLAQUES ÉLASTIQUES ENCASTRÉES,
 PAR
 M. JACQUES HADAMARD.

Dans le présent mémoire, j'ai principalement en vue l'étude de la loi suivant laquelle varient les diverses quantités qui interviennent dans la détermination des fonctions biharmoniques lorsqu'on fait varier la forme du domaine qui les engendre.

Les problèmes fondamentaux relatifs à l'équation $\Delta\Delta V = 0$ et aux équations connexes $\Delta\Delta V - IV = 0$ peuvent être regardés comme résolus en principe par la théorie des équations intégrales de MM. Fredholm et Hilbert. Celle-ci permet d'établir, pour toute aire plane S, limitée par un contour C sur lequel les coordonnées x

Sav. étranger. t. XXXIII. — N.º 4.

A. Ficha de Jacques Hadamard. Archivo de la Secretaría de JAE. Residencia de Estudiantes. Madrid.
 B. Revista Matemática Hispano-Americana, marzo de 1919.
 C. Sur le problème d'analyse. Biblioteca García de Galdeano. Universidad de Zaragoza.

15 páginas sobre el sabio francés. Un informe de esta visita se encuentra en la Memoria correspondiente a los años 1918 y 1919 de la JAE, a la que se dedica el siguiente párrafo:

En el año 1919 dio el Profesor del Collège de France y de la Escuela Politécnica de Paris Monsieur Hadamard, invitado por la Junta, dos cursos breves de gran valor e intensidad, sobre las transformaciones puntuales de los espacios, y sobre Ecuaciones en derivadas parciales. Estas lecciones fueron seguidas por los profesores y alumnos del Laboratorio y Seminario matemático y por muy pocas personas más.

A parte de estos dos cursos para especialistas, Jacques Hadamard participó en una serie de conferencias científicas organizadas por el Instituto Francés en Madrid creado en 1910 y que se localizaba (ayer y hoy) en la madrileña calle de Marqués de la Ensenada.

Hay una anécdota que se recoge en la biografía no publicada de Jacqueline Hadamard, hija de Jacques. Su padre tenía una especial facilidad para los idiomas a los que unía una excelente memoria fotográfica. Capaz de citar textos completos en Latín y Griego, desde niño hablaba Inglés y Alemán. Según cuenta Jaqueline, se sentía especialmente orgulloso por haber sido capaz de dar la última conferencia en español en su primera visita a España.

En realidad, la visita de Jacques Hadamard en 1919 inicialmente era doble. Hadamard fue invitado por Esteve Terradas e Illa (1883-1950) a participar en los "Cursos Monográficos d'Alts Estudis i d'Intercanvi" organizado por la Dirección de Instrucción Pública, el Instituto de Estudio Catalanes (IEC) y el Consell de Pedagogia en Barcelona. No obstante, el clima de inseguridad y violencia que se vivía en la Ciudad Condal en la primavera de 1919, motivado por la llamada "Huelga de La Canadiense", obligaron a posponer la visita.

Desde el 7 y hasta al menos el 16 de abril de 1921, Hadamard estuvo en Barcelona impartiendo el curso "Poincaré i la teoria de les equacions diferencials", incluido en la octava edición de los Cursos Monográficos de Altos Estudios y dando además dos conferencias divulgativas "Le repérage par le son" en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona y "Un mathématicien de génie: Evariste Gallois" en la Academia de Ciencias de Barcelona.

JACQUES HADAMARD EN ZARAGOZA (1921)

Seguramente el domingo 17 o a lo más tardar el lunes 18 de abril, Hadamard viajaría por tren desde Barcelona a Zaragoza. En ese momento existían dos líneas de tren diferentes que unían ambas capitales. La primera realizaba el trayecto Barcelona-Zaragoza-Madrid y se detenía en la estación Campo Santo Sepulcro y la segunda cubría el trayecto Barcelona-Zaragoza-Bilbao deteniéndose en la estación del Norte de la capital aragonesa. Desconocemos cuál fue la elegida por Hadamard.

La llegada de Jacques Hadamard a Zaragoza debe entenderse en el contexto especial que vivían las Matemáticas en esta ciudad. La incansable labor por difundir esta ciencia y crear contactos nacionales y extranjeros, que durante 40 años el catedrático de Análisis Matemático de la Universidad de Zaragoza, Zoel García de Galdeano (1856-1924) había realizado, estaba dando sus frutos, aunque fuera algunos años después de su jubilación académica acaecida en 1918.



Zoel García de Galdeano, hacia 1910.

Jacques Hadamard y Zoel García de Galdeano coincidieron en los numerosos congresos internacionales que ambos acudían. Se tienen confirmadas las participaciones de ambos en los Congresos Internacionales de Matemáticos (ICM) de Zürich (1897), París (1900), Heildelberg (1904), Roma (1908), Cambridge (1912) y Estrasburgo (1920), un año antes de la visita a Barcelona y Zaragoza.

En el fondo antiguo de la Biblioteca de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, llamada Biblioteca García de Galdeano, se conservan importantes publicaciones de Jacques Hadamard del periodo (1892-1910), seguramente adquiridas por el propio García de Galdeano. Así destacamos las siguientes:

- *Essai sur l'étude des fonctions données par leur développement de Taylor* (1892), tesis doctoral de Jacques Hadamard.
- *Étude sur les propriétés des fonctions entières et en particulier d'une fonction considérée par Riemann* (1893); memoria premiada por la Academia de Ciencias de Francia con el Gran Premio de las Ciencias Matemáticas (1892).
- *Sur le problème d'analyse relatif a l'équilibre des plaques élastiques encastrees* (1908); memoria premiada por la Academia de Ciencias de Francia con el Premio Vaillant (1907).

Hasta ahora era desconocida la visita de Hadamard a Zaragoza. Algunos detalles son simplemente conjeturas. Seguramente se alojaría en el ya desaparecido Hotel Universo y Cuatro Naciones, en la calle Don Jaime 32. Dos años más tarde este hotel acogería a su huésped más famoso, Albert Einstein, también invitado por la Real Academia de Ciencias de Zaragoza.

“Jacques Hadamard y Zoel García de Galdeano coincidieron en los numerosos congresos internacionales.”

En la primera página del Heraldo de Aragón del miércoles 20 de abril de 1921, Jerónimo Vecino firmaba la crónica de la primera conferencia de Jacques Hadamard en Zaragoza. Este precisamente es el título del artículo. A continuación, reproducimos parte de su contenido para ilustrar el carácter divulgativo de la misma.

Primera conferencia de Mr. Hadamard

En la sala de Conferencias de la Facultad de Medicina y Ciencias, ha dado el eminente matemático francés Mr. Hadamard su primera conferencia.

Fue presentado el conferenciante por el insigne profesor D. Zoel García de Galdeano, que hizo resaltar la brillante labor científica realizada por el sabio catedrático: para darnos cuenta de esta labor, basta decir que pasan de 150 las memorias publicadas por el insigne profesor del Colegio de Francia.

Empieza luego su conferencia Monsieur Hadamard desarrollando el tema “Geometría de guerra, “reperage” por el sonido”.(...) .

El problema principal de la artillería es fijar de una manera precisa la posición del enemigo, es preciso para eso fijar la distancia y la dirección. (...) El problema se complica cuando se trata de fijar la posición de un punto, el emplazamiento de un cañón por ejemplo que no se ve. Se recurre entonces a las ondas sonoras.

Sabido es que el sonido recorre 340 metros por segundo. Supongamos que en dos puntos A y B, separados por una distancia de 340 metros se colocan dos observadores, y que el punto que emite las ondas sonoras, el cañón por ejemplo, está muy lejos: entonces el frente de onda que llega a los observadores A y B, es plano.

Si la onda llega en la dirección de la recta AB, el tiempo transcurrido por la onda en ir de A a B será un segundo; si la onda es perpendicular a AB ese intervalo será “cero” segundos, y si este intervalo fuera de medio segundo, esto indicaría que el frente de onda recorrería al ir de A a B 170 metros, lo que equivale a decir que la dirección del sonido, es decir la del cañón que lo emite forma con la recta AB un ángulo de 60 grados.(...) .

“En el Heraldo de Aragón del miércoles 20 de abril de 1921, Jerónimo Vecino firmaba la crónica de la primera conferencia de Jacques Hadamard en Zaragoza.”

Dos días más tarde, el viernes 22 de abril de 1921, en la segunda página del Heraldo de Aragón se encuentra una segunda crónica de Vecino sobre la segunda conferencia de Hadamard. Como ya hemos comentado esta misma conferencia había sido impartida en el Instituto Francés de Madrid en 1919 y en la Academia de Ciencias de Barcelona la semana anterior.

Heraldo de Aragón (20/04/1921).



Segunda conferencia de Mr. Hadamard

“Un prodigio de precocidad científica. Evaristo Galois”, era el título de la segunda conferencia que Mr. Hadamard debía dar en nuestra Facultad de Ciencias.

Nació Galois en 1811 y murió en 1832 cuando apenas contaba 20 años. A los 12 años entró en el liceo “Luis le Grand”. Durante el primer año de sus estudios, Galois fue un alumno que no se distinguió de la generalidad de sus condiscípulos (...)

Una intriga amorosa se interpuso en el camino del Genio que produjo la catástrofe final. Aquel joven matemático murió en el duelo víctima de la coquetería femenina. En la noche que precedió al duelo, recopila manuscritos que envió a un íntimo amigo Chevalier. Al final de aquellas notas que catorce años más tarde habían de ser el asombro del mundo entero escribió estas palabras: “no tengo tiempo para más”. Una hora más tarde Galois dejaba de existir.

Al examinar aquellas notas, muchos de cuyos párrafos eran indescifrables, se vio que en ellas estaba encerrada toda el álgebra moderna. La teoría de Galois va directamente al fondo de los problemas y dice lo que hay que hacer, lo que se puede hacer y lo que nunca se podrá hacer. Abel y Ruffini demostraron la imposibilidad de hallar la resolución general de la ecuación de quinto grado, pero Galois abarca el problema en toda su generalidad aplicándole a todas las ecuaciones, quedando perfectamente resuelto el problema al saber cuándo es posible y cuando imposible. (...)

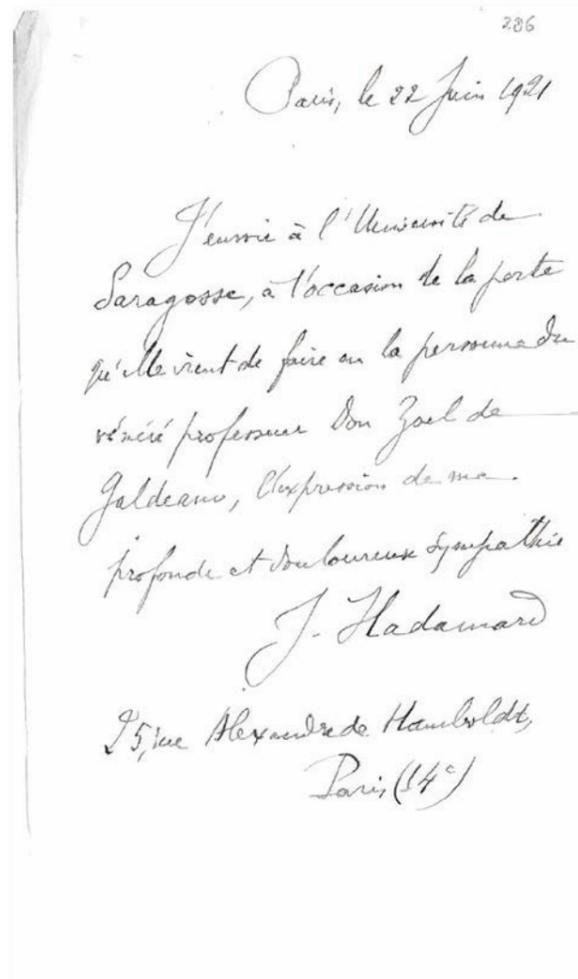
J. Vecino

Al día siguiente, 23 de abril de 1921 (San Jorge), se recoge en las Actas de la Junta de la Facultad la visita de J. Hadamard (y sobre todo el pago del gasto realizado) en el siguiente párrafo.

Dada cuenta de la explicación de cursillos especiales de ampliación por los profesores Sres. García de Galdeano, de Gregorio, Ferrando, Vecino y Pineda, se acuerda la distribución entre ellos de las 3500 pesetas recibidas, después de separados el 13 por 100 de impuestos y habilitación, y 409 pesetas importe de los programas y de otros gastos ocasionados por la visita del ilustre matemático M. Hadamard, que explicó en esta Facultad dos conferencias (...)

“En el Archivo Histórico de la Universidad de Zaragoza se localiza una carta de pésame por la pérdida del “vénéré professeur” enviada por J. Hadamard a la Universidad.”

Carta de Jacques Hadamard. Archivo Histórico. Universidad de Zaragoza.



En la Junta de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza de fecha 13 de mayo de 1921 se nombró a Jacques Salomon Hadamard Miembro Correspondiente Extranjero por la Sección de Exactas y a Paul Sabatier profesor de Toulouse y Premio Nobel de Química 1912 por la de Físico-Químicas, sin aportar más detalles. En la Memoria Reglamentaria del año 1921 recogida en el tomo VI de la Revista de la Academia de Ciencias, su secretario Manuel Lorenzo Pardo escribe.

El número de los correspondientes nacionales y extranjeros, limitado también reglamentariamente, se ha enriquecido con los nombres prestigiosos de Reverendo e Ilustrísimo Fr. Zacarías Martínez Núñez, Obispo de Huesca, cuyo título le fue entregado con ocasión de su memorable conferencia como público tributo de admiración sincera y de gratitud cordial, y con los de Mr. Hadamard, ilustre matemático, Profesor del Collège de France y Mr. Sabatier, Decano de la Facultad de Ciencias de Toulouse.

Es anecdótico señalar que, en la siguiente memoria correspondiente al año 1922, ninguno de los dos aparece en la nómina de Académicos Correspondientes Extranjeros. En cambio, en 1923, sus nombres son incluidos, aunque se data el ingreso de Hadamard el 13 de mayo de 1922 y el de Sabatier el 13 de mayo de 1921, error que persiste en memorias posteriores.

En la publicación *Revue Internationale de l'enseignement*, del año 1922, se incluye el artículo *L'Institut français en Espagne pendant l'anne scolaire 1920-1921*. Jacques Hadamard aparece en los listados de conferenciantes traídos a Zaragoza, afirmando que la conferencia “Le repérage par le son” constituyeron dos lecciones en la Facultad de Ciencias.

En el expediente personal de Zoel García de Galdeano en el Archivo Histórico de la Universidad de Zaragoza se localiza una carta de pésame por la pérdida del “vénéré professeur” enviada por J. Hadamard a la Universidad de Zaragoza y fechada el 22 de junio de 1921. García de Galdeano falleció el 28 de marzo de 1924, así pues, Hadamard cometió un pequeño lapsus en el año, confirmando su famoso carácter despistado.

Después de las visitas de 1919 y 1921, Jacques Hadamard mostró su apoyo a varias iniciativas españolas, algunas de ellas durante la Guerra Civil. La tercera vez que regresó a España fue en el verano de 1941, huyendo de los nazis. La ocupación de Francia por los alemanes

en 1940 hizo huir a la familia Hadamard a Toulouse. Al conseguir una invitación de la Universidad de Columbia para impartir unos cursos, pudieron solicitar los visados necesarios para entrar en Estados Unidos. Jaqueline Hadamard relata en sus memorias el viaje de la familia a España para tomar en Lisboa el barco que les conduciría a América. Continuaba así una de las vidas matemáticas más intensas del siglo XIX y XX.

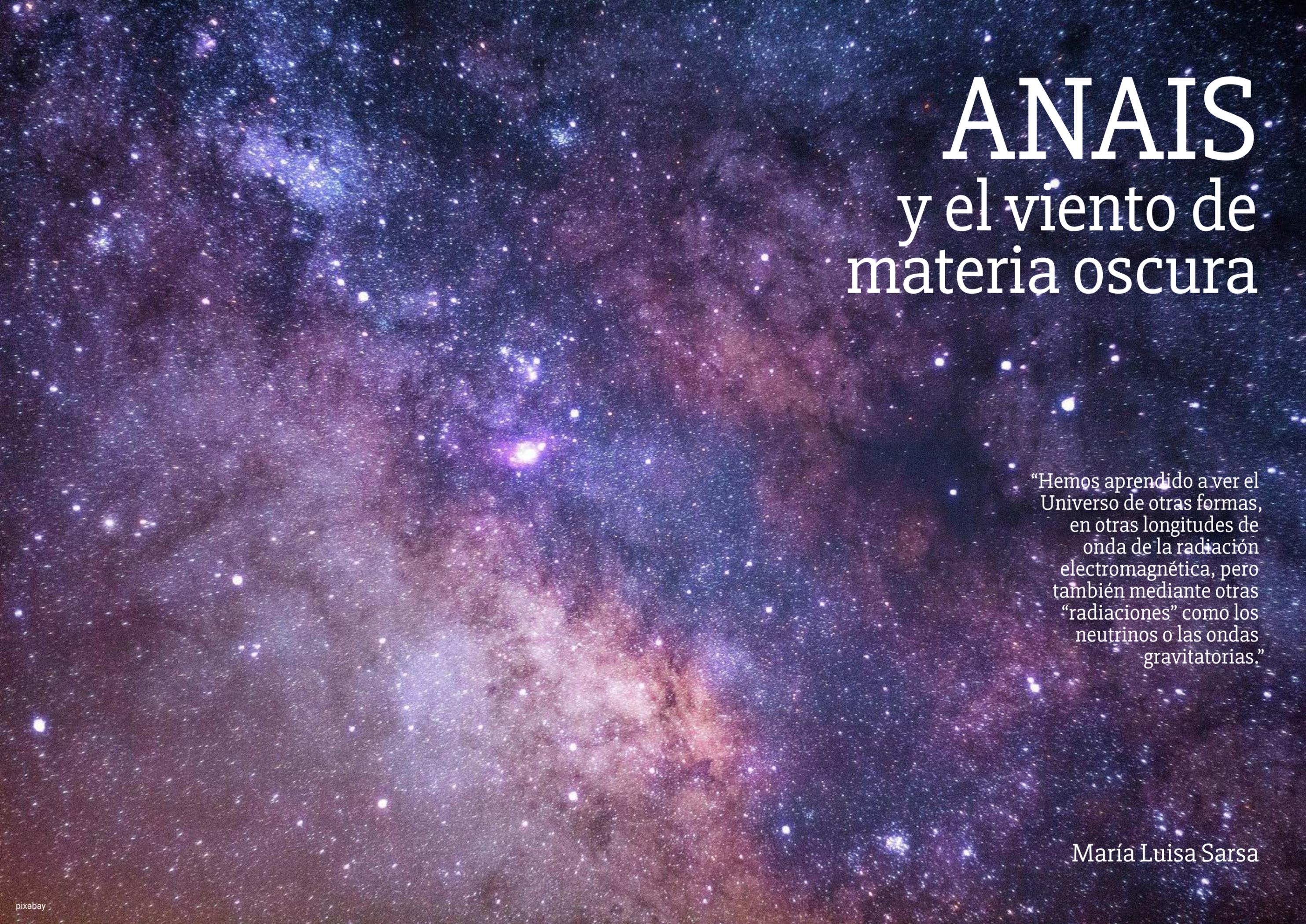
AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Chelo Nebra, Eva Noriega, Luis Español, Antonio Oller y Javier Turrión las ayudas prestadas para la realización de este artículo.

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

BIBLIOGRAFÍA

- Vladimir Maz'ya y Tatyana Shaposhnikova. *Jacques Hadamard, A Universal Mathematician*. History of Mathematics, vol. 14; American Mathematical Society, 2000.
- Elena Ausejo y Ana Millán. *La Organización de la Investigación Matemática en España en el Primer Tercio del siglo XX: el Laboratorio y Seminario Matemático de la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (1915-1938)*. Llull, vol. 12, (1989), 261-308.
- Varios Autores. *Academia de Ciencias de Zaragoza. Un Siglo de Servicio a la Sociedad*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza, 2016.



ANAIS

y el viento de materia oscura

“Hemos aprendido a ver el Universo de otras formas, en otras longitudes de onda de la radiación electromagnética, pero también mediante otras “radiaciones” como los neutrinos o las ondas gravitatorias.”

María Luisa Sarsa



EL UNIVERSO INVISIBLE

El Universo que vemos con nuestros ojos es una parte muy pequeña del Universo que hay ahí afuera, solo la que emite radiación electromagnética en el rango de longitudes de onda comprendidas entre 400 y 700 nanómetros. Sin embargo, hemos aprendido a ver el Universo de otras formas, en otras longitudes de onda de la radiación electromagnética, pero también mediante otras “radiaciones” como los neutrinos o las ondas gravitatorias. Por supuesto, para ello ha sido preciso desarrollar instrumentos diferentes de los tradicionales telescopios ópticos construyendo, por ejemplo, “telescopios de neutrinos”, que aprovechan como medio de detección el hielo del Polo Sur o el fondo del mar Mediterráneo, y precisos interferómetros que aprecian las diminutas oscilaciones del espacio que produce una onda gravitatoria a su paso.

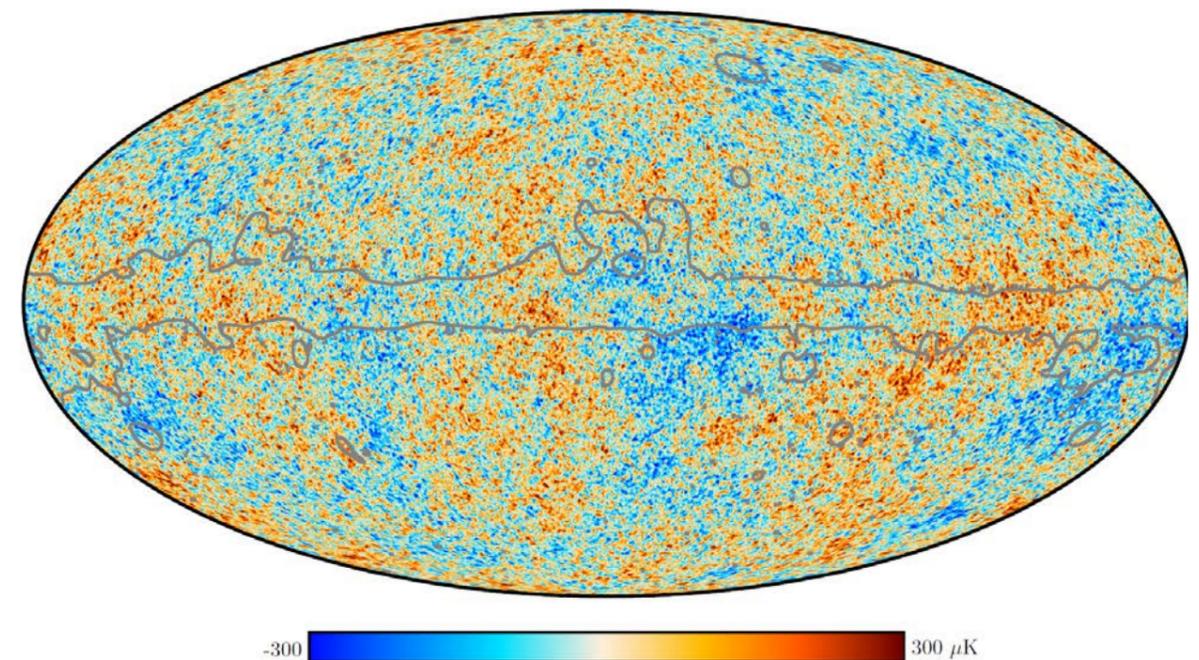
La dinámica de las galaxias y los cúmulos de galaxias solo puede ser entendida si consideramos que el Universo está dominado por una componente invisible de materia, que no emite ni absorbe radiación electromagnética, pero sí interacciona gravitatoriamente con el resto de los contenidos del Universo. Su naturaleza no ha sido dilucidada todavía, pese a los enormes esfuerzos realizados para ello. Las partículas que conocemos y que integran el modelo estándar de la Física de Partículas no proporcionan candidatos adecuados para explicar esta materia oscura, uno de los rompecabezas que afrontan la Física de Partículas, la Cosmología y la Astrofísica.

EL UNIVERSO PRIMITIVO

Al intentar observar los confines del Universo estamos mirando hacia su pasado. La luz que nos llega de las galaxias más lejanas fue emitida hace unos 13 mil millones de años. Pero todavía podemos ver más atrás, tenemos una foto de este Universo primitivo, con solo 380.000 años de edad, la que nos proporciona la radiación cósmica de fondo de microondas. Esta radiación nos muestra una instantánea de un acontecimiento fundamental en la evolución del Universo que

tuvo lugar cuando su temperatura bajó de 3000K, la recombinación de los núcleos positivos y los electrones formando átomos neutros. Esta recombinación produjo como consecuencia el desacople de una gran cantidad de fotones, para los que el Universo pasó de ser opaco a transparente de forma brusca y que, desde entonces, llenan el Universo, viniendo de todas las direcciones y enfriándose conforme este se expande. Su temperatura ha sido medida con increíble precisión, 2.7K, algo menos de 270 grados centígrados bajo cero. Se puede decir que esa es la temperatura de nuestro Universo en la actualidad. Las fluctuaciones en la temperatura de dichos fotones se corresponden con las de la densidad de materia en ese momento en el Universo, que amplificadas por la gravedad permitieron después la formación de las galaxias y los cúmulos de galaxias que observamos en el Universo actual. No cualquier modelo de Universo reproduce el detalle de toda la información que se puede extraer de las medidas de esta radiación cósmica de fondo.

Pero podemos mirar todavía más atrás, incluso llegar a la época de la que no nos puede llegar ninguna luz. La composición del Universo actual (75% de hidrógeno,



El mapa de fluctuaciones en la temperatura de la radiación cósmica de fondo de microondas medido por los instrumentos de la misión Planck de la ESA, 2018. Crédito: ESA and the Planck Collaboration.

24% de helio y 1% del resto de elementos) es resultado de procesos nucleares bien conocidos que dieron lugar a la formación de los núcleos ligeros en los tres primeros minutos tras el Big Bang. Los cálculos de la nucleosíntesis primordial predicen con precisión la cantidad de protones y neutrones necesarios para reproducir las abundancias observadas hoy para esos núcleos ligeros, confirmando que hace falta otro tipo de materia, desconocida, para explicar la que nos falta en los cúmulos de galaxias y en las galaxias.

EL MODELO DE UNIVERSO Λ CDM

Hemos ido componiendo a lo largo del último tercio del siglo XX y el comienzo del siglo XXI un puzzle sorprendente del Universo, combinando información de todas las épocas de su evolución, escalas de distancias, y obtenida con técnicas muy diferentes. En el modelo cosmológico Λ CDM encajan todas estas observaciones de una forma satisfactoria, salvo por el pequeño detalle de que un 68% del Universo está en forma de una energía

desconocida, la energía oscura, y el resto se reparte en un 27% de materia desconocida e invisible, la “materia oscura”, y nada más que un 5% es la materia ordinaria, “bariónica”, que forma todo lo que conocemos.

Aunque la concordancia de tantos indicios en el marco de este modelo se ha visto como una de sus fortalezas, no tenemos que olvidar que cualquier teoría o modelo es siempre provisional, todos los nuevos datos que se vayan recabando deben estar de acuerdo con sus predicciones para que su validez se mantenga. La ciencia debe investigar las dos opciones: nuevas leyes para el mundo físico, y por lo tanto un nuevo marco cosmológico en el que interpretar todas las evidencias, o materia y energía que hasta ahora habíamos sido incapaces de detectar.

LA NATURALEZA DE LA MATERIA OSCURA

Para explicar todas las evidencias acumuladas a favor de la existencia de materia oscura, la solución más sencilla sobre su posible naturaleza ha sido considerar



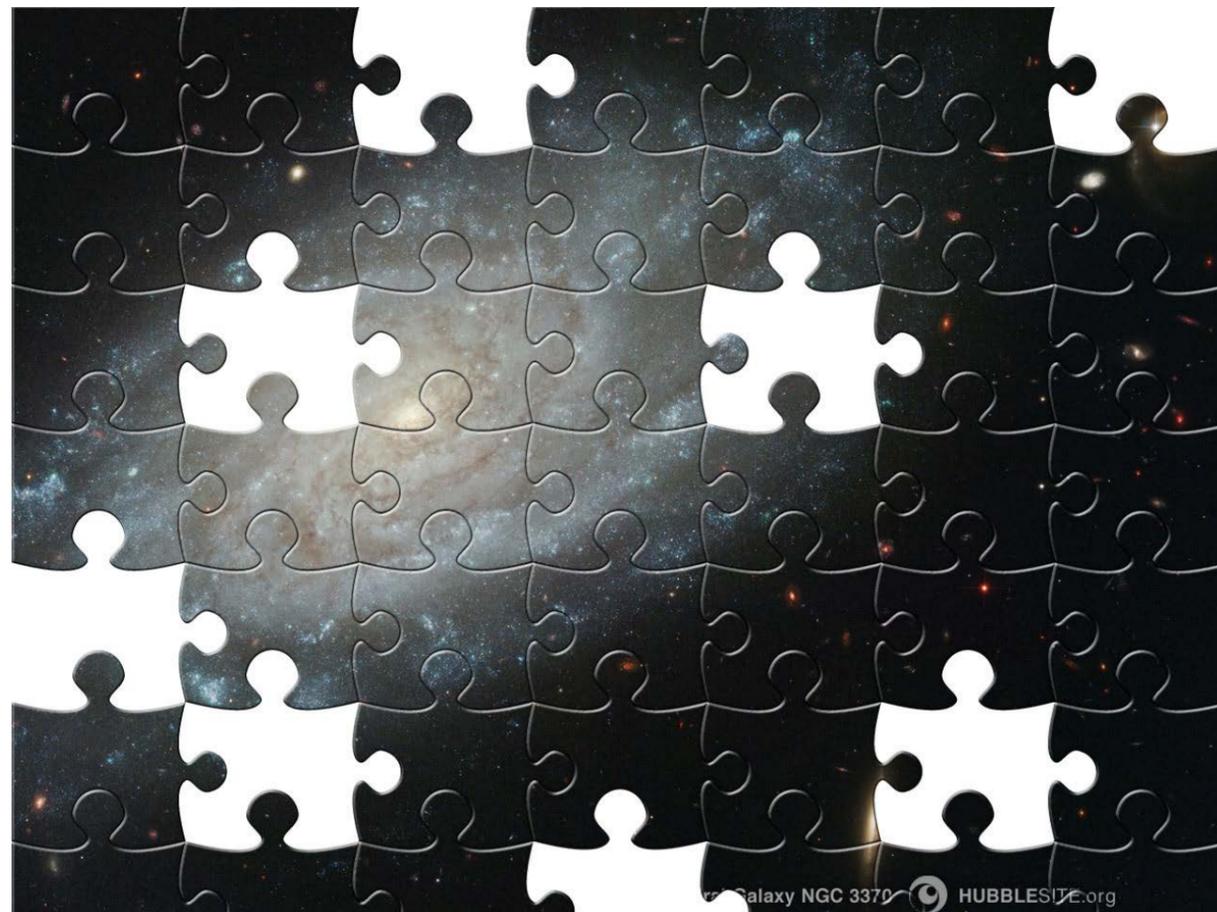
Mapa que muestra los laboratorios subterráneos más importantes. Hay también instalaciones subterráneas en Finlandia, Rusia, Ucrania y planes en curso para construir otras nuevas en India, Australia y Sudamérica. Imagen cedida por S. Cebrián.

que consiste en una o varias nuevas partículas, fuera del modelo estándar, que surgen de forma natural en muchas de las teorías propuestas en el ámbito de la Física de Partículas para ir más allá de este modelo, y no necesariamente para resolver el problema de la materia oscura. Destacan los axiones y los WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles, partículas masivas que interactúan débilmente). Por supuesto, existen otros candidatos que también se investigan, aunque con estrategias diferentes, como los agujeros negros primordiales o los agregados de quarks.

LA DETECCIÓN DIRECTA DE LOS WIMPs

Los WIMPs constituyen una categoría de candidatos a materia oscura fuertemente motivada. Si existieran, podríamos detectarlos de distintas maneras porque se acoplan, aunque muy débilmente, a la materia normal. En la detección directa se investiga la interacción de estos WIMPs con los núcleos de un detector adecuado. Se requiere disponer de detectores muy sensibles, capaces de identificar los pequeños y poco frecuentes depósitos de energía que producirían estas partículas y, por lo tanto, desarrollar estrategias para aislar bien los detectores de todas las posibles radiaciones que pudieran interferir en la detección.

“Las instalaciones del Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) se encuentran bajo 800 metros de roca, equivalentes a 2450 metros de agua.”



En primer lugar, hay que apantallar la contribución de la radiación cósmica, que baña la superficie terrestre con cascadas de partículas secundarias, generadas cuando una única partícula de origen cósmico y muy energética interacciona con los átomos de la atmósfera. Las instalaciones del Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) se encuentran bajo 800 metros de roca, equivalentes a 2450 metros de agua, y el Tobazo hace de paraguas que protege a los detectores que se alojan en el LSC de esta lluvia cósmica. Pero, además, todo es radiactivo: las rocas que nos rodean, la materia orgánica, el aire y el agua. Debemos protegernos de todas las radiaciones mediante blindajes adecuados que, sin embargo, son prácticamente transparentes, como también lo es la montaña, a los WIMPs.

EL EXPERIMENTO ANAIS EN EL LABORATORIO SUBTERRÁNEO DE CANFRANC

El experimento ANAIS está tomando datos desde agosto de 2017 en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc. Consiste en 9 módulos de detección de yoduro de sodio dopado con talio. El yoduro de sodio emite pequeños destellos cuando una partícula interacciona en él. Mediante tubos fotomultiplicadores de muy alta

“El experimento ANAIS está tomando datos desde agosto de 2017 en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc. Consiste en 9 módulos de detección de yoduro de sodio dopado con talio.”

Montaje experimental de ANAIS-112 en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc. Son nueve módulos de yoduro de sodio de 12.5 kg cada uno, rodeados (de dentro hacia fuera) por 10 cm de plomo arqueológico, 20 cm de plomo de baja actividad, una caja hermética que evita la entrada de aire del laboratorio y se mantiene bajo sobrepresión de nitrógeno gas, libre de radón, 16 plásticos centelleadores que actúan como veto activo contra el flujo residual de muones que alcanza el laboratorio y 40 cm de agua y polietileno para moderar los neutrones.

eficiencia cuántica acoplados ópticamente al cristal se puede medir con gran precisión la luz producida. ANAIS-112 consiste en 112.5 kg de material sensible protegido de las distintas formas de radiación ambiental por un blindaje adecuado.

ANAIS estudia el viento de materia oscura. En su movimiento acompañando al Sol alrededor del centro de la galaxia, la Tierra, y con ella los detectores de ANAIS, suman o restan su velocidad a la del Sol de forma periódica. Si nuestra galaxia tiene una componente de partículas de materia oscura, al movernos a través de ella deberíamos ver cambiar el ritmo de interacción de dichas partículas con nuestros detectores con periodicidad anual a causa del cambio en la velocidad relativa.

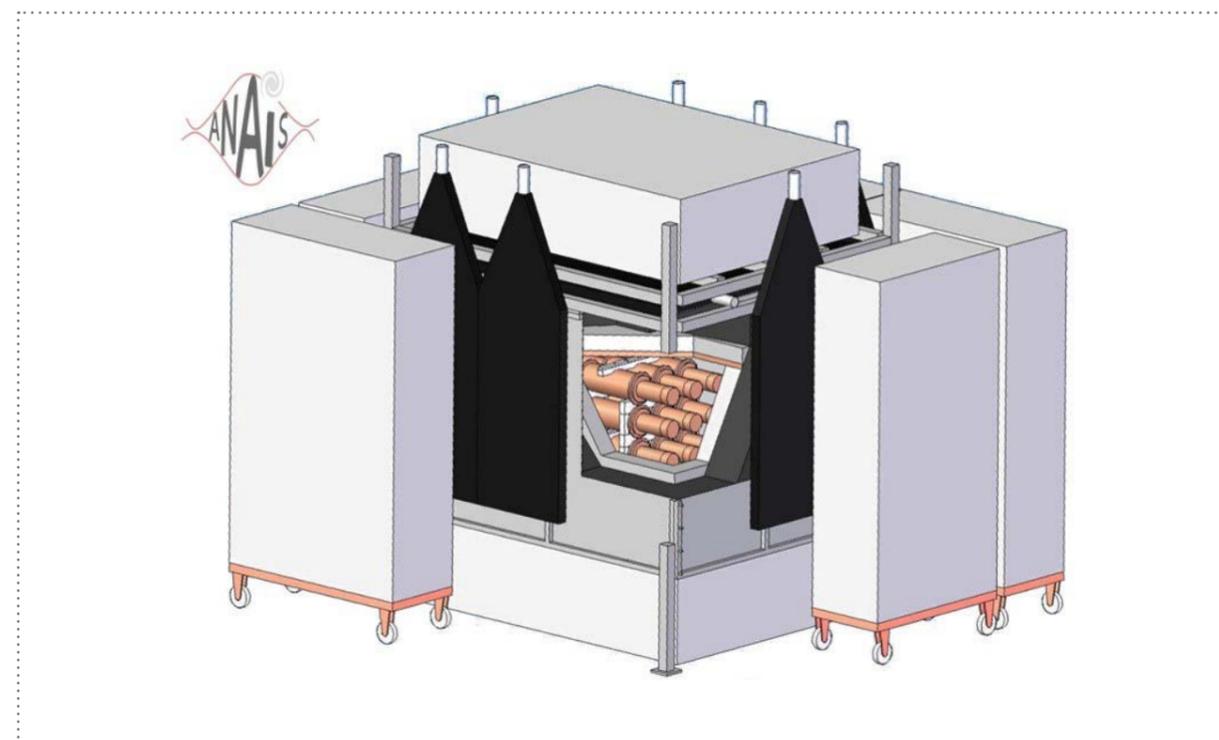
Este efecto ha sido aparentemente observado por un experimento, DAMA/LIBRA, en el Laboratorio Nacional del Gran Sasso, en Italia, a lo largo de 20 años: observan una modulación en los datos de sus detectores de yoduro de sodio exactamente como la que se espera que produzcan las partículas de materia oscura. Sin embargo, otros muchos experimentos con mayor sensibilidad son incompatibles con este resultado y la comunidad científica no lo ha aceptado como prueba de la detec-

ción directa de la materia oscura galáctica. Ninguno de estos otros experimentos ha utilizado el mismo material como detector, el yoduro de sodio y, por ello, la comparación de los resultados depende del modelo de materia oscura considerado.

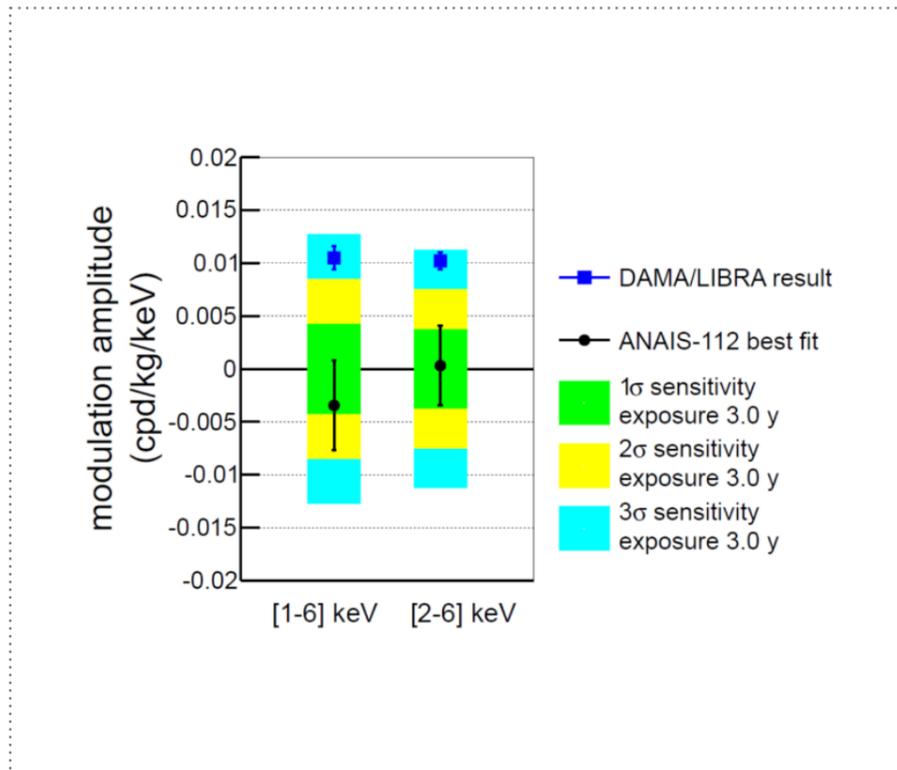
Varios equipos internacionales tienen como objetivo confirmar o refutar la modulación observada por DAMA/LIBRA con el mismo material para reducir al máximo las incertidumbres que se derivan de nuestro desconocimiento de las propiedades de la materia oscura. Por el momento ANAIS va con ventaja, ya ha publicado los resultados del análisis correspondiente a tres años de datos. Los datos son compatibles con la ausencia de modulación y con dos años más de medida se podrá poner ya a prueba el resultado de DAMA/LIBRA con una sensibilidad de tres desviaciones estándar.

EPÍLOGO

Más allá del problema concreto que intenta resolver ANAIS, es importante remarcar que la Ciencia debe ser reproducible y que no es bueno dejar por el camino experimentos o resultados que no se entienden o no encajan en el marco de las teorías dominantes. Por



◀ **Detalle de uno de los módulos de ANAIS en el proceso de acoplamiento al fotomultiplicador de alta eficiencia cuántica en la sala limpia del Laboratorio Subterráneo de Canfranc.**



Resultados de 3 años de toma de datos de ANAIS-112 en términos de modulación. El resultado en las dos ventanas de energía analizadas (círculos negros) es compatible con la ausencia de modulación e incompatible con la modulación observada por DAMA/LIBRA (cuadrados azules).

BIBLIOGRAFÍA

- Resultados de DAMA/LIBRA: Bernabei, R. et al. (2018) "First model independent results from DAMA/LIBRA-phase2", Nuclear Physics and Atomic Energy vol. 19, issue 4: 307-325
- Resultados de ANAIS: Amaré, J. et al (2021) "Annual modulation results from three-year exposure of ANAIS-112", Phys. Rev. D 103, 102005
- Amaré, J. et al. (2019) "First results on dark matter annual modulation from ANAIS-112 experiment", Physical Review Letters 123: 031301.

Otros artículos de divulgación sobre la detección de Materia Oscura y el experimento ANAIS:

- García, E, Sarsa, M.L. (2008) "Fósiles del Universo Primitivo", Revista conCIENCIAS digital nº 2, 2008, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza.
- Sarsa, M.L. (2019) "¿Sopla el viento de materia oscura en el Pirineo Aragonés?", Investigación y Ciencia, julio de 2019.
- Sarsa, M.L. (2020) "Muerte por Materia Oscura", Revista Española de Física, nº2, 2020.

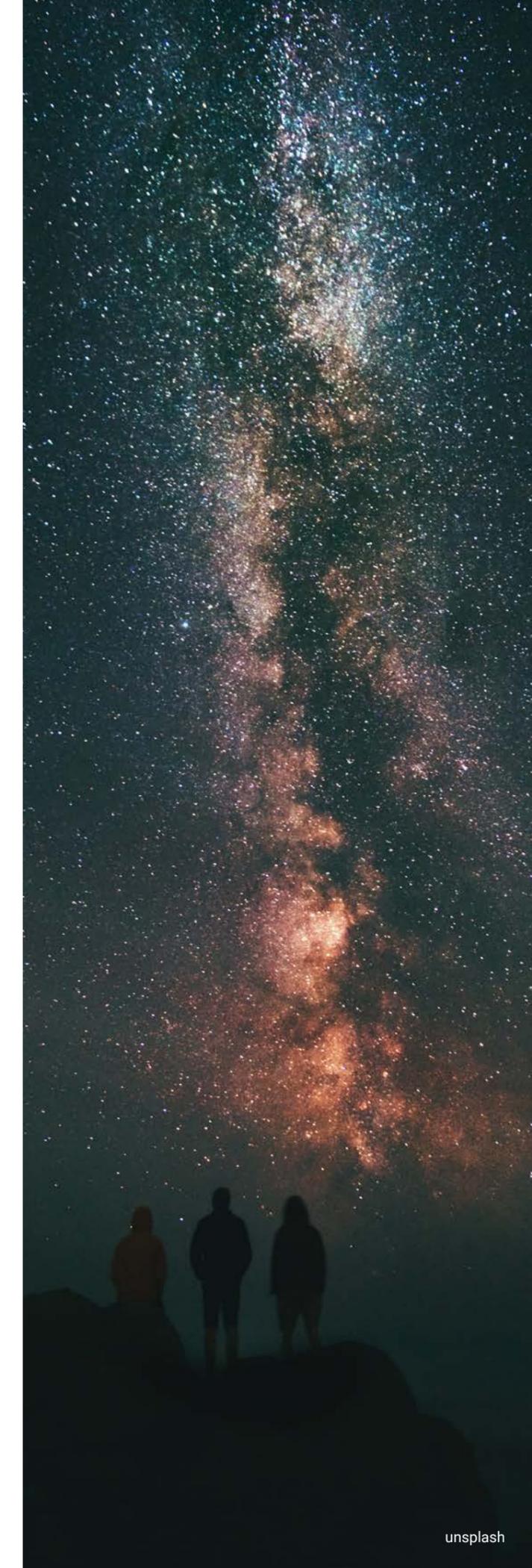
poner un ejemplo de actualidad, en abril de 2021 se han hecho públicos los resultados de la medida del momento magnético del muón, una medida con una precisión de 140 ppb (0.000014%) en Fermilab (EEUU). El experimento "Muon g-2" trataba de dilucidar uno de los principales retos que tenía planteados el modelo estándar de la Física de Partículas, una discrepancia entre las medidas experimentales de dicho momento magnético realizada a comienzos del siglo XXI en Brookhaven (EEUU) y los cálculos teóricos en el marco de la teoría vigente. Los resultados de los dos experimentos coinciden y, por lo tanto, hay que buscar en la teoría la resolución del problema, o bien porque hay partículas hasta ahora desconocidas que hay que incorporar en ella, o bien porque los cálculos actuales tienen incertidumbres no bien valoradas hasta el momento. Pero era necesario descartar un problema experimental. De forma similar, en nuestro caso, la modulación de DAMA/LIBRA podría ser un sistemático del experimento imposible de reproducir, o una puerta hacia una nueva Física, en caso de ser reproducido.

AGRADECIMIENTOS

El experimento ANAIS ha sido financiado por los proyectos MINECO-FEDER FPA2017-83133-P y MCI-AEI PID2019-104374GB-I00, el programa Consolider-Ingenio 2010 (CSD2009-00064), el Consorcio del Laboratorio Subterráneo de Canfranc y el Gobierno de Aragón y el Fondo Social Europeo a través del Grupo de Investigación en Física Nuclear y Astropartículas (GIFNA).

María Luisa Sarsa
 Centro de Astropartículas y Física de Altas Energías
 Dpto. de Física Teórica
 Facultad de Ciencias
 Universidad de Zaragoza

"ANAIS estudia el viento de materia oscura. En su movimiento acompañando al Sol alrededor del centro de la galaxia, la Tierra, y con ella los detectores de ANAIS, suman o restan su velocidad a la del Sol de forma periódica."





“Experimentando”
con la
divulgación
de la
Química

“Es importante acercarse a esta ciencia con los ojos curiosos de un niño ávido por comprender el mundo que le rodea.”

Ángel Madurga



“A la edad de siete años, contemplaba cómo elaboraba mi madre los bizcochos y me quedaba ensimismado viendo cómo crecían dentro del horno.”

hacia la licenciatura de Química en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. Tras finalizar dichos estudios, no sin gran esfuerzo y dedicación, y tras un periodo de seis años en trabajos de diversa índole, comencé a trabajar en distintos institutos de investigación del CSIC hasta que en el año 2003 comenzó mi vinculación con la Universidad, no ya como alumno sino como técnico de laboratorio en distintos centros de la misma.

Durante seis años mi trabajo estuvo ligado a dos centros de la ciudad de Huesca, Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias de la Salud y Deporte. En dichos centros, en verano, participé como ponente en talleres para niños y bachilleres de distintos centros de la provincia bajo el auspicio del Gobierno de Aragón. Posteriormente, cuando ya recalé de nuevo en la Facultad de Ciencias como técnico del Departamento de Química Inorgánica, colaboré en todas las actividades de divulgación que se propusieron:

- Taller Pequeziencias.
- Semana de Inmersión en Ciencia.
- Campus Iberus Científico de verano.
- Proyecto CSI-Aragón.

Gracias a la formación y a la experiencia adquirida, a partir del año 2014 con la colaboración de un equipo de investigadores de varias ramas de las ciencias experimentales, así como de personal de los servicios de apoyo a la investigación y alumnos de máster y doctorado, comencé a realizar talleres y a organizar charlas dentro de las Jornadas de Introducción a la Química Experimental y participé en Ferias de la Ciencia en distintos colegios e institutos.

En los talleres desarrollados en estas actividades se suelen llevar a cabo diversos experimentos de los que quiero destacar los siguientes:

Mis primeras experiencias con la Ciencia fueron un poco accidentadas. Desde mi más tierna infancia me quedaba mirando embelesado las bolas de colores del árbol de Navidad (pocas lograron sobrevivir a mis manitas).

Más tarde, a la edad de siete años, contemplaba cómo elaboraba mi madre los bizcochos y me quedaba ensimismado viendo cómo crecían dentro del horno, sin sospechar que el crecimiento se debía a unos “polvos” que añadía a la masa y, con el tiempo, descubrí que se trataban de una sal, bicarbonato de sodio, que se emplea como levadura química.

Conforme fui creciendo, mi interés por la Ciencia se fue acrecentando. En las correrías que hacía con mis amigos del pueblo por el campo, atrapábamos barbos,

culebras, cangrejos, renacuajos, lagartijas, alacranes, moscas, etc. y los sometíamos a distintos experimentos que, hoy en día, parecerían crueles pero que nos enseñaron a aprender a cuidar y respetar el medioambiente para las futuras generaciones.

Ya de adolescente empecé a trabajar en el campo con adultos y observaba con curiosidad los remedios ancestrales y caseros que empleaban cuando se hacían alguna herida o sufrían la picadura de algún insecto. También tengo que reconocer la influencia que sobre mí ejercieron varios profesores de ciencias que tuve a lo largo de mis estudios en el Colegio Santo Domingo de Silos de Zaragoza.

Todos estos hechos fueron los que, tras terminar los estudios de bachillerato, hicieron que dirigiera mis pasos

Arena mágica. Esta arena es en realidad **arena impermeabilizada**. Es decir, lo que hemos hecho ha sido impermeabilizar la arena con ayuda de una **sustancia hidrofóbica** (el spray) que lo que hace es **repeler el agua**. Por eso, el agua nunca llega a estar en contacto directo con la arena y esta no se moja como sí lo hace la arena normal (1).

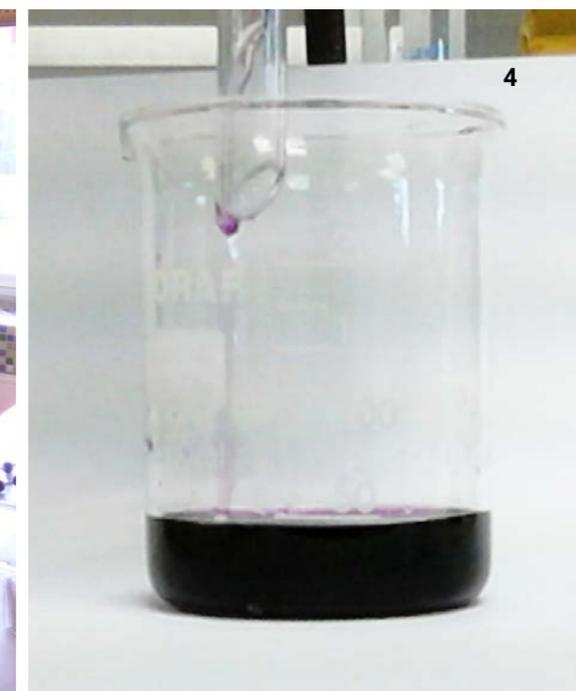
Arco iris químico. Con la idea de hacer una introducción a las reacciones químicas, realizamos esta experiencia en la que se ponen de manifiesto diversos aspectos que intervienen en ellas, como la velocidad de reacción, la influencia de la concentración o la temperatura, así como el pH del medio y el uso de indicadores químicos (2a-b).

Aromas e isomería. Los isómeros son compuestos que tienen la misma fórmula molecular. Los hay de varios tipos: los constitucionales difieren en el orden en que se conectan los átomos entre sí y los estereoisómeros están conectados en el mismo orden, pero difieren en la orientación de los átomos en el espacio. Dentro de este último grupo hay enantiómeros, que son imágenes especulares uno de otro y diastereoisómeros que no lo son. Una de las características de los enantiómeros es que cada isómero presenta propiedades diferentes según sea imagen derecha o izquierda. En este taller aprovechamos los distintos olores que presentan para distinguirlos (3).

Camaleones químicos: Los indicadores. En la naturaleza existen muchas sustancias que se comportan como ácidos, bases o simplemente no reaccionan y se consideran neutras. Para conocer la acidez de

las sustancias se utilizan una serie de compuestos químicos que cambian de color según sea el pH del medio, los indicadores. Estos compuestos son capaces de descubrir si el compuesto que estamos estudiando es ácido $\text{pH} < 7$, básico $\text{pH} > 7$ o neutro, $\text{pH} = 7$. Con este fin usaremos un compuesto que podemos encontrar en la cesta de la compra diaria, la col lombarda, aprovecharemos que el extracto de la misma, tiene la propiedad antes indicada, presenta distintos colores según el pH que tenemos en el medio. El objeto de este taller es comprobar el pH de varios productos que empleamos habitualmente en casa, desde los usados en limpieza hasta los refrescos y todo tipo de sustancias empleadas para cocinar como se puede ver en las imágenes (4, 5a-b).

“Los isómeros son compuestos que tienen la misma fórmula molecular.”





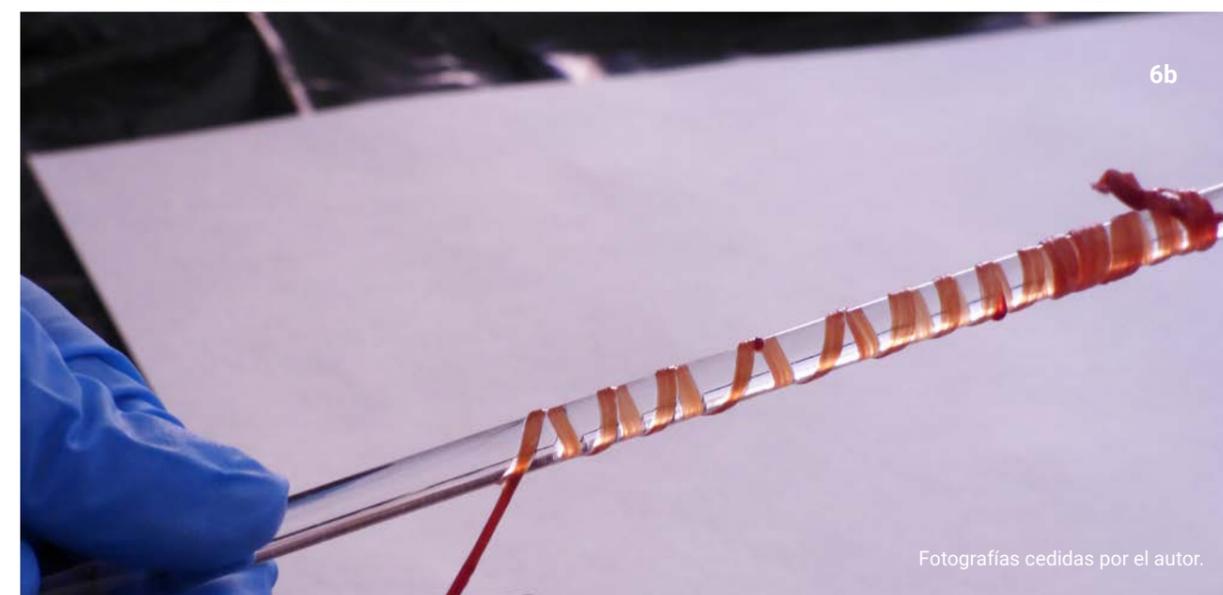
clickmica.fundaciondescubre.es

“El objeto de este taller es comprobar el pH de varios productos que empleamos habitualmente en casa.”

Síntesis de una poliamida: Nylon. Los polímeros, conocidos como plásticos, son una de las mayores contribuciones de la Química Orgánica a la Ciencia de los Materiales. Hoy por hoy, los polímeros están implantados en nuestra vida cotidiana. Existen muchos polímeros naturales (seda, ADN; ARN, celulosa, etc.) y otros artificiales creados por el hombre. Un polímero está constituido por moléculas más pequeñas, llamadas monómeros, de cuya unión (como si fuesen eslabones de una cadena) surgen moléculas de elevada masa molecular que identificaremos como polímero. En el presente taller preparamos nylon 6-10 a partir 1,6-Hexanodiamina y Dicloruro de Sebacoilo. La técnica de polimerización usada se denomina policondensación interfacial, ya que la reacción tiene lugar en la interfase de dos soluciones inmiscibles, cada una conteniendo uno de los compuestos reaccionantes (6a-b).

Tintas invisibles. Desde que el ser humano aprendió a expresarse mediante el lenguaje escrito, algunas personas quisieron ocultar sus hallazgos al resto de la humanidad empleando tintas invisibles para que solo pudiesen ser leídos o interpretados por el destinatario a quien iba dirigido. Una de las técnicas que emplearemos será la de formación de complejos coloreados a partir de disoluciones que sin un agente revelador no serán visibles ya que no dejan huella. Al escribir en el papel o pintar con disoluciones de $KSCN$ y $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$, como son prácticamente incoloras, después de secarlas no seremos capaces de ver el mensaje o dibujo que hemos grabado en ellos. Será cuando usemos una disolución

“Los polímeros, conocidos como plásticos, son una de las mayores contribuciones de la Química Orgánica a la Ciencia de los Materiales.”



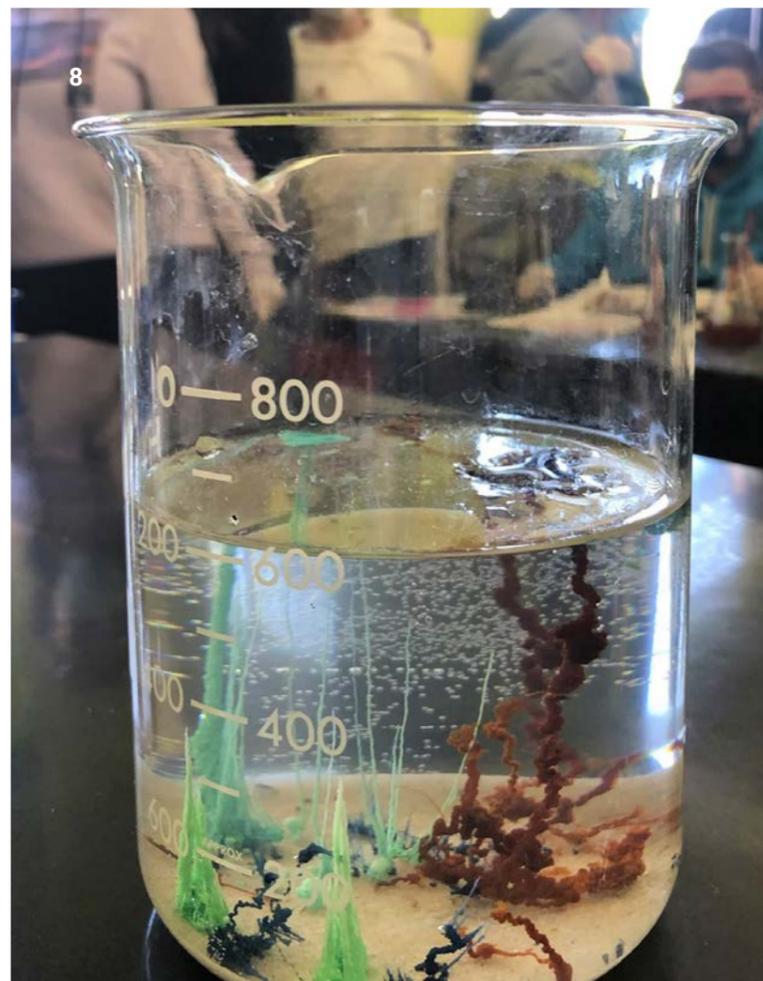
Fotografías cedidas por el autor.

de hierro (III) cuando veremos el mensaje o dibujo que hemos intentado ocultar. Esto es debido a la fortaleza de los compuestos que se forman al reaccionar el Fe (III) con los anteriormente citados dando lugar a nuevos compuestos, esta vez coloreados (7a-b).

El jardín marino: Crecimiento de silicatos. Este experimento ilustra la formación dinámica de fases sólidas controladas por ósmosis y difusión en un sistema lejos del equilibrio. En la medida que las sales se disuelven, los iones metálicos se combinan con los iones silicato formando membranas insolubles alrededor de los cristales. En el interior de las membranas hay menor concentración de agua y mayor concentración de sal que en el exterior, por lo que el agua pasa al interior por ósmosis causando la ruptura de la membrana y la formación de mayor superficie de membrana a medida que la disolución salina se pone en contacto con la

disolución nueva de silicato de sodio, lo que supone el crecimiento de los cristales. El crecimiento de dichos cristales tiene lugar de forma ascendente adquiriendo una morfología de tipo coralino (8).

“La luminiscencia es utilizada por la policía científica para detectar la presencia de gotas microscópicas de sangre.”



Luminiscencia. Se observa el comportamiento de distintos compuestos y materiales frente a la radiación de luz ultravioleta, viendo si poseen propiedades fluorescentes o fosforescentes.

Así, por ejemplo, esta propiedad es utilizada por la policía científica para detectar la presencia de gotas microscópicas de sangre. El hierro contenido en la hemoglobina de la sangre actúa como catalizador de la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno. El oxígeno liberado es el agente oxidante de una sustancia conocida como luminol (3-aminofthalhidracida) produciéndose una reacción quimioluminiscente, es decir, que la energía desprendida en esta reacción se emite en forma de luz (y no de calor como en la mayoría de las reacciones) (9a-c). Es la llamada “luz fría”.

Soplado y doblado de vidrio. El maestro soplador de la Facultad hizo una demostración del oficio preparando vidrio científico y artístico. Los alumnos estuvieron trabajando con vidrio (10).

Con estas actividades queremos acercar la Química a los más jóvenes, de una manera sencilla y atractiva, mostrando los grandes beneficios que esta ciencia ha aportado, y sigue aportando, a la sociedad. Los avances en el conocimiento químico permiten mejorar la calidad de nuestras vidas respetando el equilibrio del medioambiente, tan necesario para mantener un crecimiento sostenible.

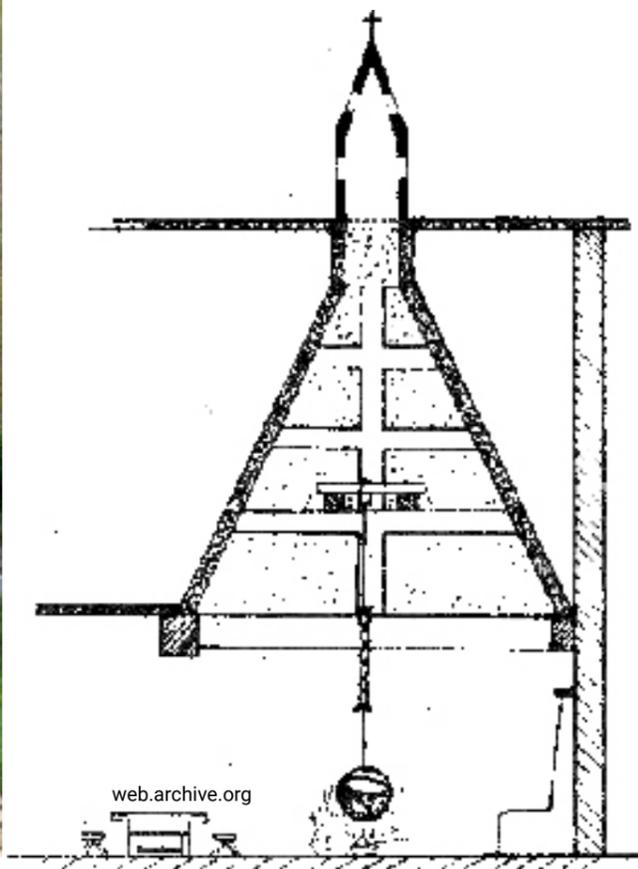
Por ello, es importante acercarse a esta ciencia con los ojos curiosos de un niño ávido por comprender el mundo que le rodea.

Ángel Madurga
Dpto. de Química Inorgánica
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

Toscas, tobas y travertinos: materiales de construcción y archivos geológicos

“Toscas, tobas y travertinos son denominaciones de rocas que tienen en común su valor como recursos económicos y su interés científico.”

Gonzalo Pardo y Concha Arenas



◀ Chimenea tradicional construida con *piedra tosca* en la villa de Borau, comarca de La Jacetania (izquierda) y esquema de la chimenea troncocónica tradicional altoaragonesa (derecha).

Toscas, tobas y travertinos son denominaciones de rocas que tienen en común su valor como recursos económicos y su interés científico. Pero esas denominaciones tienen ciertos problemas debido a que su significado no es unívoco, sino que varía según la región donde se utilice o el autor que use el término. En este sentido no se entiende lo mismo por *tosca* en Aragón que en el Levante español o en las Canarias. La palabra *toba* expresa cosas diferentes para un vulcanólogo que para un estudioso de las rocas calcáreas, por lo que suele necesitar de un adjetivo para referirla correctamente. Finalmente, travertino puede ser para algunos autores sinónimo de toba, por lo que este sustantivo también puede necesitar de un adjetivo para situarlo correctamente en el discurso.

En este artículo se pretende tratar tales aspectos, indicando, además, qué fenómenos y procesos geológicos pueden leerse en las rocas citadas. Para ello empezaremos por las toscas, el término menos geológico y

“En el levante español se llama *tosca* a la roca que se formó a partir de depósitos playeros de arenas calcáreas, constituidas mayoritariamente por fragmentos de conchas de moluscos.”

ban los productos de la matanza. En la rehabilitación y remodelación de muchas casas pirenaicas, la chimenea tradicional ha desaparecido del interior para dejar paso a sistemas de cocina y calefacción modernos, pero habitualmente se ha conservado en su forma tradicional sobre el tejado, como distintivo de la antigua fábrica.

La piedra tosca aragonesa, que aparece en topónimos de poblaciones como Foradada del Toscar (comarca de la Ribagorza), es una *toba caliza*. En la primera acepción de la palabra toba en el Diccionario de la R.A.E. se lee: “Del lat. *tofus*. Piedra caliza, muy porosa y ligera, formada por la cal que llevan en disolución las aguas de ciertos manantiales y que van depositando en el suelo o sobre las plantas u otras cosas que hallan a su paso”; es decir, se trata de una roca sedimentaria generada por la precipitación del carbonato cálcico disuelto en el agua. La cuestión del interés de la tosca como archivo geológico se deja para más adelante, cuando se trate específicamente las tobas calizas y los travertinos.

Sin embargo, hay otras rocas denominadas toscas que no se corresponden con una toba caliza: En el levante español se llama *tosca* a la roca que se formó a partir de depósitos playeros de arenas calcáreas, constituidas mayoritariamente por fragmentos de conchas de moluscos. El viento arrastraba estas arenas acumulándolas en cordones de dunas litorales que posteriormente se consolidaron con cemento calcáreo proveniente de la disolución de sus propios granos con las lluvias. Se trata pues de otra roca caliza, pero en este caso su origen no es la precipitación de carbonato cálcico sobre un sustrato orgánico, sino que es una roca detrítica, una calcarenita. Esta roca, de hermosos reflejos dorados, trabajada por el *piquer* o *tosquero*, fue utilizada ampliamente para usos como prensas y depósitos de aceite, y

que no encontraríamos en ninguna clasificación petrológica formal, pues de hecho es una denominación popular, y comercial en ciertas áreas, de tipos de rocas bien distintas, pero siempre ligadas a la construcción tradicional o monumental.

LAS TOSCAS

En Aragón se conoce como *tosca* a una roca caliza, muy porosa y de baja densidad. Fácil de trabajar por el canteiro, allí donde la hay (en un mapa aparecerá como *El Toscar* o *La Tosquera*) ha sido utilizada en la construcción de aquellos elementos arquitectónicos que requieren ante todo ligereza, como bóvedas, arcos y chimeneas, y en alguna ocasión también como elementos decorativos. Son notables las chimeneas troncocónicas que se encuentran en numerosos pueblos de las comarcas altoaragonesas, con frecuencia rematadas por una figura con función de *espantabruxas*. Centro de la vida hogareña en invierno, alrededor de su fuego bajo podían instalarse hasta 20 personas (ver figura) y en ella se ahuma-

en la construcción, entre otros, de edificios monumentales en la Marina Alta, por ejemplo la iglesia de San Bartolomé, en Jávea. Las canteras de estas tobas (*pedreres* o *toscars*) se conocían y explotaban desde época romana, pero su extracción se prohibió en 1972 por motivos ambientales y de protección del patrimonio, y actualmente toscas similares se importan de Marruecos. En Baleares, donde su extracción también está prohibida, esta roca se denomina *marés*, y así mismo se utilizaba en arquitectura monumental, como es el caso de la catedral de Palma de Mallorca.



A. Iglesia-fortaleza de San Bartolomé, Jávea (Alicante), construida con piedra tosca.
B. Antiguo toscar en la costa alicantina.
C. Acequia de la Noria, en Jávea (Alicante), excavada en *piedra tosca* por los romanos para alimentar unas salinas.

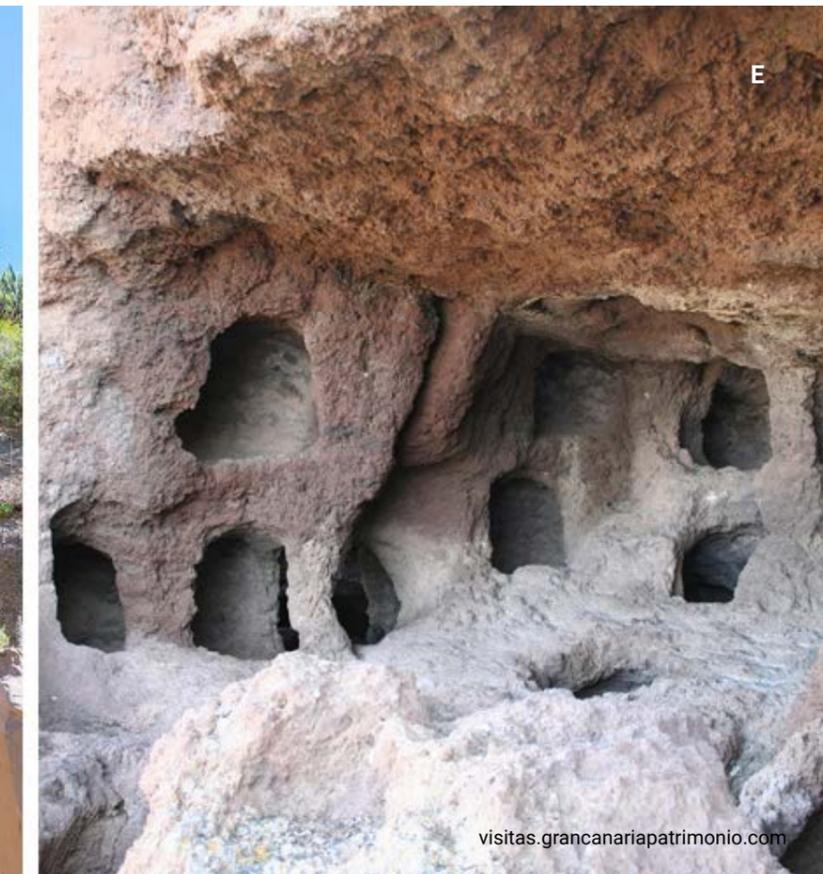
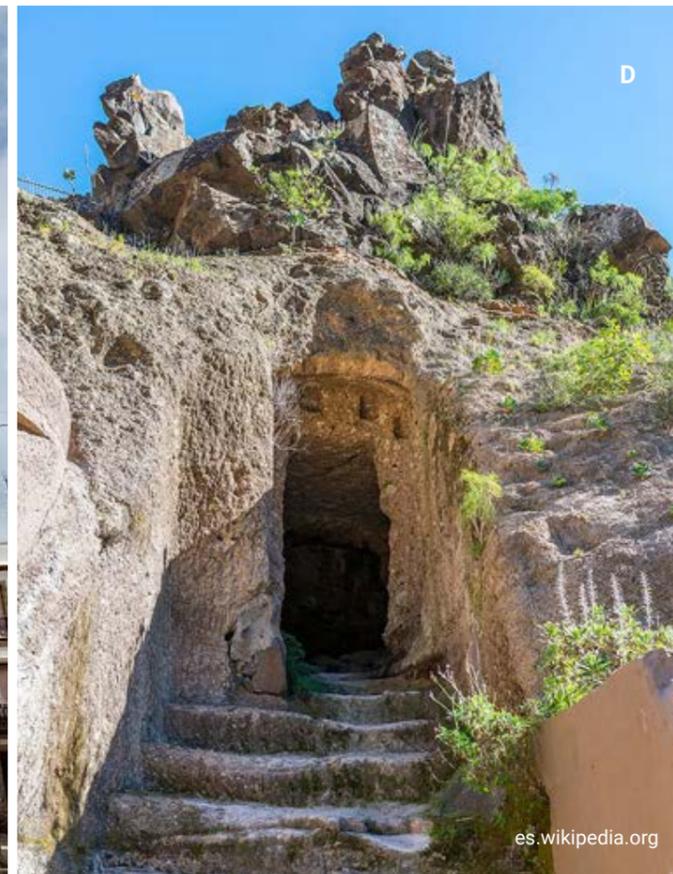
“Las toscas canarias tienen diferentes colores y textura según las características químicas de los materiales que las forman. En ellas ya excavaron graneros y viviendas los aborígenes de las islas.”

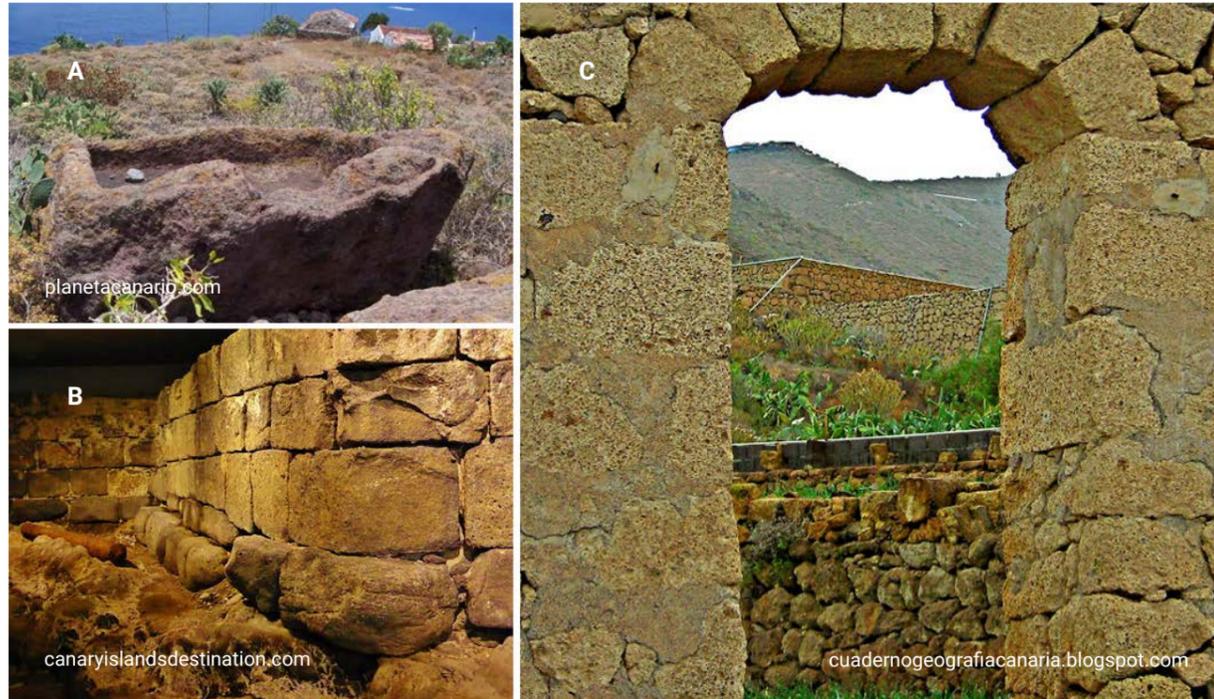
Como archivos geológicos, tanto la tosca levantina como el marés balear dan cuenta de fenómenos paleogeográficos y paleoclimáticos especiales durante el Pleistoceno: las playas, ahora desaparecidas, que proporcionaron la arena a las dunas costeras se formaron en situaciones de bajo nivel del mar durante los máximos glaciales cuaternarios.

Sin embargo, muy alejadas petrográficamente de las toscas citadas hasta ahora, ciertas rocas volcánicas son conocidas también en las islas Canarias como *toscas*, nombre local que se da a algunas *tobas volcánicas*, en concreto a las pumitas compactas resultantes de flujos piroclásticos consolidados. Estas toscas tienen diferentes colores y textura según las características químicas de los materiales que las forman. Dependiendo del grado de oxidación, presentan una coloración roja, ocre, amarilla o blanca. Su consistencia es media, lo que la hace ideal para cantería. En ellas ya excavaron graneros y viviendas los aborígenes de las islas (ver figura), como en el yacimiento del barranco de Guadayeque o

Excavaciones en *tosca volcánica* en la isla de Gran Canaria:

- D. Cueva en el barranco de Guadayeque.
- E. Granero en Risco Pintado





en el de las Cuatro Puertas, en Gran Canaria. Con ellas se construyeron los típicos bancales con muros de piedra seca, se labraron lagares, sillares para edificios e incluso arcos y elementos arquitectónicos ornamentales.

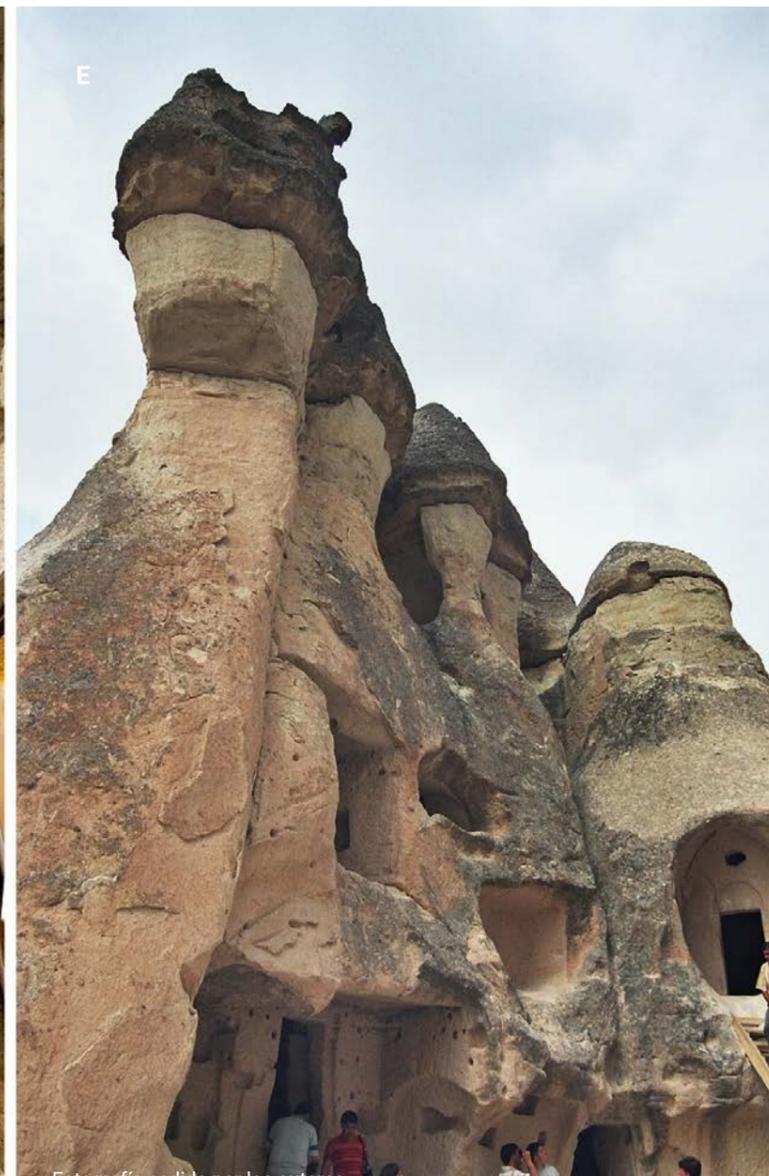
En muchas áreas volcánicas del mundo se utilizan las tobas volcánicas como lugares de fácil excavación de viviendas, enterramientos (catacumbas de Roma) y como materiales de construcción monumental. Entre otras, son destacables las áreas andinas. Por ejemplo, en Arequipa (Perú) los principales edificios del casco histórico están contruidos con tobas volcánicas. Allí se denominan *piedra sillar* y proceden de la actividad del volcán Chachani, hace más de 2 millones de años. En Capadocia (Turquía), la erosión de las tobas volcánicas ha creado un paisaje fantástico de chimeneas de hadas, en las que se encuentran excavadas viviendas e iglesias, conjunto declarado Patrimonio de la Humanidad en 1985.

Podría preguntarse si la región de la Toscana, en Italia, país donde abundan las tobas calcáreas y volcánicas, tiene alguna relación con la palabra tosca. No es así: según puede leerse en Wikipedia, la etimología de Toscana proviene de la evolución de Etruria, la región habitada por los etruscos. Etruria evolucionó a Tuscia y más tarde a Toscana.

LAS TOBAS VOLCÁNICAS

Ya se ha dicho que las toscas volcánicas canarias son el resultado del depósito de flujos piroclásticos. *Piroclasto* es todo fragmento (bloques, bombas, lapilli o cenizas, según sea su tamaño) proyectado a la atmósfera en una erupción volcánica. Los piroclastos se elevan, junto con los gases emitidos, en la típica columna eruptiva, y caen por gravedad con mayor o menor dispersión según su tamaño y en función de la altura que alcance la columna y los vientos reinantes.

Hay un tipo de erupciones denominadas *plinianas* en que la columna de gas y piroclastos puede alcanzar los 20 km de altura. La denominación de pliniana alude al militar y naturalista romano Plinio el Viejo, víctima de la del Vesubio del año 79 d.C. que sepultó las ciudades de Pompeya y Herculano. Se trata de un vulcanismo de alta energía que arroja magma muy viscoso de composición ácida (más del 66% en peso de SiO₂) y muy rico en gases, con violentos episodios explosivos. Su Índice de Explosividad Volcánica (VEI en siglas inglesas, elaborado por Newhall y Self, 1982) se sitúa en 5-6 de una escala que alcanza un máximo de 8. Los piroclastos con tamaño de cenizas suelen ser arrastrados por el viento y



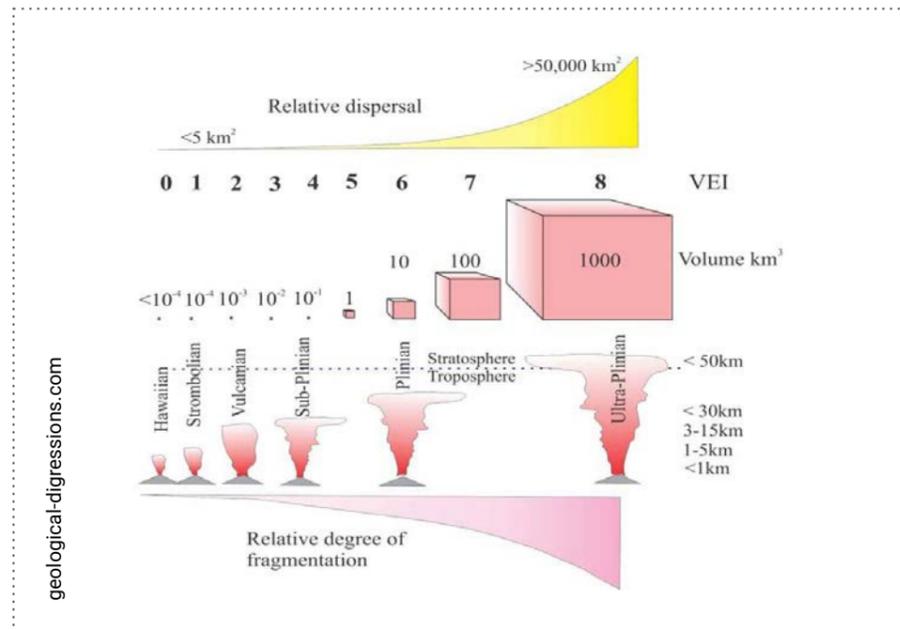
- ◀ **Trabajos de cantería con tosca volcánica en la isla de Tenerife:**
- A. Lagar en Las Palmas de Anaga.
 - B. Sillares del Castillo de San Cristóbal, Santa Cruz de Tenerife.
 - C. Arco y bancales de piedra seca en Aldea Blanca.

- D. Iglesia de la Compañía de Jesús en Arequipa construida con toba volcánica
- E. Viviendas excavadas en toba volcánica en las chimeneas de hadas de Capadocia.

“En Capadocia (Turquía), la erosión de las tobas volcánicas ha creado un paisaje fantástico de chimeneas de hadas, en las que se encuentran excavadas viviendas e iglesias, conjunto declarado Patrimonio de la Humanidad.”

VEI	Volumen (Km³)	Altura columna (Km.)	Descripción	Tipo	Erupciones históricas
0	fumarolas	0.1	No explosiva	Hawaiana	Kilauea (Hawái) 2020, 2021
1	<0.00001	0.1-1	Pequeña	Stromboliana	Stromboli (Italia) 2019
2	<0.0001	1-5	Moderada		Teneoia (La Palma) 1971
3	<0.001	3-15	Media	Vulcaniana (Subpliniana)	Cumbre Vieja (La Palma) 1949, 2021
4	<0.01		Grande		Nevado del Ruiz (Colombia) 1985
5	<0.1	10-25	Muy grande	Pliniana	Reventador (Ecuador) 2002
6	<1		Severa		Mt. Pelé (Martinica) 1902
7	<10		Violenta		Vesubio (Italia) 79
8	<100	>25	Terrible	Ultrapliniana	Santa Elena (USA) 1980
					Krakatoa (Indonesia) 1883
					Pinatubo (Filipinas) 1991
					Tambora (Indonesia) 1815

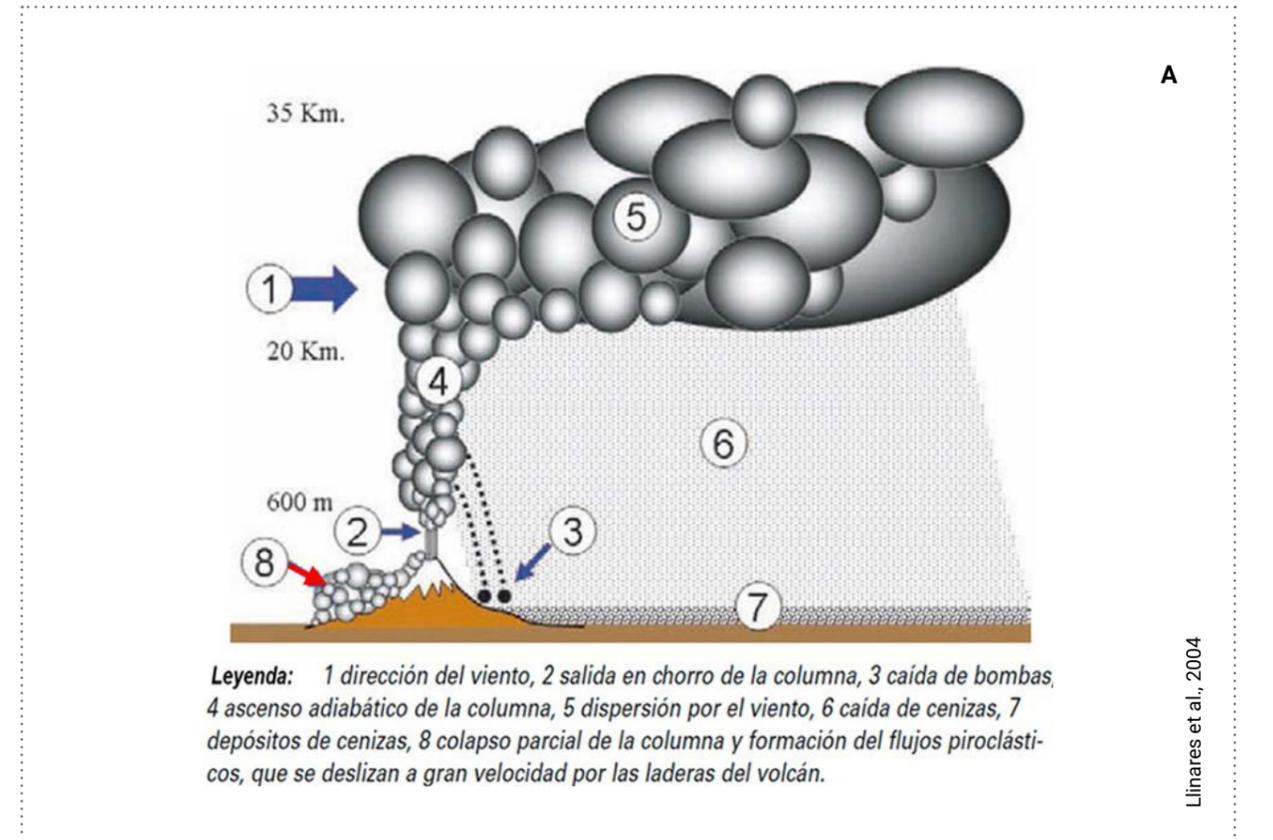
◀ **Índice de Explosividad Volcánica (VEI): Arriba, modificada de Llinares et al. (2004); abajo, expresión gráfica, donde se constata su carácter logarítmico.**



depósitos originados por flujos piroclásticos se conocen como *ignimbritas*. Si los piroclastos de una ignimbrita se sueldan, la roca resultante se denomina *toba volcánica* (en inglés *tuff*); si no están soldados, *tefra*.

Cualquier erupción volcánica es uno de los grandiosos espectáculos que puede ofrecer la naturaleza, pero una erupción pliniana es también de los más terroríficos,

en especial para la población que esté en su radio de acción. Véase, risas y comentarios nerviosos incluidos, un vídeo del flujo piroclástico de la erupción del Monte Merapi, en la isla de Java (Indonesia) (<https://www.youtube.com/watch?v=Bz7WCttwXQK>), que solo alcanzó un VEI de 4, es decir, fue de tipo vulcaniano (o subpliniano, según autores). Las erupciones de VEI 7 y 8 se denominan *ultraplinianas*, y tienen un

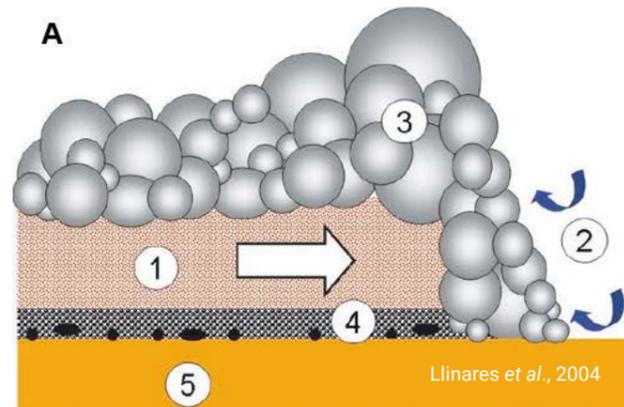


“Cualquier erupción volcánica es uno de los grandiosos espectáculos que puede ofrecer la naturaleza, pero una erupción pliniana es también de los más terroríficos.”

caer a grandes distancias, pero si esta caída coincide con lluvias intensas pueden originar peligrosos flujos de lodo llamados *lahares*. En caso de que la columna volcánica no posea suficiente fuerza ascensional se produce el colapso total o parcial de la misma, cayendo sobre el cono y descendiendo por las laderas como un flujo denso, mezcla de gases y piroclastos, que se mueve a velocidades que pueden superar los 500 km/hora, y con temperaturas que llegan a sobrepasar los 800°C; de ahí que también se denominen “nubes ardientes”. Los flujos piroclásticos pueden recorrer hasta 100 km desde el cráter, adaptándose a la topografía preexistente, pero con capacidad para remontar obstáculos. Los



A. Esquema de una erupción pliniana. **B.** Flujo piroclástico (flecha roja) en la erupción de 1984 del volcán Mayón, en la isla filipina de Luzón.



Leyenda: Anatomía de una colada piroclástica: 1 masa de gases y cenizas a alta temperatura, 2 incorporación de aire, 3 nube acompañante formada por gases y partículas muy finas que se escapan del flujo, 4 nivel de base donde se van depositando los bloques más pesados, 5 superficie sobre la que se desplaza.



Fotos de Elena González Cárdenas en: previa.uclm.es/profesorado/egcardenas/glosario.htm

A. Esquema de una colada piroclástica.
B-C. Depósitos de coladas piroclásticas en Tenerife.

carácter que va de devastador a apocalíptico. De grado 7, la única erupción histórica conocida es la del Tambora, que al año siguiente de su explosión dio lugar al “año sin verano” de 1816, en que las temperaturas en Europa cayeron cerca de 3°C. De grado 8 se supone que fue la erupción que originó la caldera de Yellowstone (55 x 72 km), hace unos 640.000 años, y la que originó el lago Toba (30 x 100 km) en la isla de Sumatra, hace entre 69.000 y 77.000 años (Chesner et al., 1991). Esta última erupción originó 2000 km³ de ignimbritas y una

caída en la temperatura media mundial calculada en más de 3°C durante varios años. A pesar de la coincidencia, el nombre de este lago no tiene nada que ver con el de la toba volcánica. Toba es una región y una etnia, así como una forma dialectal del idioma Batak, en el norte de Sumatra (unos 2.000.000 de hablantes).

En las Canarias, que se han traído a colación a partir de la piedra tosca, dos de las islas muestran evidencias de haber sufrido volcanismo explosivo intenso: Tenerife y Gran Canaria (Solana, 2010). En Gran Canaria, el volcanismo explosivo se considera extinto: las últimas erupciones de este tipo ocurrieron hace más de 3 millones de años (volcán Roque Nublo). En Tenerife las erupciones explosivas fueron violentas, dejando tras de sí grandes calderas, pero estas erupciones han seguido ciclos de unos 200.000 años, mientras que las efusiones de lava asociadas a explosiones de baja magnitud han sido más frecuentes. En los últimos 2000 años se han producido al menos dieciséis erupciones en Tenerife, seis de ellas con referencias históricas. Solo una, la erupción subpliniana de Montaña Blanca, que ocurrió hace unos 2000 años al este del pico del Teide, tuvo una

“En las Canarias, dos de las islas muestran evidencias de haber sufrido volcanismo explosivo intenso.”

explosividad importante: se estima que la columna de pómez y ceniza ascendió unos 15 km, y dejó depósitos de pómez de hasta un metro en el valle de La Orotava. En cualquier caso, el Teide es considerado como un volcán en claro declive eruptivo (Carracedo et al., 2006). Las demás erupciones históricas de Tenerife y del resto de las Canarias han sido del tipo estromboliano efusivo (VEI 1-2). Aunque en zonas densamente pobladas, como muchas de las Canarias, las consecuencias de una erupción, incluso pequeña, y de sus fenómenos precursores (sísmos y consecuentes desprendimientos) pueden ser alarmantes y conllevar importantes pérdidas económicas (p.ej. crisis volcánica de La Palma, 2021), los planes de vigilancia y prevención allí existentes deberían permitir convivir con los volcanes sin riesgos para la integridad física de las personas (véase el Plan de Emergencias Volcánicas de Canarias, PEVOLCA). A este respecto son muy importantes las dataciones absolutas de los materiales, a fin de establecer con realismo los ciclos de recurrencia de las erupciones que han tenido lugar en el pasado, más atrás en el tiempo de los datos históricos. En las Canarias, estas dataciones se realizan con K-Ar y ¹⁴C. La primera se aplica a las rocas y a los minerales formados durante una erupción y el ¹⁴C a los restos vegetales carbonizados por el paso de una colada de lava o un flujo piroclástico. Véase a este respecto Carracedo et al. (2003) que incluyen, además, un interesante esquema del riesgo eruptivo para el sector noroeste de la isla de Tenerife.

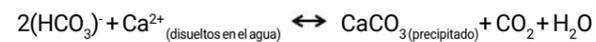
LOS TRAVERTINOS Y LAS TOBAS CALCÁREAS

Entre los términos travertino y toba calcárea también puede producirse confusión. En este caso incluso en la lectura de artículos especializados si los autores correspondientes no dejan claro el tipo de roca que se está estudiando. De hecho, numerosos autores han usado toba o travertino como sinónimos en muchas de sus publicaciones.



Más arriba se ha dado ya la definición académica de toba (en inglés, *tufa*). En cambio, la palabra travertino (en inglés, *travertine*), que no está recogida en el diccionario de la R.A.E., alude también a una roca caliza utilizada extensamente en construcción y como piedra ornamental (aspecto en que gana por goleada a cualquier toba). Su nombre proviene de *travertinus*, vocablo vinculado al topónimo Tibur (Tiburinus o Tivertino), la actual Tívoli cerca de Roma. Se definió inicialmente como una formación carbonática integrada por pequeños lechos muy compactos, separados por vacíos ondulados, resultado de la precipitación de capas sucesivas de carbonato cálcico.

En resumen, tanto las tobas calizas como los travertinos son rocas sedimentarias compuestas esencialmente por carbonato cálcico, a resultas de la pérdida del CO₂ disuelto en aguas continentales según la conocida reacción:



La primera diferencia entre tobas y travertinos, como se deduce de las definiciones apuntadas, es la mayor compactación de estos últimos, es decir, su menor porosidad primaria. Para muchos estudiosos de estas rocas (p. ej. Pedley, 2009; Arenas, 2017), la diferencia fundamental es que las tobas se forman en ambientes fluviales, palustres y lacustres con aguas de origen meteórico, a menudo cárstico, de temperatura inferior a 30°C, cuyo CO₂ proviene de la atmósfera y del suelo; mientras que los travertinos se forman en manantiales y fuentes cuyas aguas, a temperatura superior a 30°C y ricas en CO₂ de origen esencialmente hidrotermal (magmático), a menudo surgen a través de fracturas. Parece pues apropiado que si un autor prefiere usar el término travertino de manera genérica para tobas y travertinos, utilice además adjetivos diferenciadores, como *travertinos meteógenos* (o en inglés, *freshwater travertines*) para las primeras y *travertinos termógenos* (o *thermal travertines*) para los segundos, como es el caso de Pentecost (2005).

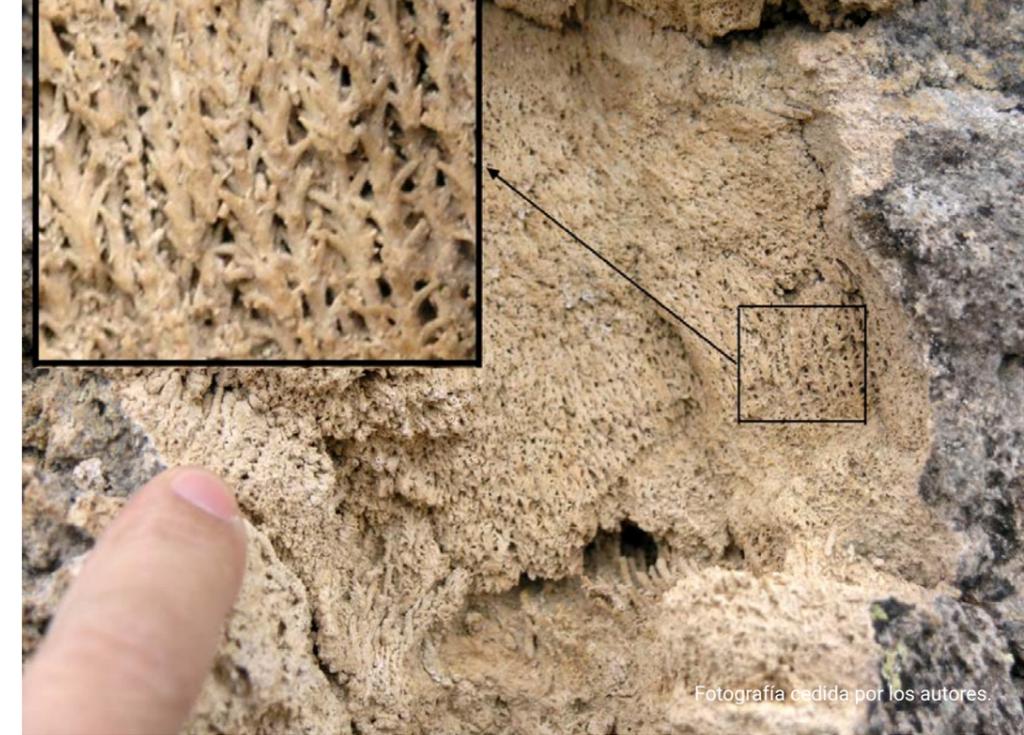


A. Foto de campo de una toba, donde puede observarse su aspecto altamente poroso, con impresiones de hojas y piñas. Valle del río Añamaza, Dévanos, Soria.



B. Aspecto de un travertino en la cantera Cava de Oliviera, Rapolano, Siena; nótese su menor porosidad frente a la toba.

Toba formada por precipitación de calcita sobre un tapiz de musgos, valle del río Piedra.



Fotografía cedida por los autores.

La pérdida de CO₂, que determina la precipitación del carbonato cálcico para formar travertinos, es debida en su mayor parte a desgasificación por pérdida de presión en o muy cerca de la misma surgencia. En ellos el CaCO₃ puede encontrarse también como aragonito. A menudo la concentración en cationes (sobre todo Ca) es tan alta que la precipitación se produce incluso con pH < 7. En las tobas, la pérdida de CO₂ se produce mecánicamente por turbulencia del agua y, en menor medida, por su secuestro por la vegetación sumergida para realizar la función clorofílica. En las tobas, la precipitación de calcita suele empezar a producirse a una distancia importante de las surgencias caudalosas, cuando la P_{CO2} del agua desciende y el índice de saturación de la calcita alcanza valores por encima de 0. Por ejemplo, en el río Piedra, donde la descarga media es de 1,4 m³ por segundo en las surgencias de cabecera, en la localidad de Cimballa (Zaragoza), la sedimentación de toba se inicia a unos 7 km aguas abajo de las mismas (Arenas et al., 2014a). Estos autores, en la monitorización de 24 puntos del río, desde sus fuentes hasta Nuévalos (unos 16 km) encuentran una correlación r = 0,9 entre velocidad de la corriente (con el consecuente aumento de turbulencia) y tasa de depósito de toba.

La alta porosidad de las tobas (generalmente > 20%, macro y microporos) es debida en parte a su formación sobre sustratos orgánicos como carrizos, fragmentos vegetales de todo tipo (troncos, tallos, hojas, piñas...), algas filamentosas y carofitas, así como sobre musgos (ver figura) y cianobacterias. La descomposición de la

“Tanto las tobas calizas como los travertinos son rocas sedimentarias compuestas esencialmente por carbonato cálcico.”

BIBLIOGRAFÍA

- Arenas C. (2017). Tobas y facies asociadas. Una factoría de carbonatos continentales en el Cuaternario. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25 (1): 65.
- Arenas C., Vázquez-Urbez M., Sancho C., Auqué L., Osácar C. y Pardo G. (2013). Quaternary and modern continental microbial deposits in the Iberian Range (NE Spain): possible analogues of fluid reservoirs. En: *Microbial Carbonates in Space and Time: Implications for Global Exploration and Production*. The Geological Society, Petroleum Group, London: 97.
- Arenas C., Vázquez-Urbez M., Auqué L., Sancho C., Osácar C. y Pardo G. (2014a). Intrinsic and extrinsic controls of spatial and temporal variations in modern fluvial tufa sedimentation: A thirteen-year record from a semi-arid environment. *Sedimentology*, 61: 90.
- Arenas C., Vázquez-Urbez M., y Pardo G. (2014b). Sedimentology and depositional architecture of tufas

Fotografías cedidas por los autores.



◀
A. Montículo de travertino originado por surgencia a través de una fisura, Terme San Giovanni, Rapolano, Siena.
B. Cuña de tobas en el Cañón del rí Añamaza, Dévanos, Soria. Su edad va de unos 283.000 (MIS 9) a 1.500 años (MIS 1), obtenidos mediante U-Th.



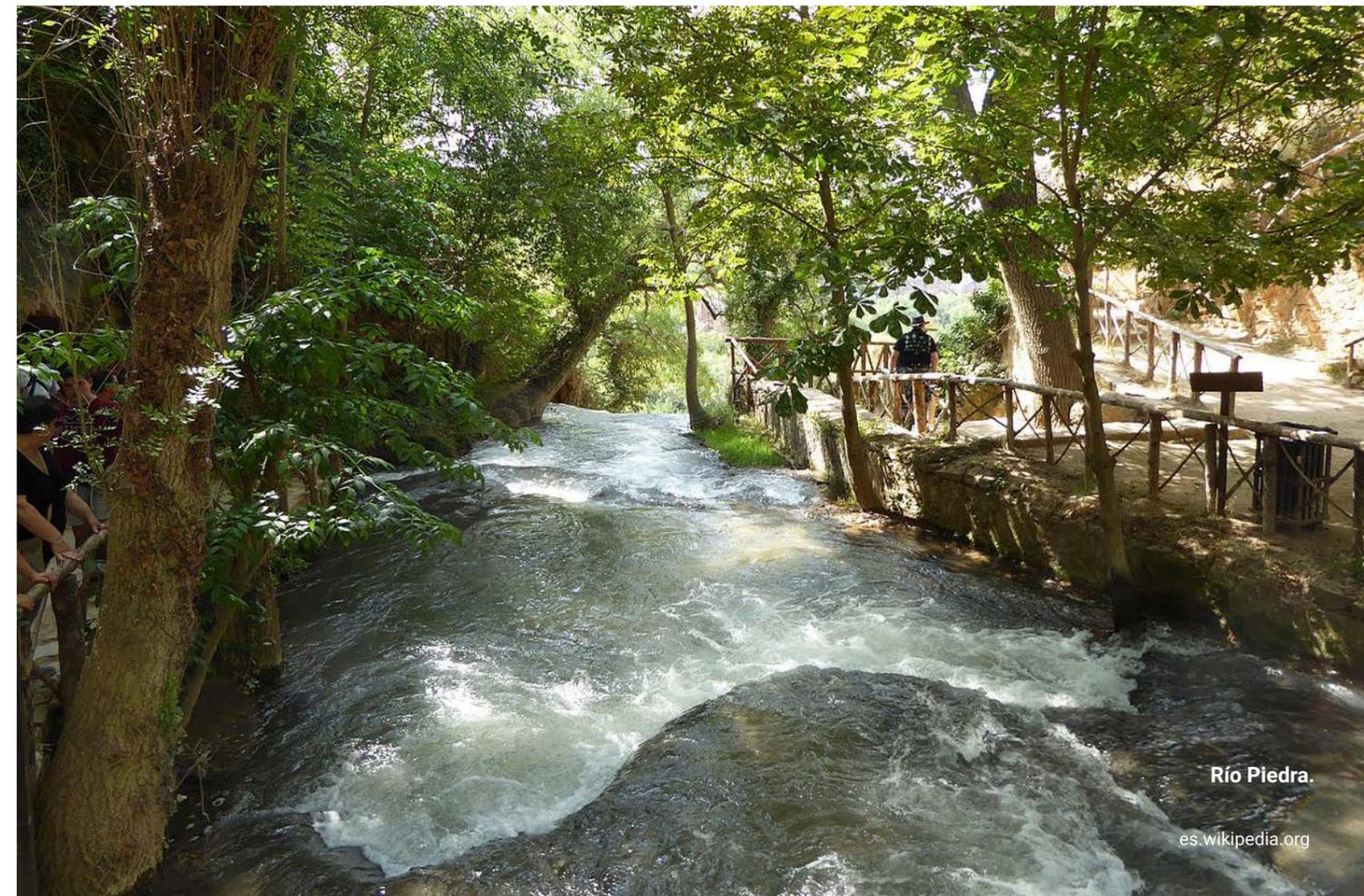
Así pues, si los travertinos son un registro de actividad tectónica y magmática, pasada y presente, además de un importante recurso económico (canteras, balnearios, aprovechamiento geotérmico), las tobas tienen interés actualmente como potenciales almacenes geológicos de fluidos, dada su alta porosidad. (Arenas et al., 2013; Muniz y Bosence, 2015). Pero además son una importante herramienta de análisis paleoambiental, dado que su formación es muy dependiente del factor climático. En general, los climas cálidos favorecen el desarrollo de tobas, de forma que en el registro geológico su máxima presencia se correlaciona con los MIS (Estadios Isotópicos Marinos) impares, correspondientes a periodos cálidos durante el Cuaternario (Sancho et al., 2015). Pero además, su desarrollo anual es mayor en las estaciones cálidas (primavera y verano) que en las frescas (otoño e invierno). Por ejemplo, en el río Piedra, tras su monitorización durante 13 años en 24 puntos, se constata que el crecimiento de las tobas fue como promedio de 5,08 mm en las estaciones cálidas y solo de 2,77 mm en las frescas (Arenas et al., 2014a). Por otro lado, algunas facies de tobas laminadas (p.ej., estromatolitos y oncolitos) son susceptibles de análisis de isótopos

deposited in stepped fluvial systems of changing slope: Lessons from the Quaternary Añamaza valley (Iberian Range, Spain). *Sedimentology*, 61: 133.

- Carracedo J.C., Paterne M., Guillou H., Pérez Torrado F.J., Paris R., Rodríguez Badiola E. y Hansen, A. (2003). Dataciones radiométricas (¹⁴C y K-Ar) del Teide y el Rift Noroeste, Tenerife, Islas Canarias. *Estudios Geológicos*, 59: 15.
- Carracedo, J.C., Rodríguez Badiola, E., Scaillet, S., Paterne, M., y Pérez Torrado, (2006). Historia eruptiva del complejo volcánico del Teide. En: J.C. Carracedo (ed.), *El volcán Teide. Volcanología, interpretación de paisajes e itinerarios comentados*. Fundación Caja Canarias, Tenerife: 21.
- Chesner C.A., Rose W.I., Deino A., Drake R. y Westgate J.A. (1991). Eruptive history of Earth's largest Quaternary caldera (Toba, Indonesia) clarified. *Geology*, 19: 200.
- Jones B. y Renaut R.W. (2007). Selective mineralization of microbes in Fe-rich precipitates (jarosite, hydrous ferric oxides) from acid hot springs in the Waiotapu geothermal area, North Island, New Zealand. *Sedimentary Geology*, 194, 77.

parte orgánica deja una porosidad interconectada que normalmente no se rellena después (porosidad móldica y de crecimiento, *mouldic* y *growth framework* en inglés). En cambio, los depósitos de travertinos, debido a la alta temperatura del agua, rara vez se relacionan con macrófitas; sin embargo, suelen estar presentes diferentes grupos de bacterias, en ocasiones extremófilas, en las surgencias hipertermales (Jones y Renaut, 2007). Por otra parte, la tectónica es un factor determinante en la existencia de travertinos (surgencias profundas por fracturas), lo que proporciona a sus depósitos una morfología muy común en montículos alargados simétricos (ver figura), mientras que el clima tiene una relevancia muy escasa. Por el contrario, las tobas, cuando forman sistemas escalonados, se presentan habitualmente como depósitos en forma de cuñas compuestas de longitud decamétrica a hectométrica, resultantes del desarrollo de barreras-cascadas y de los represamientos aguas arriba de las barreras (Arenas et al., 2014b), y en su génesis el clima es un factor clave.

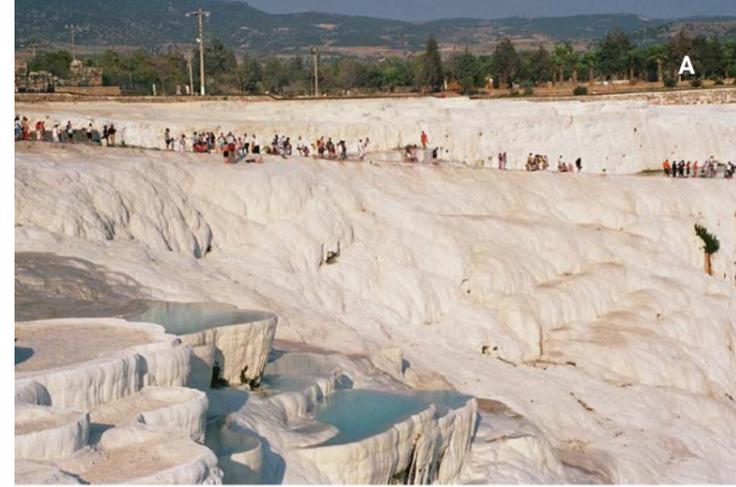
“Las tobas, cuando forman sistemas escalonados, se presentan habitualmente como depósitos mayoritariamente en forma de cuñas decamétricas a hectométricas compuestas.”



Río Piedra.

estables (C y O) lámina a lámina, y como la $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato precipitado depende de la temperatura del agua en que se forma, las variaciones de $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita pueden reflejar variaciones estacionales y plurianuales de temperatura. A este respecto, Osácar et al. (2013) han publicado los resultados en un seguimiento de 10 años en los estromatolitos depositados sobre substratos artificiales en el río Piedra, demostrando que las tobas laminadas son herramientas de alta resolución para detectar variaciones de temperatura a escala estacional y decadal: la variación de temperatura del agua calculada a partir de la composición isotópica es paralela a la medida en el agua y el aire para ese intervalo temporal; se detecta un incremento de 1°C a lo largo de 10 años.

“Los travertinos son un registro de actividad tectónica y magmática, pasada y presente, además de un importante recurso económico.”

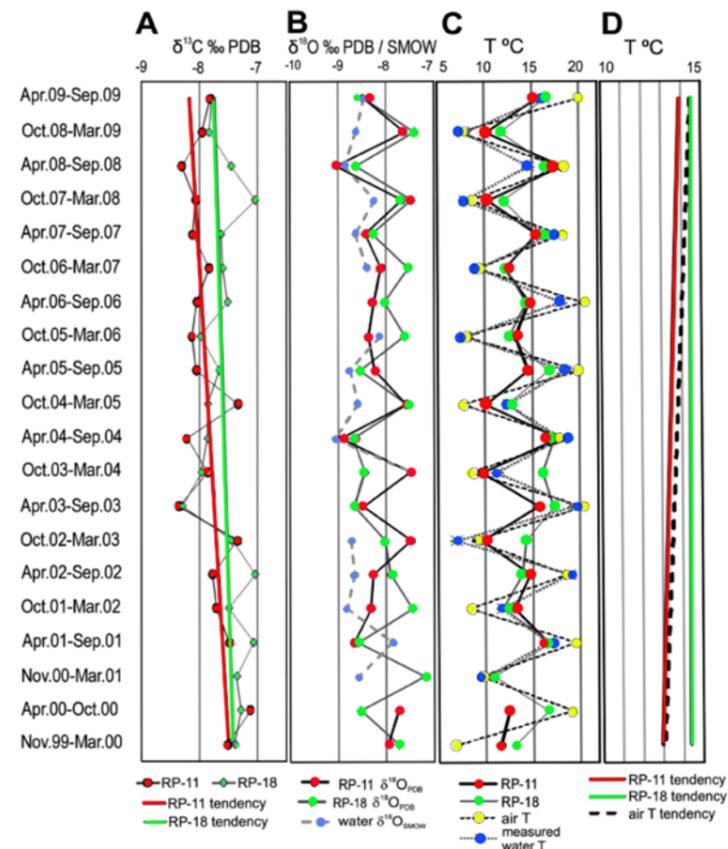


Fotografías cedidas por los autores.

- ◀ **A. Procesión de visitantes sobre los travertinos de Pamukkale. Se exige caminar descalzo.**
- B. Travertinos de Minerva Spring, en las Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA. Aquí el paseo se hace por pasarelas, como la que se ve en la esquina superior izquierda de la foto.**

- Llinares M.A., Ortiz R. y Marrero J.M. (2004). *Riesgo volcánico*. Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior. Madrid, 104 pp.
- Muniz M.C., Bosence D.W.J. (2015). Pre-salt microbialites from the Campos Basin (offshore Brazil): Image log facies, facies model and cyclicity in lacustrine carbonates. En: Bosence, D.W.J., Gibbons, K.A., Le Heron, D.P., Morgan, W.A., Pritchard, T., Vining, B.A. (eds.), *Microbial Carbonates in Space and Time: Implications for Global Exploration and Production*. The Geological Society, Spec. Publ. 418, London: 221.
- Newhall C.G. y Self S. (1982). The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87 (C2): 1231.
- Osácar M., Arenas C., Vázquez-Urbez M., Sancho C., Auqué L., Pardo G., Lojen S. y Cukrov N. (2013). Seasonal and decadal stable isotope evolution recorded by recent tufa deposited on artificial substrates in the Monasterio de Piedra Natural Park (NE Spain). *Geogaceta*, 54: 135.
- Pedley H.M. (2009). Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology*, 56 (1): 221.
- Pentecost A. (2005). *Travertine*. Springer-Verlag, Berlin, 446 pp.
- Solana M.C. (2010). Peligros asociados a las erupciones de Tenerife, su impacto y reducción en caso de una erupción futura. En: J. Afonso-Carrillo (ed.), *Volcanes: mensajeros del fuego, creadores de vida, forjadores del paisaje*. Actas V Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, Santa Cruz de Tenerife: 139-156.
- Sancho C., Arenas C., Vázquez-Urbez M., Pardo G., Lozano M.V., Peña-Monné J.L., Hellstrom J., Ortiz J.E., Osácar M.C., Auqué L. y Torres T. (2015). Climatic implications of the Quaternary fluvial tufa record in the NE Iberian Peninsula over the last 500 ka. *Quaternary Research*, 84: 398-414.

◀ **Temperaturas calculadas para el agua a partir del ^{18}O de la calcita y del ^{18}O del agua en dos depósitos tobáceos actuales del río Piedra, comparadas con las temperaturas medidas en el agua del río y en el aire.**



Isótopos estables y temperatura del agua calculada para las losetas RP-11y RP-18, a lo largo de los 10 años del estudio (1999-2009). A) Composición y tendencias del $\delta^{13}\text{C}$. B) Composición de $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita tobácea y del agua. C) Temperatura del agua calculada, temperatura del agua medida durante el muestreo y promedio semestral de la temperatura del aire. D) Tendencias de la temperatura del aire y de las temperaturas calculadas para el agua. Datos de temperatura del aire de la Agencia Estatal de Meteorología.

Modificada de Osácar et al., 2013

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

PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS



INSTRUMENTA

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



Triquiscopio

Es un microscopio con un sistema de iluminación especial. A medida que el agua pasa, se ilumina. Mide la luz que atraviesa el objeto como si fuera un termómetro en otro punto del eje, pero la intensidad del paralelo es proporcionalmente inversa a su velocidad. Este instrumento permite observar el movimiento de los líquidos en un tubo capilar.



Este instrumento permite observar el movimiento de los líquidos en un tubo capilar. Para ello, se utilizan un sistema de iluminación especial que permite observar el movimiento de los líquidos en un tubo capilar. Este instrumento permite observar el movimiento de los líquidos en un tubo capilar.

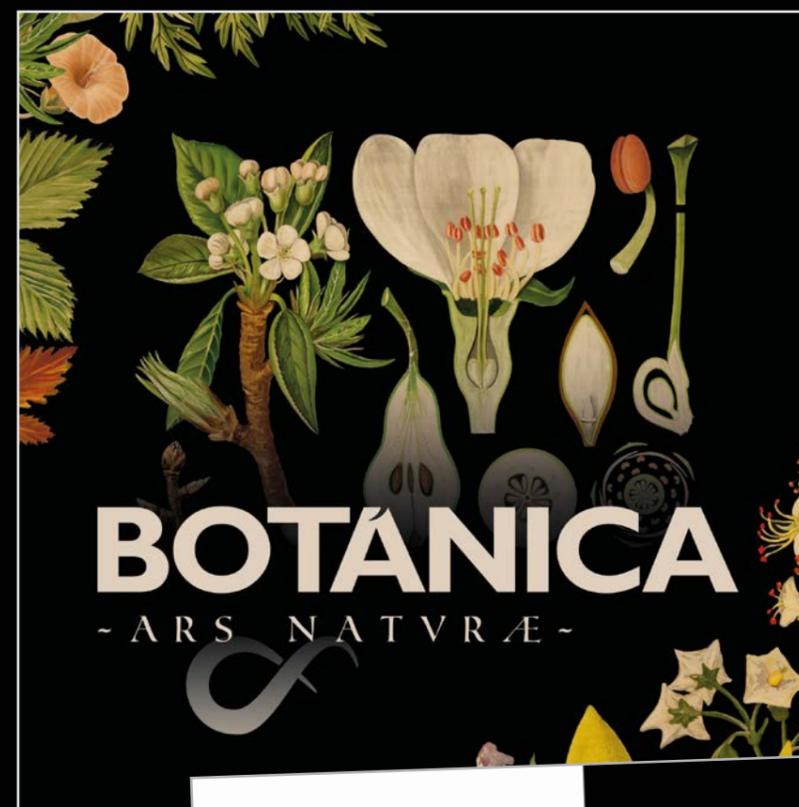


MIROBALANO. Prunus cerasifera

A diferencia de los otros miembros del género, el mirobalano, o de hecho, el mirabilis, no es un árbol frutal. Su fruto es pequeño y se consume como un fruto seco. En cambio, es la especie más abundante de este género, tanto en el campo como en el cultivo. Se le debe a su importancia como árbol ornamental. El cultivo de su fruto se realiza en zonas de clima templado. Se trata de una variedad utilizada principalmente para la producción de aceite de semilla. Este aceite es rico en ácido oleico y se utiliza en la industria alimentaria. En Zaragoza y en el Campus se cultivan 22 especies, algunas bien desarrolladas para el espacio.



LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS



BOTÁNICA

- ARS NATURÆ -



Tulipanes

Tulipa praecox L. (Fam. Liliaceae)

Se le atribuye el primer viaje al extranjero y se dice que fue el botánico holandés Carolus Clusius quien introdujo en Europa las plantas ornamentales como las tulipas. Clusius, como el botánico flamenco Hieronymus Bontani, fue el primero en describir la flor de la Tulipa praecox. También se atribuye a Clusius el haber introducido en España la especie Tulipa praecox. En Zaragoza se cultivan 22 especies, algunas bien desarrolladas para el espacio.

Fecha de publicación: 2011

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

Las competencias profesionales y la formación superior

“Hay que incorporar aspectos personales a los requerimientos para el desempeño de un trabajo más allá de los conocimientos. La aptitud, saber, debe complementarse con la actitud, comportamiento.”

Ana Isabel Elduque





La necesidad de formar en competencias a los nuevos titulados, al igual que los profesionales y trabajadores que ya están en el mercado laboral, procede precisamente de las exigencias de un entorno económico cada vez más cambiante, surgido de la revolución tecnológica de finales del siglo pasado. Los nuevos modelos socioeconómicos que debemos afrontar en este siglo nos empujan en la misma dirección. El *World Economic Forum* estima que, para el año 2025, el 50% de las actividades de los profesionales se desarrollarán a través de la tecnología. Hay que orientarse a desarrollar las habilidades necesarias, o *softskills*, a la vez que se adquiere el conocimiento técnico necesario de cada profesión. Los profesionales del futuro, por tanto, tienen que ser conscientes de que el desarrollo de la tecnología conlleva aparejada la necesidad de adquirir toda una serie de habilidades “humanas” que, hoy en día, no parecen que pueden ser desarrolladas por las máquinas.

Este hecho, que aparenta ser solo una oportunidad, también es percibido como un riesgo por muchos trabajadores en España. La OCDE ha evaluado en un 22% los trabajadores españoles que temen ser reemplazados por una máquina, lo cual es significativamente más alto que en nuestro entorno. La baja calidad del empleo en nuestro país se ve como una de las principales causas. En otro estudio (“Carencia de capacidades”, 2018), el desarrollador de plataformas de aprendizaje *online* Udemy ha valorado que el 40% de los trabajadores españoles teme que su trabajo pueda desaparecer en los próximos cinco años debido a la automatización o a la inteligencia artificial.

Desde el punto de vista de los empleadores también se está de acuerdo en que el mundo del trabajo está cambiando más rápidamente que las capacidades que los nuevos titulados adquieren durante su formación. Así, un estudio de 2019 del Instituto de Estudios Superio-

“Tres de cada cuatro compañías tienen problemas para cubrir adecuadamente los puestos ofrecidos.”

res de la Empresa, IESE-Universidad de Navarra, realizado con la participación de directivos de formación y de recursos humanos de 53 empresas que ocupan a más de 400.000 empleados en España y casi tres millones a nivel mundial, y una cifra de negocio consolidada de medio billón de euros, muestra que tres de cada cuatro compañías tienen problemas para cubrir adecuadamente los puestos ofrecidos. Este hecho se explica no solo porque los conocimientos necesarios no hayan sido bien enseñados con el nivel de actualización preciso, sino también por una falta de capacidades y habilidades personales en los graduados.

¿Son ciertos estos temores? ¿Existen factores que empujen hacia una situación semejante? El *Institute For The Future, IFTF*, de la University of Phoenix ha elaborado su estimación en base a la identificación de lo que denominan motores (*drivers*) que empujan hacia el cambio. Según sus propias palabras:

We begin every foresight exercise with thinking about drivers—big disruptive shifts that are likely to reshape the future landscape. Although each driver in itself is important when thinking about the future, it is a confluence of several drivers working together that produces true disruptions. We chose the six drivers that emerged from our research as the most important and relevant to future work skills.

El IFTF identifica estos seis motores en los siguientes términos:

- Longevidad extrema. El aumento de la esperanza de vida obliga a la redefinición de las carreras profesionales y su aprendizaje para acomodarlas al giro demográfico.

- Aparición de sistemas y máquinas inteligentes. La automatización del trabajo acabará por desplazar el trabajo humano de las tareas rutinarias y repetitivas.
- Un futuro digital. La proliferación de dispositivos, el procesado de datos y su integración en los objetos cotidianos convertirán el mundo en un "sistema programable".
- Nuevos medios de comunicación. Las nuevas tecnologías y de comunicación asociadas han transformado la forma de comunicarse y obligan a desarrollar una nueva cultura audiovisual.
- Creación de organizaciones superestructura que escapen a los límites de las organizaciones políticas o económicas tal y como las conocemos y generan nuevos modos de producción, y exigen nuevas competencias personales y profesionales.
- Un mundo inter e hiperconectado en el que la transmisión de la información y de los contenidos se hace *online* y en tiempo real 24 horas al día y desde cualquier punto del mundo.

Si el mundo cambia en esta dirección, la formación superior, cuya orientación debe ser la de formar los profesionales para esta nueva sociedad, no puede caminar en otra distinta.

“El aumento de la esperanza de vida obliga a la redefinición de las carreras profesionales y su aprendizaje para acomodarlas al giro demográfico.”



unsplash.com

Pero ¿cómo lograr esta adaptación? Lo que se ha comprobado es que la formación clásica no es capaz de ofrecer lo necesario. Por ello, desde hace tiempo se busca un cambio educativo orientándolo hacia lo que se ha denominado el enfoque por competencias. Definiciones hay innumerables, pero una que considero útil de este concepto es definirlo como:

“El desarrollo de las capacidades complejas que permiten a los estudiantes pensar y actuar en diversos ámbitos [...]. Consiste en la adquisición de conocimiento a través de la acción, resultado de una cultura de base sólida que puede ponerse en práctica y utilizarse para explicar qué es lo que está sucediendo” (Cecilia Braslavsky).

Según este modelo, deben identificarse las situaciones en las que los titulados tienen que ser capaces de desenvolverse de forma eficaz. Una forma de resumirlo es la que la propia Oficina Internacional de Educación, OIE, de la UNESCO definió ya en el año 2007:

“La elección de la competencia como principio organizador del currículum es una forma de trasladar la vida real al aula” (Jonnaert, P. et al, Perspectivas, UNESCO, 2007).

EL ENFOQUE POR COMPETENCIAS

Desde el inicio de la creación del EEES hay un gran interés por parte de los países integrantes de la Unión Europea en adaptar las titulaciones universitarias a su mercado laboral. Al ser un mercado único, la adaptación exige establecer las pautas para diseñar una titulación universitaria que posea una base común dentro del marco europeo. El primer paso debe ser siempre la realización de un exhaustivo análisis del mercado laboral, entendido este como algo dinámico que abarca mucho más allá de las fronteras de cada estado miembro. Este análisis, como ya he dicho dinámico y en constante revisión, debe ser la base para diseñar los perfiles académicos y profesionales que deben reunir las titulaciones universitarias europeas.

Para la universidad, el enfoque por competencias debe pretender un doble objetivo. El primero es la definición del perfil, acorde con las competencias que se desean en el profesional. El segundo es disponer de una herramienta para comparar lo que se imparte en cada momento con lo que se consigue y se demanda.

El conocimiento teórico y la memorización de hechos y datos, objetivos del enfoque convencional, deben quedar definitivamente superados. Las competencias son habilidades que, por su propio carácter dinámico, no “caducan” con el tiempo, frente al riesgo de obsolescencia del conocimiento adquirido tiempo atrás, y que están más y mejor alineadas con la transformación que está teniendo lugar en la sociedad.

LAS COMPETENCIAS

Ahora nos podemos preguntar qué competencias son las que deberemos empezar a enseñar a los alumnos, y, por ende, futuros profesionales.

Lo primero que hay que decir, aunque más adelante haremos más hincapié en ello, es que las competencias no se adquieren de una vez y para siempre. Su aprendizaje es dinámico y tiene lugar a lo largo de toda la vida, ya que la experiencia es una de sus principales maestras. Pero esto no nos exime de la responsabilidad de comenzar el proceso desde que los alumnos entran en nuestras aulas.



unsplash.com

Antes de enumerarlas y explicarlas brevemente, hay que decir que las competencias que se deben adquirir en la formación superior son las que luego serán exigidas. Esto no significa otra cosa que es en el mundo laboral donde la universidad tiene su fuente de conocimiento: lo que piden empresas y organizaciones es en lo que debemos formar. Aunque esto parezca una verdad de Perogrullo, merece la pena señalarlo porque luego se malinterpreta, afirmando sin ningún rigor que esto es una mercantilización de la universidad y que esta no debe estar al servicio de las empresas. Pero la universidad sí debe estar al servicio de la sociedad y lo que se busca en los profesionales del futuro es, en todos los casos, lo mismo. Como ya he mencionado anteriormente, trasladar la vida real al aula.

Las competencias son básicamente las mismas en casi todas las fuentes consultadas, aunque se describen como las seis, las siete, las nueve... competencias básicas. No es mi intención decantarme por ninguna opción, por lo que presentaré mi propia lista. Lo que considero adecuado es separar aquellas que tienen un claro contenido profesional de aquellas otras que lo tienen más personal o psicológico. También quiero dejar claro que el orden de exposición no significa que haya querido graduarlas por importancia, ya que las considero igualmente válidas y necesarias.

Competencias relacionadas con la comunicación

Según estudios de varias consultoras, la capacidad de comunicación efectiva se produce cuando una idea, un mensaje o una argumentación se transmite al receptor de forma comprensible y clara, persuadiéndolo y que este lo tome como propio ya que está alineado con sus ideas y expectativas. La expresión firme y convencida, asertividad, la capacidad para contar un argumento de forma coherente, el *storytelling*, la capacidad de escuchar e incorporar argumentos de los demás, escucha empática, y el dominio del miedo escénico son las características que hacen que la comunicación sea realmente efectiva. Si se saben destacar los puntos fuertes de una propuesta e identificar los riesgos se obtiene el plus de credibilidad que debe tener el emisor del mensaje para alcanzar la confianza de los receptores.

Esta competencia, aunque se desarrolla y se mejora conforme se gana en experiencia, puede practicarse en las aulas con los alumnos por medio de la exposición de temas y trabajos, tanto individuales como colectivos,

pero también en el desarrollo de las clases más tradicionales, por medio de que dejen de ser unidireccionales profesor-alumno. Invitar e incitar a la participación es imprescindible para ello.

Competencias relacionadas con el liderazgo y la gestión de equipos

Cuando se habla de liderazgo suele pensarse con mucha frecuencia en una habilidad reservada a directivos, posición que parece muy alejada de las expectativas de nuestros alumnos a corto plazo. Pero ello no tiene por qué ser así. Muy pronto, en la vida laboral, los profesionales se ven involucrados en proyectos que deben gestionar por sí mismos, en los que deben ejercer cierto liderazgo. Además, y cada vez con mayor frecuencia, el trabajo se realiza de forma cooperativa por medio de grupos, en los que hay que saber adaptarse a los perfiles de los diferentes colaboradores, espíritu de equipo, y en los que también hay que organizar y supervisar el trabajo de otros. Y todo esto hay que hacerlo desde una perspectiva colaborativa y

transversal. Hoy en día, en casi todas las organizaciones, la responsabilidad social exige que deba tenerse en cuenta a todos los grupos de interés afectados, *stakeholders*, por lo que esta visión transversal y multidisciplinar se hace cada vez más necesaria en la impartición de nuestras clases. Todos los temas explicados deberían estar acompañados de una reflexión de por qué, para qué, a quién afecta hoy y mañana, etc.

Competencias relacionadas con la capacidad de adaptación a nuevas tecnologías, a la flexibilidad y a la capacidad de innovación

Hoy en día pensamos que las tecnologías relacionadas con las comunicaciones y el procesado de datos e información son algo novedoso, que nunca antes había ocurrido algo similar. También es frecuente pensar que las nuevas generaciones, a las que llamamos nativos digitales, tienen mucho ganado en este campo y que su adaptación es muy sencilla. Nada de esto es cierto. Cambios tecnológicos los ha habido siempre, y los seguirá habiendo. No es más difícil mantener una

“Las competencias que se deben adquirir en la formación superior son las que luego serán exigidas.”





“La información que nos llega a todos de forma permanente es abrumadora. Cada vez es más difícil discernir lo valioso de lo superfluo. Estamos en lo que algunos llaman tiempos de *infoxicación*.”

todo el mundo tira del carro” pone de manifiesto que hay personas que solo están dispuestas a hacer algo si es imprescindible, es decir, que hay personas que no están motivadas. También quiero señalar que la motivación no puede convertirse en una especie de sacrificio personal, donde uno se desentiende de sí mismo y lo entrega todo a los demás. La forma de que esto no ocurra es que los profesionales tengan una elevada capacidad de desarrollo continuo, de tal forma que su capacidad de aprendizaje sea sencilla y efectiva. Se podría decir que el nuevo conocimiento adquirido no suponga un esfuerzo de estudio enorme que lo desincentive. A esta característica se la denomina *learning agility*, término que deja suficientemente claro su significado. Hay que aceptar que nunca se sabe lo suficiente y que la actitud de querer crecer y de superarse debe ser permanente.

Competencias relacionadas con la creatividad

Se dice que hay de todo en el mundo. Que si se busca con la suficiente insistencia podemos encontrar cualquier cosa. Y con Amazon, hasta te lo traen a casa. Pero esto no debe hacer olvidar que se exige a los profesionales que se diferencien unos de otros, ya que esta es la única forma de que su organización también lo haga de sus competidores. ¿Cómo? Aportando un toque creativo, original y diferencial en cada acción que se realiza. Los trabajos en clase, los trabajos de fin de estudio, TFE, son posibilidades que tienen los alumnos de poder comenzar a desarrollar su creatividad y originalidad en lo más cercano a su formación. Evaluar este concepto, y no solo el contenido del trabajo concreto, debería incorporarse a la formación de los alumnos. Puede criticarse esto por el grado de subjetividad que conlleva, pero la realidad a la que se van a enfrentar los titulados será esa misma. En cualquier organización a la que se dirijan se van a encontrar con muy pocos evaluadores de su capacidad creativa, que lo harán en un momento y lugar concreto. Es decir, siempre bajo la subjetividad del evaluador y a la excepcionalidad de un instante particular.

Competencias relacionadas con la gestión de la información y la capacidad de concentración

La información que nos llega a todos de forma permanente es abrumadora. Cada vez es más difícil discernir lo valioso de lo superfluo. Estamos en lo que algunos llaman tiempos de “infoxicación”. Pero todos los profesionales en el ejercicio de su trabajo están obligados a recopilar, filtrar y clasificar información. Y con lo recabado, elaborar sus planes, programas de trabajo,

videoconferencia que una reunión presencial. No es más complejo enviar un email que un fax. Lo que sí es diferente es que las nuevas tecnologías tienen una vigencia cada vez menor. Hoy ya nadie usa aplicaciones como el “Messenger”, a pesar de que apenas tiene veinte años de vida. Pero este cambio continuo nos afecta a todos. Lo que los jóvenes ya saben con dieciocho años, también se volverá obsoleto en poco tiempo y tendrán que aprender cosas nuevas. Además, la tecnología camina hacia en uso masivo de datos, *big data*, y la inteligencia artificial, el *blockchain*, y, en esos aspectos, casi todos estamos igual. Por tanto, la necesidad de adaptación a lo nuevo, la flexibilización de las formas de trabajo y generar un espíritu innovador son imprescindibles para que los conocimientos que poseen sean aplicables a los problemas a los que deben enfrentarse. Nuevamente se puede hacer mucho trabajo en las aulas sobre estos aspectos. El desarrollo de ideas nuevas de forma original es un buen ejercicio de entrenamiento.

Competencias relacionadas con la inteligencia emocional

Ya he dicho anteriormente que el trabajo tiende a tener hoy en día un marcado carácter grupal. Por tanto, es inevitable que durante la labor profesional se creen relaciones afectivas con el resto de compañeros, lo que exige gestionar las emociones. Es necesario saber identificar cuáles son los motivos que producen malentendidos y que pueden desencadenar conflictos. El silencio ante situaciones así tampoco es una buena solución, ya que genera inestabilidad emocional (miedo, inseguridad, etc.) y reduce la capacidad de interrelacionarse. También he comentado con anterioridad que, en la actualidad, la velocidad a la que se producen los acontecimientos es muy elevada. Estar delante de problemas por resolver casi de forma continua y tener poco tiempo para disfrutar de los éxitos es un generador de stress que también hay que saber gestionar. Bajo presión,

nadie piensa con la suficiente calma y las soluciones adoptadas suelen alejarse bastante de la mejor opción. La inmediatez prima sobre la eficiencia. En las aulas sometemos a los alumnos a situaciones de presión emocional, durante las evaluaciones a las que los sometemos, por lo que también tenemos herramientas para enseñarles a dominar estos momentos de desasosiego.

Competencias relacionadas con la motivación y el desarrollo continuo

Entiendo la motivación como la conciencia de que la realización de una determinada tarea va a costar un esfuerzo significativo, pero que se tiene la firme voluntad de hacerla, ya que la recompensa, sea de la naturaleza que sea, supera con creces al trabajo necesario. Esta forma de pensar, sé lo que quiero, sé lo que me va a costar lograrlo, y quiero hacerlo, es lo que hoy se exige a todos los profesionales. El dicho popular de que “no

propuestas, etc. Además del riesgo de utilizar fuentes poco o nada fiables, también hay que aprender a gestionar el tiempo. La búsqueda no puede ocupar más tiempo que la ejecución del plan. Si no se sabe cómo gestionar este recurso escaso, el tiempo, perderemos el nuestro y se lo haremos perder a los demás. También es muy importante que se sea consciente de que no se puede perder la concentración porque hayamos recibido una determinada información no esperada. Si es relevante, se gestiona y se incorpora a lo que haremos, y, si no lo es, hay que saber evitarla. Nosotros impartimos cursos cuya duración es larga. Un cuatrimestre, y en algunos casos un año, es un buen marco para enseñar a los alumnos a que aprendan a gestionar su tiempo, regulando el esfuerzo durante todo el tiempo lectivo. El mundo laboral siempre es una carrera de fondo en la que no es posible esprintar al final.

Competencias relacionadas con la actitud y ética profesional

Hasta ahora he comentado las competencias y habilidades que se refieren al desempeño de las labores profesionales. Pero esto no quiere decir que no existan otras que deben marcar la actitud de la persona en toda su actividad vital, sea profesional o no. Deben formar parte de la ética y los valores de la persona. Para no extenderme en demasía, las comentaré brevemente:

- Gestión de la multiculturalidad. Cada vez más, las organizaciones están integradas por personas de diversas nacionalidades, con orígenes y circunstancias distintas.
- Pensamiento crítico. Hay que saber analizar y evaluar los resultados de nuestras acciones y hacerlo con la honestidad suficiente para reconocer dónde se han podido cometer fallos.
- Lealtad. La lealtad obliga a anteponer el bien común al propio.
- Responsabilidad. Esta supone que el profesional debe asumir el control de sus actividades, siendo capaz de responder a los resultados que se obtienen, positivos y negativos, admitiendo los errores.

QUÉ CONDICIONA LA ADQUISICIÓN DE COMPETENCIAS

Una primera cuestión para tener en cuenta es que hay que distinguir entre “ser capaz” y “ser competente”. Toda competencia precisa de todo un conjunto de conoci-

mientos, procedimientos y actitudes combinados, coordinados e integrados. Como ya expuso Miller en 1990, “el individuo ha de *saber, saber hacer, saber ser y saber estar* durante su ejercicio profesional”. Cuando se logra esto, la persona es capaz. Pero la competencia también exige saber utilizar los recursos personales disponibles para que la ejecución de una determinada actividad sea eficaz. Las capacidades son, por tanto, condición *sine qua non* para la competencia, pero no suficientes.

Otra característica muy importante de las competencias es su dinamismo. Es posible comenzar a desarrollar competencias en todos los niveles educativos, pero este proceso de aprendizaje no finaliza nunca. La experiencia personal y profesional son fuente permanente de adquisición de nuevas herramientas y habilidades. Siempre se ha dicho que la experiencia es un grado, pero no está de más recordarlo en estas líneas. Además, y junto con lo comentado sobre capacidad y competencia anteriormente, hay que ser consciente de que el conocimiento adquirido y su aplicación a cada caso concreto es lo que forma la competencia.

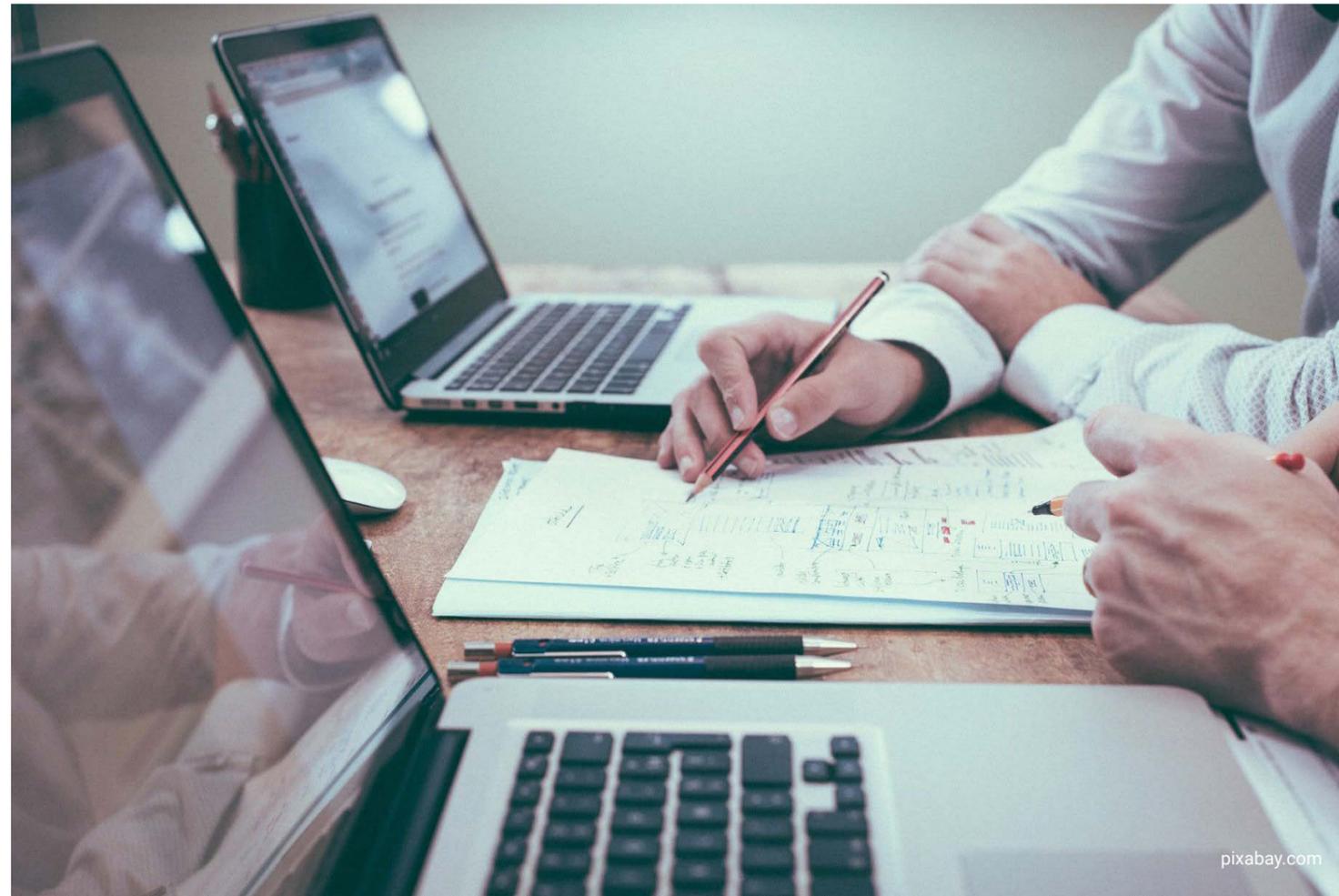
Aquí es donde llegamos a un primer aspecto que quiero señalar sobre nuestra actitud docente para lograr un enfoque centrado en la adquisición de competencias. La evaluación a la que sometemos a nuestros alumnos, aunque mostremos nuestra voluntad hacia un nuevo modelo, sigue estando ligada a disciplinas, materias y asignaturas. La evaluación mayoritariamente queda reducida a la comprobación de que el alumno ha adquirido un determinado volumen de conocimiento en un plazo temporal dado. Poco se evalúa si es capaz de ponerlo en práctica. Algunos expertos han propuesto cambiar el sentido de la evaluación, desde la perspectiva estática actual, fotografía puntual, a otra dinámica, vídeo, donde no solo se evalúa en momento, sino todo un periodo.

Esta nueva evaluación debe tener planteamiento interdisciplinar, lo que supone la coordinación de materias en unidades mayores, con trabajo conjunto de equipos docentes y de varios departamentos. Buenas posibilidades para ello son los prácticos y los TFE, donde sí es posible evaluar la competencia profesional de forma más multidisciplinar e integradora.

¿CUÁNDO COMENZAR CON LA FORMACIÓN ORIENTADA A LA ADQUISICIÓN DE COMPETENCIAS?

Antes de proponer ideas para responder a esta pregunta es conveniente tener presente el siguiente dato. El coste de la formación para las empresas españolas supone, según Eurostat, cerca del 1% del total de costes laborales, en línea con la media de la Europa comunitaria. Sin embargo, las empresas destinan el 80% de su presupuesto en formación al 20% de la plantilla (managers y directivos), por lo que el reto fundamental es reinvertir el 20% restante en el 80% de los trabajadores. Como no es factible que esta situación revierta a corto plazo, las etapas formativas previas al inicio de la vida laboral tenemos un gran papel que desarrollar en el inicio de la formación en competencias.

Además, como indica un estudio de la empresa Adecco, el modelo para lograr una formación adecuada en competencias durante toda la vida laboral es el denominado 70/20/10, lo que quiere decir que las habilidades se deberían adquirir en un orden del 10% en



“El mundo laboral siempre es una carrera de fondo en la que no es posible esprintar al final.”

el aula, un 20% por intercambio de conocimiento con colegas profesionales y 70% a través de la experiencia.

Tanto por los condicionantes, como por la experiencia existente, la universidad española tiene un gran papel en el nuevo modelo educativo que se exige desde el mundo del trabajo.

Antes he comentado sobre el carácter dinámico de la adquisición de habilidades profesionales. Ahora quiero señalar que este aprendizaje debe estar enfocado a la acción del participante. Esto significa que la puesta en práctica ante una situación es el único objetivo. No se puede pensar que una competencia es un conjunto de saberes que tenemos a modo de fondo bibliográfico en nuestra mente. La formación solo se podrá obtener, y evaluar por parte del profesorado, si los alumnos se enfrentan a situaciones de elevado realismo, en las que el resultado final dependa notablemente de que la competencia haya sido adquirida. Algunos expertos abogan por la creación de “escenarios de actuación socioprofesional”, donde la acción y la práctica son referentes y recursos formativos. Esta nueva metodología requiere un planteamiento más abierto, variado y flexible, acorde con la interdisciplinariedad ya comentada.

Como ya se dijo anteriormente se pretende un acercamiento a la realidad, integrándola en las aulas de forma simulada, pero que proporcione un entorno mucho más realista que el actual.

Durante la formación se considera que una buena metodología a aplicar sería a través de los pasos de la Pirámide de Miller. Estas etapas son:

- *Saber (know)* o conjunto de conocimientos teóricos que todo profesional debe dominar. Nuestra labor como docentes en esta etapa debe centrarse en impartir los conocimientos más actualizados de cada disciplina, incluyendo lo que se denominan Mejores Prácticas Disponibles (*Best Available Techniques*)
- *Saber cómo (know how)*. El objetivo es asegurar que el alumno conoce qué saberes teóricos adquiridos tendría que poner en práctica en un contexto particular. En el nivel educativo podemos centrarnos en previsualizar la situación y hacer un compendio del conocimiento que va a ser necesario para resolver el problema al que hay que enfrentarse. Es una primera aproximación a la práctica profesional.
- *Demuestra cómo (show how)*. Una vez determinadas qué herramientas van a ser precisas, el alumno



“Tanto por los condicionantes, como por la experiencia existente, la universidad española tiene un gran papel en el nuevo modelo educativo que se exige desde el mundo del trabajo.”

debe demostrar cómo lo haría, de forma lo más cercana a la realidad. La etapa está basada en simulaciones, no es aún práctica profesional directa, pero es de una gran utilidad. La enseñanza basada en el llamado “método del caso” está basada en este principio.

- *Hacer (doing)*. Es con diferencia la etapa más compleja para poner en práctica durante la formación universitaria, pues requiere que el estudiante se enfrente a una situación práctica profesional real. Las mejores situaciones para aproximarse a esta necesidad es aprovechar las prácticas externas y los TFE, orientándoles a su realización en un entorno real ajeno a la institución académica.

Evaluación de competencias

Una consecuencia de la introducción de las competencias, como algo fundamental para el buen desarrollo profesional, es que hay que incorporar aspectos personales a los requerimientos para el desempeño de un trabajo más allá de los conocimientos. La aptitud, saber, debe complementarse con la actitud, comportamiento. La actitud está relacionada no solo con la psicología del individuo, como por ejemplo el nivel de introspección

que cada uno mostramos, sino también con los comportamientos ante las situaciones, que generalmente son los más observables, evaluables y, en determinados casos, ejemplarizantes.

El efecto o consecuencia de estos es directo y se puede resumir en que la evaluación no se podrá basar mayoritariamente en los exámenes y test, como ha sido el caso en el enfoque tradicional. Hay que pensar en procesos evaluadores que tengan en cuenta las experiencias y los comportamientos.

Para que la evaluación sea lo más adecuada hay que considerar el proceso completo de aprendizaje. Según el Profesor Dr. Gerhard P. Bunk, de la Universidad de Giese (Alemania)

“El proceso de aprendizaje profesional debe organizarse de forma que provoque en el alumno durante numerosos aprendizajes sucesivos la facultad de actuar autónomamente como una competencia autoorganizativa.”

Por tanto, y también en palabras del Prof. Bunk, “posee competencia profesional quien dispone de los

conocimientos, destrezas y actitudes necesarias para ejercer una profesión, puede resolver problemas profesionales de forma autónoma y flexible y está capacitado para colaborar en su entorno profesional y en la organización del trabajo”.

La evaluación de competencias debe ser un proceso en el que se comparen las competencias desarrolladas con las requeridas para el desempeño de una tarea. Una gran diferencia radica en que, en la evaluación de conocimiento, la exigencia es similar para todos los alumnos, mientras que en la evaluación de competencias esta debe ser individualizada, ya que la experiencia personal y la actitud propia es única para cada persona.

En el caso de la selección de nuevo personal, como es a lo que se enfrentan los nuevos titulados, se emplean técnicas variadas para la evaluación previa de las competencias del candidato, como son las listas de verificación, bien con valoración cualitativa o cuantitativa por medio de escalas. Se pretende buscar en el profesional valores diferenciales con respecto al resto, dando al empleador información adicional para

que pueda formarse un juicio de la adecuación entre la persona-solicitante y el puesto ofrecido. Si la formación recibida por los alumnos se orienta hacia la obtención de las competencias, descritas con detalle anteriormente, el nuevo titulado podrá ofrecer un perfil real mucho más adecuado a lo que, hoy en día, es demandado en lo profesionales.

En algunos casos, pocos, se somete a prueba a los candidatos, por medio de plantearles situaciones o casos prácticos similares, en términos de competencias exigidas, a los que tendrán que abordar en su trabajo, con el objetivo de cuantificar en algún grado el nivel de competencia que poseen.

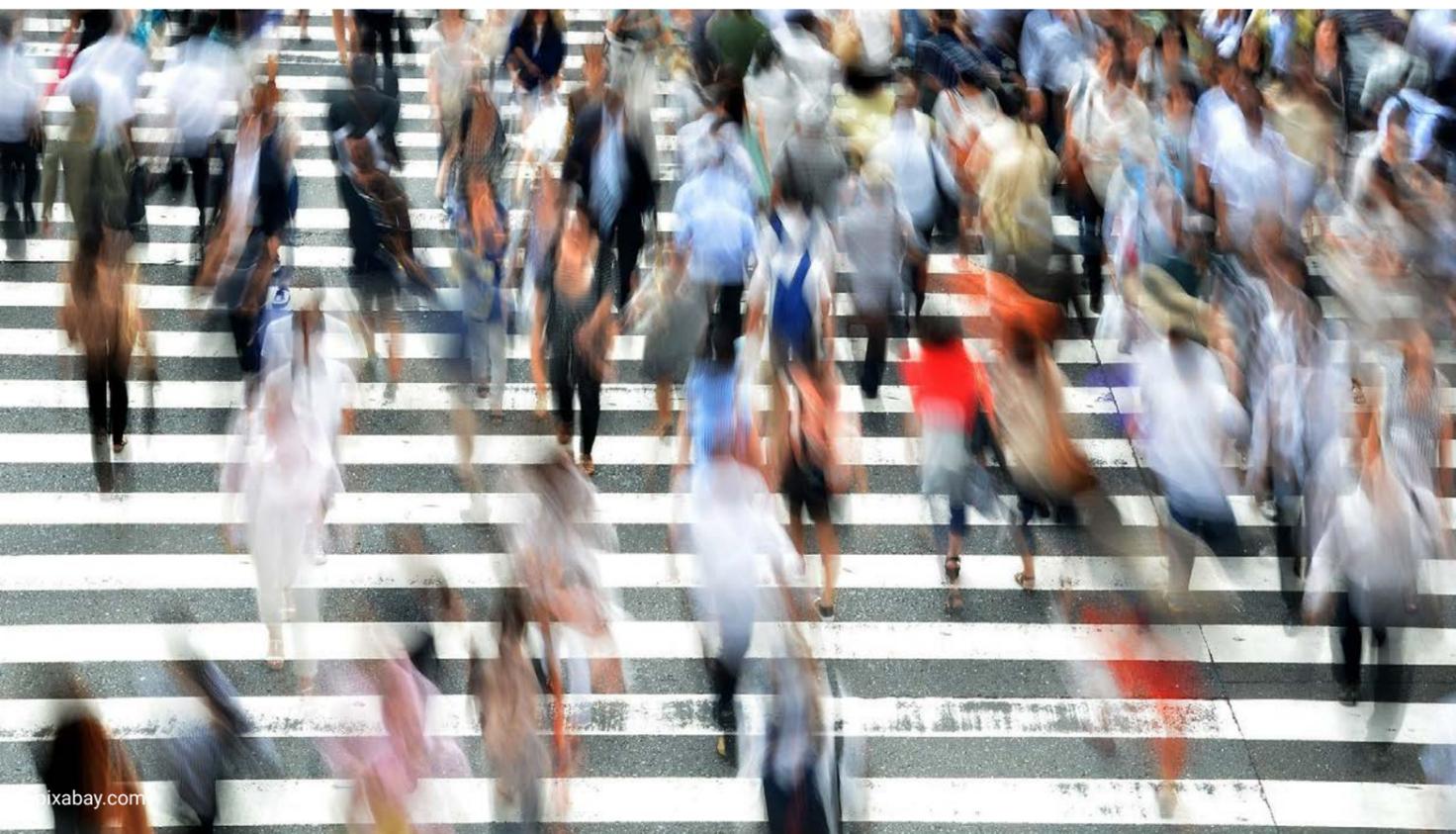
Durante la formación en nuestras aulas, podemos ejercitar a los alumnos en este tipo de técnicas ya que, como anteriormente se dijo, solo un pequeño porcentaje de las competencias puede ser adquirido a través de la formación, quedando otro significativamente mayor para el intercambio de conocimiento, el cual también es posible practicarlo cuando los alumnos todavía están en la universidad.

CONCLUSIONES

- Las sociedades modernas están en un proceso de cambio permanente que precisa que los individuos que las integramos seamos capaces de adaptarnos lo más rápida y eficazmente posible a los mismos.
- El enfoque de una formación en competencias debe ser la base para un nuevo modelo formativo que sustituya al modelo clásico, basado en la acumulación de conocimientos.
- Las competencias que debemos potenciar en nuestros alumnos son aquellas que se derivan de las necesidades sociolaborales de la sociedad actual, sin que esto suponga ningún tipo de mercantilización de la universidad. Nuestros alumnos de hoy son los profesionales de mañana. Su capacitación real debe comenzar en las aulas.
- El proceso de obtención de las competencias profesionales es algo dinámico que no se puede lograr solo por vía formativa. El conocimiento adquirido debe estar complementado con la adquisición de herramientas y habilidades por parte de los individuos que les permitan ser competentes ante la variedad de situaciones a las que tendrán que enfrentarse.
- Aunque la universidad tiene un objetivo claro de impartir conocimiento entre sus alumnos, y que estos lo adquieran, esta formación debe organizarse para que la adquisición de las competencias sea auténtica y no un mero adorno curricular. La resolución de algún caso práctico relacionado muy estrechamente con el área de conocimiento de la titulación es claramente insuficiente.
- La evaluación de las competencias debe realizarse de forma lo más similar posible a aquella a la que se van a enfrentar los alumnos cuando se hayan convertido en profesionales. No se pueden esgrimir argumentos de singularidad en la educación superior para no aplicar dentro lo que la sociedad hace fuera.

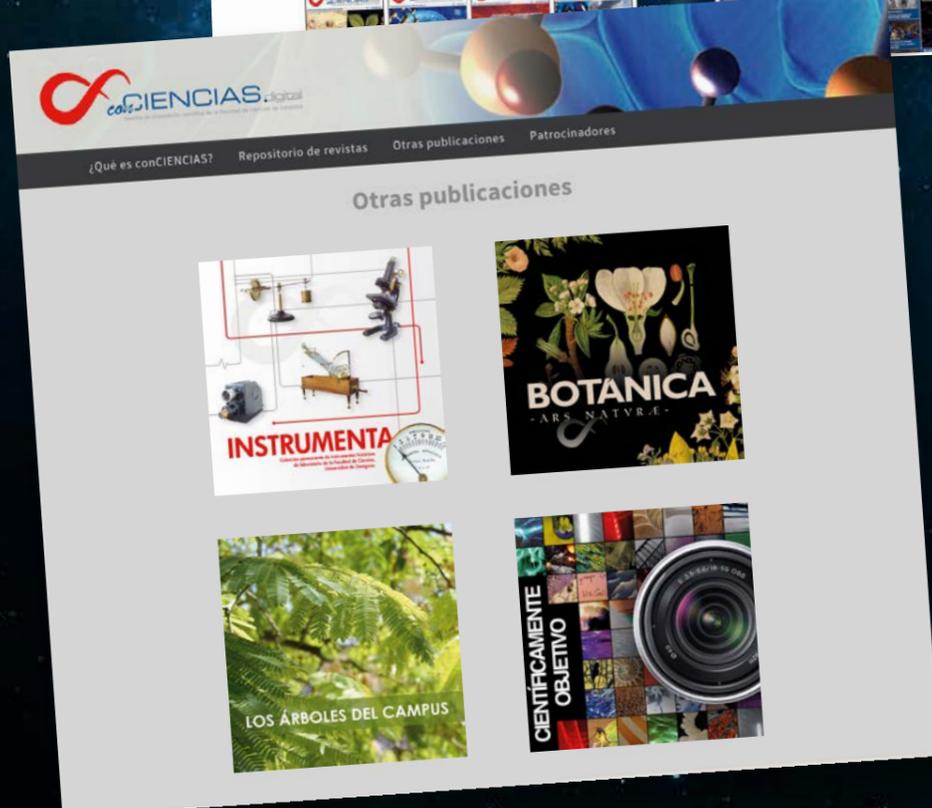
BIBLIOGRAFÍA

- <https://b-talent.com/es/blog/category/desarrollo-competencias/>
- https://elpais.com/economia/2019/12/26/actualidad/1577364486_808223.html
- <https://www.udemy.com/courses/search/?src=ukw&q=Tendencias+en+el+entorno+laboral+2020%3A+las+habilidades+del+futuro>
- <https://www.goodhabitz.com/es-es/>
- <https://directivosygerentes.es/directivosygerentes/videos/transformacion-digital-recursos-humanos>
- <https://www.iftf.org/futureworkskills/>
- Las competencias profesionales demandadas por las empresas: el caso de los ingenieros. M. Marzo, M. Pedraja, P. Rivera, Unizar. Revista de Educación, 341. Septiembre-diciembre 2006, pp. 643-661
- Técnicas para obtener la opinión de los empleadores. Galán Vallejo, M. Seminario Métodos de análisis de la inserción laboral de los universitarios. León, 9, 10 y 11 de junio.
- <http://www.ibe.unesco.org/fr/th%C3%A8mes/approches-bas%C3%A9es-sur-les-comp%C3%A9tences>
- La evaluación de competencias laborales J Gil Flores - Educación XX1, 10, 83-106., 2007 - [idus.us.es](http://www.idus.us.es)
- Evaluación de competencias profesionales en educación superior: retos e implicaciones. Tejada Fernández J., Ruiz Bueno C. Educación XX1, vol. 19, núm. 1, 2016, pp. 17-37
- The assessment of clinical skills/competence/performance. Miller, G E Academic Medicine: September 1990 - Volume 65 - Issue 9 - p S63-7
- El futuro del empleo y las competencias profesionales del futuro: la perspectiva de las empresas. M. L Blázquez, R Masclans, J Canals. IESE 2019
- La transmisión de las competencias en la formación y perfeccionamiento profesionales de la RFA. G. P Bunk. Revista Europea de Formación Profesional. 1994.



Ana Isabel Elduque
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

ii 14 años divulgando
la Ciencia!!



divulgacionciencias.unizar.es

ACTIVIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DIRIGIDAS A LOS CENTROS DE SECUNDARIA. CURSO 2021/22

Después de un curso difícil, en el que hubo que reducir al máximo las actividades a los centros de secundaria, este curso 2021/22 debe marcar un retorno paulatino a la normalidad que todos deseamos y por ello, desde el Vicedecanato de Proyección Social y Comunicación, se han empezado a retomar, con ciertas precauciones, las actividades de divulgación que veníamos realizando.

Jornadas de Puertas Abiertas

Con esta actividad se pretende dar a conocer la Facultad de Ciencias a los estudiantes de 4º de E.S.O. y 1º y 2º de Bachillerato de Centros de Educación Secundaria y Bachillerato de la Comunidad de Aragón, a través de la visita a sus instalaciones y de la realización de actividades en las distintas secciones.

Estas jornadas se van a desarrollar a lo largo de todo el curso académico 2021-22, aunque con la mitad de aforo, recibiendo en cada jornada un máximo de 40 estudiantes. Constan de 10 jornadas que comenzarán en el mes de diciembre de 2021 y se desarrollarán hasta

mayo de 2022. Las visitas programadas son: 16 de diciembre, 13 y 20 de enero, 10 y 24 de febrero, 10 y 17 de marzo, 7 y 21 de abril y 12 de mayo. Las visitas se organizan en grupos de 10 alumnos, acompañados por un profesor del centro de origen, y están guiadas por profesores e investigadores de la Facultad, de los Institutos de Investigación asociados y por personal del Servicio General de Apoyo a la Investigación (SAI) de la Universidad de Zaragoza. Durante la visita, los grupos de alumnos tienen la oportunidad de visitar distintos departamentos y servicios de la Facultad, recibiendo además una charla informativa sobre el Centro y las titulaciones que en él se imparten.

Los departamentos, áreas, servicios y laboratorios implicados en estas jornadas y que explican sus líneas de trabajo e investigación son: Criptografía, Química Analítica, Química Física, Química Inorgánica, Química Orgánica, Difracción de RX, Servicio de Líquidos Criogénicos-SAI, Servicio de Análisis Químico-SAI, Servicio de preparación de rocas-SAI, Óptica, Cristalografía y Mineralogía, Paleontología, Estratigrafía, Geodinámica Interna, Física Atómica Molecular y Nuclear, Física de la Materia Condensada y distintos Institutos Universitarios de Investigación (ICMA, ISQCH e IUMA).

Visita de Profesores de la Facultad a centros de Enseñanza Secundaria

Otra de las actividades dirigidas a centros de educación secundaria son las visitas de profesores e investigadores a aquellos centros que lo soliciten. Durante estas visitas se informa a los alumnos de los grados que se imparten en la facultad, de las salidas profesionales que ofrecen y de las actividades complementarias que se realizan en la facultad tanto para alumnos de secundaria como para alumnos de grado.

Esta actividad cobró especial relevancia el curso 2020/21, ya que fue la única que se ofertó, y en la que los profesores e investigadores del centro realizaron 45 visitas a diferentes centros de secundaria de la comunidad autónoma.

En principio esta actividad es presencial, pero si la situación no lo permitiese tenemos un video recientemente realizado sobre la Facultad de Ciencias, trípticos de las titulaciones y la posibilidad de realizar videoconferencias tanto para realizar la presentación como para resolver las dudas de los estudiantes de secundaria y bachillerato interesados en nuestras titulaciones.

VI Taller de Impresión 3D

Otra actividad que se ha retomado, y que no pudo ser realizada el curso pasado, es una nueva edición del Taller de impresión 3D, dirigido a estudiantes de 4º de ESO y 1º de Bachillerato. No obstante, y dada la situación en la que actualmente nos encontramos, tendrá un aforo limitado a 6 centros y 24 estudiantes y profesores.

Esta actividad plantea el desarrollo de un proyecto de impresión 3D orientado al diseño e impresión de objetos. El objetivo principal es acercar a los alumnos de secundaria y bachillerato al mundo de la impresión 3D y demostrar su aplicación a múltiples facetas de la educación.

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

Esta actividad estará dirigida por José Barquillas, profesor colaborador extraordinario del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ciencias.

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



“Este curso 2021/22 debe marcar un retorno paulatino a la normalidad que todos deseamos.”

ODS 1 A 6: LOS VÍDEOS DE LA CAMPAÑA

La tercera semana que dedicamos a cada ODS se realiza un vídeo con acciones que han realizado sobre ese ODS personas vinculadas de algún modo con nuestro centro. Estas acciones pueden ser de diversa índole: personales, de investigación, humanitarias... Durante los seis primeros meses del año 2021 se han abordado los seis primeros ODS y los videos que se han realizado son los siguientes:

- **ODS 1: Fin de la Pobreza.** Entrevistamos en la Sala de Profesores a **Esther Millán Cebrián**, egresada en Física de la Facultad y presidenta de la ONG española Amigos de Odhisa, quien nos explica el **sistema de microcréditos** como impulsor del crecimiento económico en una comunidad deprimida: <https://youtu.be/XUT8eiaDYVs>
- **ODS 2: Hambre Cero.** Entrevistamos a **Isolda Duerto Jordán**, estudiante del programa de doctorado de Química Orgánica y a **Daniel Barrios González**, estudiante del programa de doctorado de Física, voluntarios del Banco de Alimentos de Zaragoza, quienes nos van a hablar de la importante labor que realizan los **Bancos de Alimentos en la lucha contra el hambre**: <https://youtu.be/ityQYmzi8-o>
- **ODS 3: Salud y Bienestar.** Entrevistamos a **Almudena Bea Martínez**, egresada del grado en Óptica y Optometría de la Facultad de Ciencias y voluntaria del Proyecto Ilumináfrica, que nos va a hablar de **salud visual** y del **proyecto que la Fundación Ilumináfrica** tiene en el Chad: <https://youtu.be/DDJ2bvYamIQ>
- **ODS 4: Educación de Calidad.** Entrevistamos a **Belén Villacampa Naverac** (Titular del Dpto. de Física de la Materia Condensada y Presidenta de la Asociación Universitarios con la Infancia) y **Jorge Guío Martínez** (estudiante del programa de doctorado de Bioquímica y Biología Molecular y voluntario de la Asociación El Cañar) sobre el compromiso de ambas **Asociaciones en apoyo a la Educación**: https://www.youtube.com/_GZmyiDskfc
- **ODS 5: Igualdad de Género.** Entrevistamos a **María Josefa Yzuel Giménez** (miembro honorario del Senatus Científico de la Facultad de Ciencias) y **María Elisabet Pires Ezquerro** (Titular del Dpto. de

Química Orgánica) para **hablar y reflexionar sobre la Igualdad de Género** y sobre el **Proyecto "Hola, Somos Científicas"**, que pretende motivar al alumnado de Educación Primaria por la Ciencia y poner en valor el trabajo realizado por las mujeres en el ámbito científico:

<https://www.youtube.com/watch?v=vKC2FEbZHU>

- **ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento.** Entrevistamos a **Pedro Arrojo** (Físico y Relator especial de la ONU sobre los derechos humanos al agua y al saneamiento) y **Javier San Román** (Geólogo y Comisario de Aguas adjunto de la Confederación Hidrográfica del Ebro) para **hablar y reflexionar** sobre el acceso universal **al agua potable y al saneamiento**, el problema de la escasez de agua de calidad y no contaminada, del **derecho universal y público al agua**, de la **importancia de la hidrogeología** para el suministro de agua y de la necesidad de cuidar los ecosistemas acuáticos y el medio ambiente: https://youtu.be/_5yFUiMWj18

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

“Durante los seis primeros meses del año 2021 se han abordado los seis primeros ODS.”



- Cartel del ciclo y los entrevistados:**
- A. San Román,
 - B. Esther Millán Cebrián,
 - C. Isolda Duerto Jordán,
 - D. Daniel Barrios González,
 - E. Almudena Bea Martínez,
 - F. Belén Villacampa Naverac,
 - G. Jorge Guío Martínez,
 - H. María Josefa Yzuel Giménez,
 - I. María Elisabet Pires Ezquerro y
 - J. Pedro Arrojo.

La Facultad de Ciencias con los ODS

OCTUBRE 2021
Objetivo del mes

7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE

Ayúdanos y rellena esta encuesta
CUESTA 1 MINUTO

JORNADAS DE ACOGIDA EN LA FACULTAD DE CIENCIAS 2021/22

La Jornada de Acogida de los nuevos estudiantes de la Facultad de Ciencias del curso 2021-22 se celebró, como siempre, de forma presencial aunque, debido a las limitaciones de aforo, consecuencia de la actual situación sanitaria, se realizó en diferentes sesiones. Esta jornada dio comienzo el lunes 13 de septiembre con el Grado de Química y continuó el martes 14 de septiembre con el resto de las titulaciones de la Facultad (Biotecnología, Física, Geología Matemáticas, Óptica y Optometría y los programas dobles de Física y Matemáticas y de Matemáticas e Ingeniería informática).

Esta actividad está dirigida a estudiantes que inician cualquiera de las titulaciones que se imparten en la Facultad de Ciencias y representa un primer encuentro de estudiantes de nuevo ingreso con sus compañeras y compañeros y con el profesorado de su titulación, especialmente representados por los coordinadores de titulación. Es una actividad importante para los nuevos estudiantes a la que se invita también a los profesores que imparten docencia en cada Grado.

Uno de los objetivos de la Jornada de Acogida es ofrecer información general acerca de la Facultad y de los estudios que se cursan en ella para así facilitar una más rápida adaptación de nuestros estudiantes al entorno universitario.

Las jornadas tuvieron una duración aproximada de 2 horas y contaron con la presencia del Decano, la Vice-decana de estudiantes, el coordinador o coordinadora de cada Grado, representantes estudiantiles de la delegación de estudiantes y los estudiantes mentores correspondientes a cada Grado.

En la mayor parte de estas sesiones la jornada terminó con la realización de una visita a las instalaciones de la Facultad, organizada en grupos pequeños para cumplir con las medidas de seguridad. Estas visitas, que fueron dirigidas por los coordinadores y estudiantes mentores, tuvieron muy buena acogida por los estudiantes de nuevo ingreso.

“Esta actividad está dirigida a estudiantes que inician cualquiera de las titulaciones que se imparten en la Facultad de Ciencias.”



Algunas instantáneas de los nuevos estudiantes de la Facultad de Ciencias en las Jornadas de Acogida 2021/2022.

Programa de las jornadas

1. Bienvenida y presentación general de la Facultad. Este curso se hará hincapié en cómo se va a desarrollar la docencia y las medidas de seguridad derivadas de la situación sanitaria que tendrán que seguir los estudiantes en su incorporación a la universidad.
2. Presentación de los recursos técnicos y humanos con los que cuentan los estudiantes: Programa tutor-mentor y tutorías personalizadas
3. Presentación de la actividad estudiantil.

4. Presentación del coordinador o coordinadora de la titulación y de los estudiantes mentores y explicación de los aspectos más importantes del Grado correspondiente
5. Complimentación de encuestas

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

ACTO DE GRADUACIÓN EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LOS GRADUADOS Y TITULADOS DE MÁSTER QUE FINALIZARON SUS ESTUDIOS EN EL CURSO 2019/2020

El viernes día 2 de julio de 2021 por la tarde, la Facultad de Ciencias celebró el acto académico de Graduación en el que tuvo lugar la entrega de diplomas a sus graduados y estudiantes de máster que finalizaron sus estudios en el curso 2019/2020.

Debido al número de titulados que había, se realizaron dos actos académicos para seguir las recomendaciones sanitarias. Ambos actos de graduación tuvieron lugar en el Aula Magna de la Facultad de Ciencias.

- 17:00h: Acto de Graduación de los graduados en Biotecnología y Químicas y de los másteres universitarios en Biología Molecular y Celular, en Biotecnología Cuantitativa, en Química Industrial, en Química Molecular y Catálisis Homogénea, en Materiales Nanoestructurados para aplicaciones Nanotecnológicas y en Erasmus Mundus en Ingeniería de Membranas.

Este acto fue presidido por el Rector, José Antonio Mayoral, el Decano de la Facultad de Ciencias, Luis Morellón y la Vicedecana de Estudiantes y Prácticas Externas, Eva Villarroya.

- 19:00h: Acto de Graduación de los graduados en Física, Geología, Matemáticas y Óptica y Optometría y de los másteres universitarios en Física y Tecnologías Físicas, en Geología: Técnicas y Aplicaciones y en Modelización e Investigación Matemática, Estadística y Computación.

Este acto fue presidido por el Vicerrector de Política Académica, José Ángel Castellanos, el Decano de la Facultad de Ciencias, Luis Morellón y la Vicedecana de Calidad, Aránzazu Luzón.

Esta es la primera vez que el acto de graduación de nuestros titulados se ha desvinculado de la celebración de San Alberto Magno. Esto ha permitido que los recién graduados tuviesen una participación activa en el acto de graduación. Cada promoción fue nombrada por el coordinador/a de su titulación quienes además les dirigieron unas palabras de felicitación y de aliento ante la nueva etapa que se abre ante ellos. Todas las titulaciones prepararon un pequeño vídeo con imágenes

de su promoción a lo largo de estos años y hubo representantes de cada uno de los grados que dirigieron a sus compañeros unas breves e intensas palabras. Los representantes que hicieron estas intervenciones fueron: Jorge Tarancón Díez (Grado en Biotecnología), Natalia Chueca Minguillón y Marta Sánchez Casi (Grado en Física), Ainara Osa Medina (Grado en Geología), Diego Mediel Cuadra (Grado en Matemáticas), Erika Sarco Silva (Grado en Óptica y Optometría) e Inés Sebastián Molia, Alejandra Vallés Roche y Álvaro Lozano Roche (Grado en Química).

Estas intervenciones le aportaron al acto de graduación un carácter entrañable y emotivo que se unió a la solemnidad oficial de dicho acto.

Los dos actos de graduación se pudieron seguir por streaming a través del canal del YouTube de la Facultad, siendo dos de los vídeos que más visualizaciones han tenido en nuestro canal de YouTube con 1628 y 1553 visualizaciones respectivamente:

- Graduación de las 17h: <https://youtu.be/CEKOZtEVJtE>
- Graduación de las 19h: https://youtu.be/6W_Wy7WCEs0

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



Facultad de Ciencias

Fotografías de los laureados.

“Ambos actos de graduación tuvieron lugar en el Aula Magna de la Facultad de Ciencias.”





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



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



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



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



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



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



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



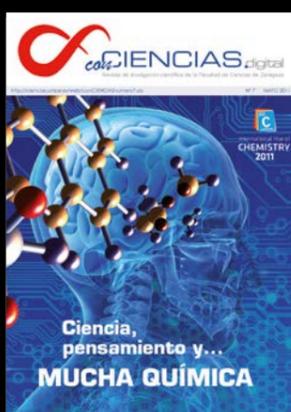
divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/20



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



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



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



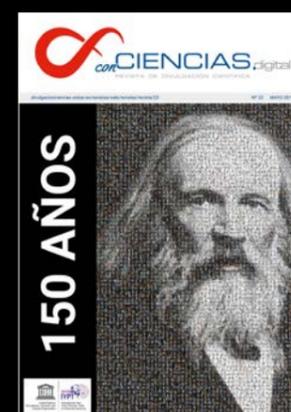
divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/8



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



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



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/24



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



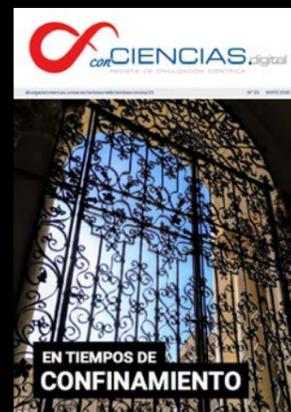
divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/10



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



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



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/25



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/26



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



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



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



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



¡DESCÁRGALAS GRATIS!

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/27

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



con **CIENCIAS**.digital

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Patrocinan:

