



REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • Nº 28 • SEGUNDO SEMESTRE 2005

Cena de Navidad 2005 con Cristina Narbona Dossier La Rioja

- Las bodegas de Laguardia y su incidencia en la patología de las cimentaciones
 - El trabajo con las huellas de dinosaurios
 - Juan José y Fausto Delhuyar: Europa y América en la Ilustración

CONAMA TO STATE OF THE STATE O



CONAMA 8

www.conama8.org





REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACIÓN GEOLÓGICA Nº 28 • SEGUNDO SEMESTRE 2005

Illustre Colegio Oficial de Geólogos

Administración y Redacción

AVDA. DE REINA VICTORIA, 8-4º B 28003 MADRID Tel.: (34) 91 553 24 03

COMITÉ EDITORIAL

EDITOR PRINCIPAL

J.L. BARRERA MORATE

COLABORADORES

JULIO HERNÁN GÓMEZ MARC MARTÍNEZ PARRA JUAN PABLO PÉREZ SÁNCHEZ CARLOS MARTÍN ESCORZA

CORRESPONSALES

Luis Alfonso Fernández Pérez (Asturias)

HTTP://TIERRA.REDIRIS.ES/TT WEBMASTER: ENRIQUE PAMPLIEGA

DISEÑO

PROYECTOS Y PRODUCCIONES EDITORIALES CYAN, S.A. WWW.CYAN.ES
CYAN@CYAN.ES

ISSN: 1131-5016 Deposito Legal: M-10.137-1992

'TIERRA Y TECNOLOGÍA' MANTIENE CONTACTOS CON NUMEROSOS PROFESIONALES DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y DISCIPLINAS CONEXAS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS ARTÍCULOS DE CARÁCTER CIENTÍFICO O INNOVADOR QUE SE PUBLICAN EN LA REVISTA.

LOS TRABAJOS PUBLICADOS EXPRESAN EXCLUSIVAMENTE LA OPINIÓN DE LOS AUTORES Y LA REVISTA NO SE HACE RESPONSABLE DE SU CONTENIDO.

EN LO RELATIVO A LOS DERECHOS DE PUBLICACIÓN, LOS CONTENIDOS DE LOS ARTÍCULOS PODRÁN REPRODUCIRSE SIEMPRE QUE SE CITE EXPRESAMENTE LA FUENTE.

Foto de portada: Antelope Canyon Autora: María Garrido Gil

Sumario

- 2 EDITORIAL
- 3 Cena de Navidad 2005 con Cristina Narbona
- 10 Dinosaurios y educación
- 15 La geología *Trekkie*
- Nuevos dispositivos de visualización estereoscópica aplicados a la fotogeología
- 25 Las bodegas de Laguardia, Álava, y su incidencia en la patología de las cimentaciones
- 31 GEOTERMIA SOLAR. UNA REALIDAD PRESENTE COMO APUESTA DE FUTURO
- 34 BIBLIOGRAFÍA
- 36 Juan José y Fausto Delhuyar: Europa y América en la Ilustración
- 47 Procesos de erosión eólica en la llanura manchega
- 57 APLICACIONES DEL ESTUDIO PETROGRÁFICO DE MORTEROS EN LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO. MORTEROS ROMANOS EN LA RIOJA
- 64 El trabajo con las huellas de dinosaurio en La Rioja
- 78 Aspectos singulares que aportan las huellas de dinosaurios de La Rioja
- 83 Nueva Junta de Gobierno del ICOG
- 86 Los árabes y las estrellas
- 91 Walter Álvarez, Colegiado de Honor del ICOG
- 92 FACILITANDO LAS COSAS 1. EXACTITUD DE LAS MEDIDAS DE PLANOS Y LÍNEAS REALIZADAS CON BRÚJULA DE GEÓLOGO.

Editorial Las cenas de Navidad

C onseguir que un alto cargo de la Administración venga a la cena de Navidad de ICOG es una cuestión ardua, difícil e impredecible. Ardua, porque requiere una compleja labor de contactos que hay que comenzar con meses de antelación. Difícil, porque hacer coincidir las fechas propuestas por el Colegio con la agenda del personaje es complicado. E impredecible, porque los altos cargos, como muchos de ustedes sabrán, no confirman su asistencia hasta un mes antes. Ya me dirán si, ante tantas dificultades, no es un éxito que el Colegio consiga traer a la cena a personalidades tan relevantes como la ministra de Vivienda, en el año 2004, o la ministra de Medio Ambiente, en 2005.

En la actualidad, somos muy bien aceptados como interlocutores en muchas iniciativas ministeriales, en aspectos relacionados con nuestra profesión, cosa que no sucedía hasta hace muy poquitos años. Sin duda, algo tendrá que ver nuestra política colegial de acercamiento a la Administración, aunque sea cenando con ella ¿no? Por si a alguien le quedan dudas, hagamos un repaso de nuestras colaboraciones con los ministerios actuales.

Desde hace un año —realmente desde la legislatura anterior—se ha colaborado con el Ministerio de Vivienda en la elaboración del Código Técnico de la Edificación. Lo que no se consiguió con los gestores anteriores que, todo hay que decirlo, se opusieron a la participación de los geólogos, se ha conseguido con Mª Antonia Trujillo y su equipo ministerial. ¿Alguien duda de que esta colaboración no ha sido un gran éxito profesional para los geólogos españoles? También con el Ministerio de Vivienda estamos participando en la elaboración de la nueva Ley del Suelo, otro hito muy importante para que sean reconocidos los mapas de riesgos naturales como elementos obligatorios a la hora de redactar los planes de ordenación territorial.

Con el equipo de la ministra Cristina Carbona, mantenemos una relación excelente. La ministra, personalmente, ha apostado por consultar, de manera continua, la opinión de los geólogos en muchas de sus iniciativas ministeriales. Así, el Colegio ha participado de manera muy satisfactoria en el dictamen técnico sobre la presa de Itoiz. La presentación del dictamen en el

Ministerio fue todo un espectáculo. El secretario de Estado de Medio Ambiente y el propio colectivo de ingenieros de caminos, también presentes, nos felicitaron por la exposición. Igualmente, el ICOG ha participado en la presentación de enmiendas, a propuesta del propio Ministerio, a los anteproyectos de las leyes de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (qué nombre más ambiguo) y de Parques Nacionales. Conocemos de primera mano que las que presentó el Colegio de Geólogos han sido las mejores que ha recibido el ministerio.

Y la Navidad próxima... ¿quién vendrá a cenar? Si se sigue con el criterio de invitar a un alto cargo de la Administración General —que siempre lo necesitamos— se podría pensar en la ministra de Educación y Ciencia. No por su condición de mujer —que está muy bien— sino porque tenemos pendiente un contencioso con el nuevo catálogo de titulaciones universitarias que exige la Declaración de Bolonia. El futuro catálogo ha despertado temores sobre la necesidad de mantener las titulaciones de Geólogo e Ingeniero Geólogo. Para nosotros, y siguiendo el espíritu de Bolonia de reducir titulaciones, no tiene sentido mantener la de Ingeniero Geólogo. Sólo en tres países europeos, incluida España, figura esta titulación. ¿Por qué en el resto de países nunca establecieron esta titulación? Pues simple y llanamente porque no era necesaria. Los geólogos cubrían, y cubren, perfectamente la demanda de Ingeniería Geológica. En España, sucede una cosa similar. Más del 90% de los visados que llegan al Colegio de Geólogos son de estudios geotécnicos realizados por geólogos. Sus estudios universitarios actuales cubren, sin duda, las necesidades del mercado. Y qué decir si la reforma de la licenciatura de Geológicas se hace con un grado de Geólogo y un postgrado de Ingeniero Geólogo, como propone este Colegio. ¿Para qué la titulación de Ingeniero Geólogo? ¿Qué aporta esa titulación que no sepan los geólogos? ¿Más cálculos? Para eso están los calculistas. Por contra, se está detectando, desgraciadamente, que la formación que tienen los ingenieros geólogos no cubre bien los conocimientos cartográficos, que es la base de cualquier actuación en el terreno. Si se modificara su plan de estudios en este sentido, estaríamos prácticamente en el plan de los Geólogos. En fin, si se trata de racionalizar titulaciones, convirtamos la actual licenciatura de Geológicas en un grado de Geólogo más un postgrado de Ingeniero Geólogo.

Cena de **Navidad 2005** con Cristina Narbona

El 12 de diciembre se celebró, en el restaurante Pedro Larumbe de Madrid, la cena anual de Navidad organizada por el Colegio Oficial de Geólogos. Asistieron 182 personas entre colegiados y personas invitadas. Este año, a la cena asistió como invitada principal la ministra de Medio Ambiente, Cristina Narbona, que vino acompañada por la subsecretaria de su Ministerio, Concepción Toquero. La presencia de la subsecretaria no estaba anunciada y, como suele ocurrir en estas ocasiones, trajo de cabeza a la jefa de Protocolo del Ministerio, que desconocía su presencia.

El acto comenzó a las 20:30 horas con un cóctel, en uno de los salones del restaurante, que sirvió de punto de encuentro para muchos de los colegiados e invitados, mientras se esperaba la llegada de la ministra.

La llegada de Narbona, que fue muy puntual, fue recibida por el presidente del Colegio, que la acompañó hasta donde estaban los miembros de la Junta de Gobierno y de los Consejos de las Delegaciones, para presentarles.

Hay que señalar que Cristina Narbona no suele acudir a muchas cenas públicas, por lo que su presencia en la cena de Navidad del Colegio es doblemente agradecida y supone una deferencia hacia el colectivo de los geólogos españoles. La sintonía, en esta legislatura, entre el Ministerio de Medio Ambiente y el Colegio de Geólogos, ha tenido su culminación, por ahora, en este encuentro navideño. No es fácil conseguir que un ministro o ministra asista a una cena de esta naturaleza, sobre todo si es en fechas, como las navideñas, en las que la agenda de compromisos está saturada. Por ello, es de agradecer la presencia de la ministra en la cena de Navidad de los geólogos.

Una vez que llegaron todos los asistentes, se pasó al comedor. En la mesa presidencial se encontraban: la ministra de Medio Ambiente, Cristina Narbona; el presidente del ICOG, Luis E. Suárez;



Foto 1. Los miembros de la Junta de Gobierno y de los Consejos de Gobierno del ICOG, con la ministra de Medio Ambiente. De izquierda a derecha: Juan Pablo Pérez Sánchez, Joaquín Lahoz, César Casero, Marc Martínez, Juan Luis García Acedo, Salvador Mirete, Valeriano Perianes (segunda fila), José Luis Goralez, Joan Escuer, Luis Suárez, la ministra Cristina Narbona, Juan Zubieta (detrás de la ministra), José Luis Barrera, Carlos Duch (detrás de José Luis Barrera) Roberto Rodríguez, Manuel Requeiro, José Luis Almazán, Cristina Sapalski y Ramón Capote.



Foto 2. Mesa presidencial. A partir de la ministra Cristina Narbona, y en sentido de las agujas del reloj, se encuentran: el director general del IGME, José Pedro Calvo; el vicepresidente primero del ICOG, José Luis Barrera; el viceconsejero de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, José Trigueros; el secretario del ICOG, Manuel Regueiro; el decano de la facultad de Ciencias Geológicas de la UCM, Eumenio Ancochea; la subsecretaria del Ministerio de Medio Ambiente, Concepción Toquero; y el presidente del ICOG, Luis E. Suárez.

el vicepresidente primero del ICOG, José
Luis Barrera; el viceconsejero de Medio
Ambiente y Ordenación del Territorio, José
Trigueros; la subsecretaria del Ministerio
de Medio Ambiente, Concepción Toquero;
el director general del Instituto Geológico
y Minero de España, José Pedro Calvo; el
decano de la Facultad de Ciencias
Geológicas de la UCM, Eumenio Ancochea;
y el secretario del ICOG, Manuel Regueiro.
Estaba previsto que asistiera la directora
general de Protección Civil, Celia Abenza,
pero al final no pudo venir.

Entre los asistentes se encontraban el jefe de la edición gráfica de la agencia EFE y miembro de honor del Colegio, Diego Caballo; el director del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, Vicente Cuéllar; el director técnico del Pool Español de Riesgos Medioambientales, Miguel Ángel de la Calle; el presidente de Senasa, Domingo Ferreiro, y altos representantes de las empresas Repsol-YPF, ADIF, INOCSA, TIHGSA, Banco de Sabadell y Unión Fenosa.

A la cena asistieron también todos los Consejos de Gobierno de las delegaciones del ICOG en Aragón, Asturias, Cataluña y País Vasco, así como el delegado de Galicia, Jesús Gómez Besteiro, y la representante española en la FEG, Isabel Fernández.

En la mesa reservada a la prensa se encontraban representantes de varios medios de comunicación como la agencia EFE, el periódico *El Mundo*, el diario *Expansión* y *Expansión.com*, y de varias revistas profesionales.

Una vez sentados en las mesas todos los comensales, tomó la palabra el presentador del acto, José Luis Barrera, que presentó a los miembros de la mesa presidencial y, posteriormente, dio la palabra al presidente del ICOG, Luis Suárez, para que expusiera su discurso anual. Terminado el discurso, Barrera presentó a la ministra y expuso un pequeño currículum de ella para informar a los asistentes. Entre otras cosas, destacó que Cristina Carbona no era la primera vez que estaba con los geólogos pues, en la cena de Navidad de 2001, acompañó al

invitado principal, que fue José Luis Rodríguez Zapatero. También destacó que Narbona había asistido a una tertulia del Geoforo, en marzo de 2004, para explicar el programa de Medio Ambiente del PSOE. Posteriormente, tomó la palabra la ministra para explicar, entre otras cosas, la posición favorable del Ministerio hacia los geólogos y sus actividades en el campo del medio ambiente. A los postres, la ministra respondió las preguntas que, por escrito, hicieron los asistentes.

Como todos los años, al final de la cena se hizo entrega, por parte de la ministra, de las distinciones 2005 del ICOG a los colegiados Carmina Virgili Rodón y Jesús Soriano Carrillo, ambos distinguidos como colegiados de honor.

Por último, la presidenta de la Comisión Nacional de Evaluación de Títulos Profesionales del ICOG, Cristina Sapalski, presentó el acto de entrega de títulos profesionales que fueron entregados por la ministra. La relación de geólogos y títulos fue la siguiente:

Geólogos profesionales: Marc Martínez Parra, Alejandro Lomoschitz, Raúl Hidalgo Fernández, Félix Saúl Pollos, Rubén Esteban Pérez, Fernando J. Aizpiriz, Cristina Roel Alfonso, Miguel García Lapresta y Virginia Ormaechea.

Eurogeólogos: Marc Martínez Parra, Alejandro Lomoschitz, Raúl Hidalgo Fernández, Rubén Esteban Pérez, Fernando J. Aizpiriz, Cristina Roel Alfonso, Miguel García Lapresta y Virginia Ormaechea.

Peritos geólogos: Francisco Alonso Couce, Miguel García Lapresta y Rubén Esteban Pérez.

A las 12:00 h., la ministra se marchó y la fiesta continuó con baile y atracciones hasta las 2 de la madrugada.

Para terminar, hay que añadir que los comentarios que hicieron los asistentes a la cena fueron muy favorables, incluidos los de la ministra Cristina Narbona. Por parte del ICOG sólo queda agradecer la presencia de los colegiados e invitados



Foto 3. Cristina Narbona entregando el título de Geóloga Profesional a Cristina Roel.



Foto 4. Cristina Narbona entregando el título de Geólogo Profesional a Miguel García Lapresta.



Foto 5. Carmina Virgili durante su intervención.



Foto 6. Cristina Narbona saludando a Jesús Soriano.

y transmitirles que, el próximo año, esperamos continuar con nuestra progresión en la relación con la Administración y en la calidad del encuentro.

Discurso del presidente del Colegio Oficial de Geólogos, Luis E. Suárez Ordóñez

Un año más los geólogos españoles y nuestros invitados nos reunimos para celebrar el tradicional coloquio-cena de Navidad con un alto responsable de la Administración, este año con la máxima autoridad de la política medioambiental en España.

Por ello, tenemos el honor de ser los anfitriones y contar con la presencia de D^a. Cristina Narbona, ministra de Medio Ambiente, para que pueda transmitirnos sus propuestas y poder trasladarle la opinión de los geólogos en los temas de su competencia.

Hoy hace exactamente cuatro años, en la cena colegial de Navidad, tuve la ocasión de presentar a José Luis Rodríguez Zapatero una propuesta transformadora del sistema corporativo, que, si se lleva a cabo con un uso eficaz del tiempo político, puede convertirse en una realidad.

En aquella cena, el actual presidente del Gobierno cumplimentaba la hoja de ruta para el desarrollo constitucional de los colegios profesionales. En su discurso nos transmitía que "había que hacer un proceso paralelo al ocurrido con los empresarios sobre lo que representan los colegios en la sociedad. Igual que España descubrió a los empresarios", decía Zapatero, "la sociedad española debe de reconocer a los colegios profesionales. Estos han de abrirse, impulsar una mayor actitud de compromiso social, pues son un pilar básico de la vertebración social".

"Ha llegado el momento de que los colegios abandonemos trasnochados manuales corporativos, para salir de nuestras fronteras colegiales y tratar de saber lo que los ciudadanos quieren de nosotros"

Creo que los colegios profesionales debemos hacer autocrítica. No es de recibo instalarse en el inmovilismo, diciendo que la derecha nos ignora y la izquierda no nos quiere. Ha llegado el momento de que los colegios abandonemos trasnochados manuales corporativos, para salir de nuestras fronteras colegiales y tratar de saber lo que los ciudadanos quieren de nosotros. En definitiva, reitero que es

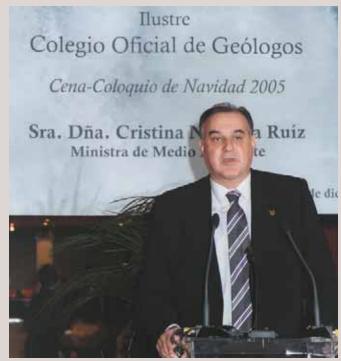


Foto 7 El presidente del ICOG Luis Suárez durante su intervención

necesario un giro de los colegios profesionales hacia la sociedad para merecer su confianza.

Somos un colegio abierto a los ciudadanos y a todos los colectivos, por lo que siempre estamos a disposición de los medios de comunicación para informar a los ciudadanos sobre los temas de su interés, como las catástrofes naturales o la seguía. Por ello, guiero agradecer a los medios, algunos aquí presentes, su labor de información y formación de los ciudadanos en temas geológicos.

El Colegio de Geólogos tiene como objetivo a los ciudadanos, como usuarios de nuestros servicios profesionales. Por ello, venimos desarrollando una política profesional transformadora del sistema corporativo, para garantizar el principio constitucional de igualdad de oportunidades. Esta máxima colegial de impulsar la libre competencia constituye nuestro lema: "La competencia para el competente".

Con este objetivo, la sede central del Colegio ha renovado la Certificación de Calidad ISO 9001/2000, al superar el mes pasado la auditoría del sistema de calidad sin no conformidades por la entidad Germanicher Lloyd Certification de los servicios de colegiación, visados, tradicional y telemático, bolsa de empleo, asesoría jurídica de colegiados y títulos profesionales.

Por medio de un decidido programa de trabajo en equipo y de formación en nuevas tecnologías de nuestros recursos humanos, el colegio basa hoy la comunicación, con más del 90% de sus colegiados, por medio del correo electrónico y el portal digital mediante la plataforma on line.

Con una inversión superior a los 40.000 euros en la plataforma on line, ya hemos conseguido que el 30% de visados sean telemáticos,

CENA DE NAVIDAD 2005 CON CRISTINA NARBONA

hemos mejorado el acceso de usuarios y empresas a la bolsa de empleo, hemos impulsado la asesoría jurídica, posibilitando el acceso a la base de datos de dictámenes y el envío de respuestas personalizadas en un plazo inferior a seis días, y hemos puesto en marcha la Escuela de Geología Profesional on line, abierta al mercado formativo de los hispanohablantes.

Por último, siguiendo el modelo anglosajón, el Colegio ha instaurado los títulos profesionales en Ingeniería Geológica, Hidrogeología, Geología Ambiental y Recursos Minerales, así como el título profesional de Eurogeólogo, en función de la experiencia profesional y la formación continua, impartida en la Escuela de Geología Profesional.

Con toda la experiencia acumulada, nuestros planes de futuro irán dirigidos a la mejora de la plataforma digital del Colegio, la adquisición de la nueva sede, la información a los colegiados por mensajes SMS y la respuesta al reto que supondrá el Código Técnico de la Edificación.

"En el Colegio de Geólogos nos preocupamos por la acción humanitaria, por lo que, en 1999, creamos la ONG Geólogos del Mundo"

Pero todo no va a ser profesión. También en el Colegio de Geólogos nos preocupamos y nos ocupamos por la acción humanitaria, por lo que, en 1999, creamos la ONG Geólogos del Mundo, abierta a todos los ciudadanos, con el objetivo de participar activamente en la Cooperación Internacional mediante el ejercicio de la Geología humanitaria. La ONG cuenta con las cuotas de sus más de 600 socios como ingresos fijos. Desde su creación, las relaciones de la ONG y el Colegio de Geólogos se rigen por un Convenio de Cooperación, mediante el cual la ONG dispone de la infraestructura de nuestra sede, aumentada por la transferencia del 0,7% del presupuesto anual del Colegio. Tengo que expresar la satisfacción por la gestión de la ONG, ya que, en el año 2005, ha realizado tres proyectos de abastecimientos de agua en Honduras, uno respectivamente en El Salvador, Ecuador y Malí, tres proyectos de prevención de riesgos geológicos en El Salvador, así como la presencia en la emergencia originada por el huracán Stan, en El Salvador, y del tsunami en el Sudeste Asiático, proyectos financiados por la Generalitat de Cataluña, el Principado de Asturias, la Diputación de Zaragoza, el Ayuntamiento de Barcelona, la AECI, la Agencia Suiza de Cooperación Internacional, la fundación italiana Nando Peretti, la Universidad Politécnica de Madrid, Cruz Roja Española y Manos Unidas.

El colegio siempre presenta sus propuestas en clave ciudadana, en qué benefician las mismas a los ciudadanos. Así lo hacemos en

nuestras reuniones con la ministra de Medio Ambiente y con su equipo. Debo de reconocer que el diálogo con el Ministerio es franco y constructivo, por lo que confío que nuestras propuestas, con las matizaciones que sean necesarias, puedan ser asumidas en beneficio de los ciudadanos.

El Colegio de Geólogos ha suscrito un convenio de colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente para elaborar un informe sobre la seguridad sísmica y la estabilidad de las laderas de la presa de Itoiz, convenio análogo al suscrito con el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Públicamente quiero resaltar el esfuerzo de los responsables del Ministerio de Medio Ambiente en la demanda de independencia al Colegio y al equipo de geólogos españoles e internacionales que ultiman el informe final. El Colegio, como no podría ser de otro modo, va a defender la verdad técnica sobre Itoiz, va a defender a los ciudadanos de cualquier sombra de inseguridad sobre la presa de Itoiz.

En derecho político se establece la máxima de que el derecho es la expresión jurídica del poder establecido, por ello consideramos que la hoja de ruta, el hilo conductor de la política de aguas en España, está establecido por la Directiva Marco Europea 2000/60/CE de actuación en el ámbito de la política de aguas. Esta directiva europea, que se desarrolla en 140 páginas, ha sido introducida en el derecho interno español, por la Ley de Acompañamiento de los Presupuestos Generales del Estado de 2004, siendo despachada en ocho páginas del BOE, sin un adecuado debate parlamentario, por lo que el mismo debería producirse en esta legislatura. Por ello, creemos que el parlamento debe abordar la reforma de la Ley de Aguas de acuerdo con las ideas-fuerza expresadas en su exposición de motivos de la Directiva, de que el agua es un patrimonio que proteger, cuya gestión se debe realizar en concertación por parte de las Administraciones y los usuarios, y gestionada desde el punto de vista pluridisciplinar.

Desde Joaquín Costa se viene realizado en España una política de aguas errónea, y se sigue perseverando en el error, asimilando esta política a un inventario de obras hidráulicas, sin un estudio e inventario de los recursos hídricos, sobre todo de los acuíferos. En este país se ha hecho poca política, mucha imposición de ocurrencias erróneas, despreciando el desarrollo sostenible. Deberíamos tener en cuenta lo que decía Cicerón: "Humano es errar, pero sólo los estúpidos perseveran en el error".

Por ello incidiré en dos aspectos importantes de la política de aguas como son el impulso de una política de aguas desde una perspectiva plurisdiciplinar y la gestión de las aguas subterráneas.

Como paradigma debemos comentar que, hasta la anterior legislatura, la política de aguas del Ministerio de Medio Ambiente era gestionada por la Dirección General de Obras Hidráulicas, hoy llamada de Política del Agua. Un cambio semántico parece suponer un cambio de objetivos, pero los técnicos que van a ejecutar esta política son los mismos funcionarios de la Dirección de Obras Hidráulicas que están imbuidos en una concepción de las obras hidráulicas como un fin en sí mismo. Y las obras hidráulicas no son

un fin, son un instrumento, una herramienta de la política de aguas. En este sentido, es importante reseñar que en la Relación de Puestos de Trabajo (RPT) del Ministerio de Medio Ambiente, el 75% de los funcionarios del Grupo A se dedican a diseñar y ejecutar obras hidráulicas, por lo que deberían ser complementados por otros profesionales para la gestión de las aguas subterráneas y la calidad de las aguas. Por ello, reivindicamos un giro pluridisciplinar en el Ministerio de Medio Ambiente, una acción positiva a favor de los licenciados (geólogos, biólogos, químicos,...) en las futuras RPT, para que participen con su experiencia y profesionalidad en la nueva política del agua.

Esta reforma, como establece el programa electoral del partido socialista, es especialmente necesaria en las Confederaciones Hidrográficas, donde demandamos un decidido impulso en la gestión de las aguas subterráneas, de acuerdo con la Directiva Marco europea, mediante el reclutamiento de técnicos expertos en hidrogeología.

"Los geólogos estamos empleados fundamentalmente en el sector privado, teniendo graves dificultades para acceder a la Administración, pero reclamamos competir en igualdad de condiciones en los concursos y plazas de la Administración"

Los geólogos estamos empleados fundamentalmente en el sector privado, teniendo graves dificultades para acceder a la Administración. Nosotros no tenemos cuerpo, somos espíritu, espíritu puro, pero reclamamos competir en igualdad de condiciones en los concursos y plazas de la Administración, y que la normativa que emane de la misma combata las restricciones a la competencia en el mercado privado. Nada más, pero nada menos. En definitiva, solicitamos que se haga normal en el sector público, lo que es normal en el sector privado, donde la competencia suele ser para el competente.

Debemos explicitar, asimismo, las restricciones a la competencia en las concesiones de explotación de aguas subterráneas, dado que son reguladas por obsoletas normas de seguridad minera. Esto supone un verdadero galimatías jurídico, dado que cada confederación exige para la concesión de aguas subterráneas requisitos diferentes, que, en ocasiones, cercenan la participación de diferentes profesionales. Por ello, solicitamos al Ministerio de Medio Ambiente asuma la plena competencia en la gestión de las aguas subterráneas, de acuerdo con los principios de unidad de gestión y de unidad del ciclo hidrológico, establecidos por la ley de aguas, mediante la derogación de las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) sobre Investigación y Explotación de Aguas Subterráneas.

Es especialmente importante para la protección de los ciudadanos ante catástrofes por inundaciones como Biescas o Badajoz, el desarrollo reglamentario del artículo 11 de la Ley de Aguas, por lo que proponemos que se regulen las características técnicas de los estudios de avenidas que las Confederaciones Hidrográficas deben obligatoriamente trasladar a las comunidades autónomas y los entes locales.

En materia de deslindes litorales, la Ley de Costas establece la determinación del Dominio Marítimo-Terrestre (DMT), en función de las unidades geomorfológicas antiguas y actuales. Debido a la falta de desarrollo del Reglamento de Costas, que prevé la realización de una Instrucción Técnica para la ejecución de los deslindes, la muy deficiente calidad técnica de los mismos está generando una alta conflictividad jurisdiccional en la Audiencia Nacional, por lo que juzgamos necesaria la creación de un Área de Geomorfología y Dinámica Litoral que apruebe la Instrucción de deslindes y redacte y ejecute los Pliegos de Condiciones Técnicas.

En materia de suelos contaminados, queremos expresar a la ministra nuestro reconocimiento por la promulgación del Reglamento de Suelos Contaminados que, superando el retraso de siete años, constituye un excelente instrumento de referencia. No obstante, ofrecemos nuestra colaboración en el futuro desarrollo normativo mediante Instrucciones Técnicas Complementarias sobre metodología de trabajo de campo, de muestreo de suelos y aguas subterráneas, de analíticas y de análisis de riesgos, así como el establecimiento de criterios de homologación de las empresas de servicios de consultoría y asistencia técnica en materia de suelos contaminados. Con este objetivo pensamos que el Ministerio debería incorporar técnicos especializados en suelos contaminados, tal y como ya están haciendo algunas Administraciones autonómicas.

Somos conscientes de la voluntad transformadora del Gobierno, aunque la empresa será ardua. Apoyamos la puesta en marcha de los cambios estructurales, organizativos y culturales necesarios de la administración medioambiental, aunque, como decía el politólogo irlandés Philip Petit, "la política es el arte más importante y el más difícil". Bien lo sabía Nicolás Maquiavelo, cuando decía que "nada hay más difícil ni nada de más dudoso éxito, que la implantación de nuevas instituciones. Pues el introductor tiene como enemigos a cuantos obtuvieron provecho del régimen anterior y encuentra sólo tímidos defensores entre los favorecidos con el orden nuevo, timidez que nace tanto del miedo a los adversarios como de la incredulidad de los hombres, los cuales no se convencen de la bondad de algo nuevo hasta que no lo ven confirmado en la práctica". Nosotros, señora ministra, somos crédulos y convencidos.

Por último, quiero aprovechar para felicitar las Pascuas y desear un próspero 2006 a todos los colegiados y a nuestros invitados, así como reiterar el agradecimiento sincero a la ministra de Medio Ambiente, por su presencia en este coloquio-cena y agradecer su franca voluntad de colaboración con el colectivo de geólogos españoles.

Muchas gracias por su atención.

Discurso de la ministra Cristina Narbona

Queridas amigas, queridos amigos del Colegio de Geólogos, presidente, José Luis, muchas gracias por vuestras palabras. No sé si los expertos en diplomacia vaticana estarían de acuerdo con lo que tú has dicho pero, en fin, en general veo que te has ido ilustrando sobre lo que podrían ser mis formas de estar en política, que quizás no sean demasiado generalizadas. Muchas gracias por invitarme una vez más a estar con vosotros, a escucharos y también a darme la ocasión de transmitiros algunas de las ideas, algunas de las líneas de trabajo en las que el Ministerio de Medio Ambiente quiere contar con la opinión del Colegio de Geólogos. Desde el principio de esta legislatura, el presidente Rodríguez Zapatero marcó dos prioridades básicas para nuestro departamento, para el propio conjunto de gobierno: la profunda reorientación de la política del agua y el trabajo para acercarnos al cumplimiento del protocolo de Kioto, en cuanto a la lucha contra el cambio climático. Y, en esas dos prioridades, es muy importante tener siempre la posibilidad de ser asesorado por personas de vuestra profesión.

Por cierto, antes de seguir adelante, quiero felicitar a Luis Suárez y a todos vosotros por el enorme avance que habéis hecho como colegio, como entidad social que trabaja, por supuesto, para los profesionales de la Geología pero también para el conjunto de la sociedad. Enhorabuena, porque de la exposición de Luis me ha quedado muy claro el buen trabajo que se ha venido haciendo en estos últimos tiempos y os deseo lo mejor respecto de vuestras reivindicaciones y de vuestras aspiraciones.

Pero como estaba empezando a comentaros, tanto en la reorientación de la política del agua como en el propio proceso de acercamiento a los objetivos del protocolo de Kioto, es muy importante que el Ministerio esté contando con vosotros, tanto en el día a día, muchas veces con consultas puntuales como esa tan extraordinariamente importante para mí como es la consulta relativa a la seguridad de la presa de Itoiz —quiero agradecer el trabajo que se está haciendo y que, sin ninguna duda, puede contribuir a calmar una situación de incertidumbre y de preocupación por parte de muchos ciudadanos, en la comarca próxima a Itoiz— pero además de esas consultas puntuales, por supuesto hemos empezado a hacer lo que vuestro presidente nos reclama y con cierta dificultad, por supuesto, el abrir plazas en la relación de puestos de trabajos que estaban exclusivamente fijadas para ingenieros de caminos, que no está siendo desde luego nada fácil. Lo hemos hecho ya en algunos casos, tenemos incluso un presidente de confederación hidrográfica, la Confederación Hidrográfica del Norte, que es un geólogo, y vamos intentando, efectivamente, romper esa situación de especialidad única en materia de política de aguas, prácticamente, para los ingenieros de caminos. Lo mismo que digo aquí lo digo cuando me reúno con el Colegio de Ingenieros de Caminos, sabiendo que el efecto obviamente no es el mismo y que tenemos por supuesto que hacer



Foto 8. La ministra de Medio Ambiente, Cristina Narbona, durante su intervención.

una política del agua en la que tengan cabida otras disciplinas dispuestas de la muy importante disciplina de la ingeniería, que ha permitido a lo largo de los años que España sea, sin ninguna duda, un país de referencia en cuanto a la obra civil y, en particular, a la obra hidráulica. Pero necesitamos, como señalaba Luis, que no sólo hagamos obras sino que hagamos buena gestión de esas obras, buen mantenimiento, todo lo que tiene que ver con la seguridad de las presas, por ejemplo, y, por supuesto, tenemos que saber gestionar mejor el agua, hacer un uso más racional de agua, introducir nuevas tecnologías, tener cada vez más atención a la calidad del agua e incorporar de verdad al ciclo hidrológico las aguas subterráneas. En estos momentos, el Ministerio tiene ya un grupo de trabajo, en la Dirección General del Agua, donde hay personas colegiadas, personas que están presentes, que yo sé que nos van a ayudar, y mucho, para la próxima reforma de la Ley de Aguas que vamos a acometer donde tenemos ya muchos aspectos bastante estudiados de cómo modificar, siempre en la línea de la directiva europea, nuestra legislación en materia de aguas. Pero ya hemos hecho una primera modificación importante este año, la modificación de la ley del Plan Hidrológico Nacional, no sólo es una modificación para sustituir el trasvase del Ebro por un conjunto de actuaciones que tienen que ver también con la gestión y con la calidad del agua, ha sido también la oportunidad, desde el punto de vista legislativo, para introducir algunas primeras medidas que favorezcan decisiones más razonables en materia, por ejemplo, de obras hidráulicas. A partir de ahora, no se podrá declarar ninguna obra como de interés general del Estado ni tampoco se podrán desarrollar aquellas que ya están declaradas de esta forma si no hay previamente un informe de viabilidad de esa actuación futura, un informe tanto en el plano ambiental como en el plano

económico, como en el plano social, con un informe económico de costes y beneficios y con un análisis que de verdad tenga en cuenta si hay o no alternativas a la obra hidráulica que se plantea. Queremos que esto sirva de filtro, ya lo está haciendo, respecto de catálogos de obras que, en muchas ocasiones, fueron concedidas cuando España era un país completamente distinto del actual, cuando efectivamente había una necesidad de obras hidráulicas para regular los ríos y poder contar con agua para una agricultura que ha ido quedando cada vez más restringida de su dimensión social y económica, mientras han aparecido alternativas y tecnologías que entonces no existían, un momento en el que, por supuesto, las consideraciones ambientales no se tenían en absoluto en cuenta; es decir, muchas obras concebidas en un momento que nada tiene que ver con nuestra situación actual como país miembro de la Unión Europea, como país comprometido con los objetivos ambientales y como país también que ya no puede seguir usando los recursos presupuestarios sin preguntarse antes si esa gran obra hidráulica es lo mejor que podemos hacer, si no hay otras soluciones partiendo de un uso más eficiente del agua que permitan tener incluso mejores resultados desde el punto de vista de los objetivos que se persiguen con la política del agua. Este es un cambio que llevará tiempo. Yo soy muy consciente de la dificultad de transmitir a la opinión pública por qué hacemos este tipo de cambios, por qué es importante que hagamos un uso del aqua y de las infraestructuras hidráulicas muy diferente del que se ha hecho en el pasado, pero creo que cada vez se entiende más que, antes de pedir un nuevo embalse, hay que ver si en esa comunidad autónoma se está despilfarrando el agua, por ejemplo en el regadío, cosa que sucede en algunos territorios de nuestro país donde hasta el 90% de los regadíos se hacen todavía por inundación y basta simplemente con reconducir esos regadíos a unos márgenes de eficiencia que pueden hoy día alcanzarse para gastar exactamente la mitad de agua en esa agricultura y, por tanto, a lo mejor, no ser ni siquiera necesario un embalse más.

Y la política del agua no es sólo obras, es, como se ha señalado, una gestión del territorio, y, por eso, las ciencias de la tierra, y entre ellas la geología, tienen que ayudarnos, y mucho, a ser más preventivos respecto a los fenómenos que ocurren en nuestro país y que además van a ocurrir cada vez con mayor intensidad y con mayor frecuencia debido al proceso del calentamiento del planeta. Por eso, tenemos que trabajar mucho más en lo que es la limitación de los dominios públicos, tanto el Dominio Público Marítimo-Terrestre como el Dominio Público Hidráulico, para crear determinadas salvaguardas a lo que es un comportamiento de las aguas, tanto de las aguas superficiales como de las aguas costeras, que pone en riesgo muchas veces la población, que afecta a la actividad económica y que no puede ser resuelto exclusivamente con una barrera de cemento, como en gran medida se ha hecho hasta ahora, alterando los ecosistemas tanto en el litoral como en los cauces de nuestros ríos.

Y dejando a un lado la política del agua, donde evidentemente hay mucha tarea para los geólogos y contamos también con el apoyo del IGME en muchas de estas tareas, quiero mencionar alguna otra cosa, por ejemplo el cambio climático. Bueno, ¿dónde están los

geólogos en el cambio climático? Pueden estar en muchos aspectos pero yo quisiera sólo traer a colación una de las medidas en las que estamos trabajando en el ámbito de Naciones Unidas como es la del secuestro profundo del carbono, y, sin ninguna duda, puede ser una medida complementaria mucho más rápida de incorporar a nuestras respuestas al cambio climático que algunas de las otras medidas que van a tardar bastantes años en dar un fruto suficientemente positivo. Por tanto, en el secuestro de carbono en profundidad, tenemos mucho que hablar. Y tenemos mucho que hablar, por supuesto, respecto de la gestión de los residuos y, en particular, la gestión de los residuos radioactivos. Como sabéis, se acaba de abrir una mesa del Ministerio de Industria y, desde luego, el Ministerio de Medio Ambiente quiere contar también con la opinión de los geólogos en lo que es uno de los mayores desafíos, en términos de seguridad de nuestro país, que todavía no ha sido abordado como debemos abordarlo. De momento, se están almacenando los residuos radioactivos de alta actividad en las piscinas de nuestras centrales nucleares pero, como sabéis, muchas de ellas están ya prácticamente rebosando. Pues bien, identificar suelos, identificar emplazamientos va a ser una tarea importantísima y muy delicada en los aspectos de comunicación con la opinión pública. Ha señalado Luis que tenemos ya un decreto para regular los suelos contaminados, para actuar sobre ellos —y aquí el Ministerio se va a centrar, sobre todo, en la descontaminación de los suelos de titularidad pública se está terminando ahora lo que fue el primer plan de suelos contaminado que pusimos en marcha hace ¡10 años! y ahora queremos centrarnos mucho en lo que son las grandes parcelas de suelo que se corresponden con los grandes operadores públicos. Pues bien, ahí también va a haber tarea a través de las instrucciones técnicas, etcétera, igual que, en general, en la política de gestión de residuos. El próximo año, tenemos previsto hacer una gran conferencia nacional exclusivamente sobre la prevención y la gestión de los residuos y, por supuesto, el colegio estará invitado a lo que quiero que sea una apuesta de valor de los esfuerzos que tenemos que hacer las administraciones, las organizaciones sociales, las empresas y los colegios profesionales, para mejorar sustancialmente en nuestro país lo que es la gestión y la prevención en materia de residuos. En fin, hay mucho por hacer y, para dar también una cita de lo que supone, a mi juicio, la política cuando a veces se dice que la política es el arte de lo posible, creo que esa es una definición que desde luego yo no comparto, que me parece extraordinariamente corta en un mundo de transformación con tantas necesidades por cubrir, que yo prefiero pensar, como alguien ya dijo hace mucho tiempo, que la política no es el arte de lo posible sino el arte de hacer posible lo que es necesario, y en esa tarea os convoco a todos y os agradezco enormemente no sólo esta invitación a compartir una cena navideña y los deseos de felicidad para todos sino, sobre todo, esa colaboración, ese apoyo, ese asesoramiento que estoy teniendo desde hace un año y medio en el Ministerio y que espero poder ir "recompensando" (entre comillas), haciendo realidad las reivindicaciones que vuestro presidente me plantea, muchísimas gracias a todos.

Nota: Transcripción literal de la grabación de vídeo.

Dinosaurios y **educación**

En la Comunidad Autónoma de La Rioja se cuenta con un gran recurso didáctico: yacimientos con huellas de dinosaurio muy bien conservados. A través de este artículo se muestran actividades relacionadas con las icnitas, muy apropiadas para la enseñanza en niveles no universitarios por el interés que despiertan los dinosaurios y sus huellas. Además, se describen varios talleres realizados por el autor del artículo para la enseñanza de la Ciencia, del método científico y el conocimiento científico.

TEXTO I Luis Enrique Requeta, geólogo.

Palabras clave

Dinosaurios, La Rioja, Educación, Ciencia

Este artículo quiere poner de manifiesto la utilidad que tiene para los profesores de Educación Secundaria (y por supuesto, otros niveles) el uso de los dinosaurios y sus huellas fósiles como recurso para la enseñanza de Ciencias Naturales tanto en clase como fuera de ella.

La Comunidad de La Rioja cuenta con más de un centenar de yacimientos con icnitas de dinosaurio, y desde hace tiempo se han diseñado diversos recursos educativos para su uso en educación. Este uso no sólo se reduce a las huellas, sino que se puede extender a sus protagonistas: los dinosaurios, un tema motivador y de especial interés para los jóvenes no universitarios, que se debe aprovechar como estímulo encaminado a aumentar la curiosidad del alumnado y valorar la Ciencia y el conocimiento científico.

En 1996, se celebró en Logroño el IX Simposio sobre Enseñanza de la Geología, convocado por la AEPECT (Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra). En la publicación posterior al congreso, *Excursiones Geológicas por La Rioja*, se detallan una serie de salidas al campo y actividades didácticas adecuadas a diversos niveles. De ellas se destaca la realizada en campo sobre un yacimiento, la Era del Peladillo, titulada "¿Qué ocurrió en la Era del Peladillo?", en la que se pretende acercar la labor del paleontólogo, adquiriendo y utilizando actitudes y procedimientos propios de su labor científica (Torcida Fernández, 1996)

Más recientemente, en noviembre de 2002, se celebró en Logroño el Congreso Internacional sobre Dinosaurios y otros Reptiles Mesozoicos de España, organizado por la Universidad de La Rioja. Aprovechando el mismo, se ofreció un "Curso sobre dinosaurios para profesores", en el cual se explicaban recursos para estos profesionales, cómo medir rastros, identificar huellas y su descripción. Además de cómo utilizarlos en clase con los alumnos y elaborar experiencias diversas. Por otra parte, se incluyeron en el congreso varias ponencias



Figure 1

relacionadas con la didáctica sobre dinosaurios (Torcida Fernández, 2002) y actividades didácticas para la formación del profesorado en la divulgación de yacimientos de dinosaurios y otros reptiles (De Lemus, et al., 2002).

En el Museo Paleontológico de Enciso, La Rioja, un equipo de profesionales multidisciplinar elaboraron itinerarios y visitas guiadas para mostrar el museo y los yacimientos de huellas de los alrededores de la localidad, a visitantes no especializados y grupos escolares de las etapas de Infantil, Primaria, Secundaria, Bachillerato y Superior. En ellos, se explica el mundo de los dinosaurios y las huellas que dejaron en La Rioja de un modo didáctico y entretenido (Blanco et al. 2003).

Ciencia y educación

Como profesor de Ciencias Naturales en Secundaria, siempre he intentado inculcar el concepto de Ciencia como algo más que un conjunto de principios y ecuaciones mágicas que una vez elegidas y "manipuladas" sirven al alumno para resolver el problema que tiene frente a él (... cuando lo resuelve). Intento no presentar la Ciencia como un inventario de "enunciados" expuestos hace siglos por "desconocidos personaies científicos" ajenos a los alumnos, que tienen que memorizar y, al cabo de un tiempo, olvidarán para siempre... Por ello, he intentado elaborar siempre recursos que capten la atención del alumno (que no es poco) para luego, a través de sencillas actividades, acercarles al conocimiento científico de manera atractiva y, sobre todo, participativa y crítica.

En lo más cercano a mi disciplina, la Geología, y dentro de ella, el estudio de las huellas de dinosaurio, he buscado recursos didácticos cuyo origen son los dinosaurios y sus icnitas para apoyarme en las explicaciones y acercar las Ciencias Naturales, y su estudio, al alumnado.

Por otra parte, el bagaje de conocimientos relacionados con la Geología (por no hablar de asignatura de Geología) que los estudiantes adquieren al final de esta etapa de enseñanza obligatoria son

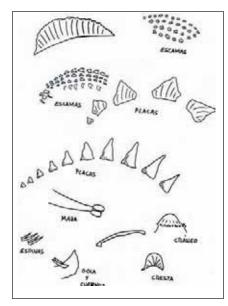


Figura 2.

mínimos y cada vez se arrinconan más por parte de las autoridades educativas. De esta situación creo, al menos en parte, que se refleja el desconocimiento que tiene la población en general sobre aspectos cotidianos relacionados con la Geología y los geólogos, así como su importancia para la sociedad, si lo comparamos con otras disciplinas como Biología, Historia, Tecnología, etc.

ideas, elaborando hipótesis... y no se convierta en mero receptor de "información científica ya procesada y enlatada".

Así pues, a continuación expongo una serie de actividades, recursos didácticos o talleres que pueden servir a los profesionales de la educación para su programación en el aula. Como ya explico más adelante, cada uno de ellos se puede adecuar al nivel educativo que se considere necesario o acomodarlo al alumnado que cada uno tenga en su aula. Estas actividades son de elaboración y creación propia o han sido tomadas de cursos de formación para profesores impartidos en el Centro de Profesores y Recursos de Logroño, concretamente "Recursos didácticos para la enseñanza de las Ciencias", realizado en el año 2003.

Actividad 1 Imagina y construye tu dinosaurio

Este taller se ha preparado para niños de 6 a 8 años, y se ha realizado en un programa de actividades navideñas ofertada por la Casa de las Ciencias de Logroño. Se pretende que, a través de los dinosaurios y actividades tan utilizadas en

"En lo más cercano a la Geología, y dentro de ella, el estudio de las huellas de dinosaurio, he buscado recursos didácticos cuyo origen son los dinosaurios y sus icnitas para apoyarme en las explicaciones y acercar las Ciencias Naturales y su estudio al alumnado"

Pero el tema de la situación de la Geología en los planes de estudio no es el asunto principal de este artículo, sino mostrar cómo, a través de los dinosaurios y sus huellas fósiles, se pueden ilustrar conceptos de Geología, y Ciencia en general, de forma amena y participativa para los alumnos. Este último asunto es muy importante, pues en el día a día como docente hay que buscar recursos para motivar al estudiante y que se mantenga atento en clase. En definitiva, que el alumno sea el protagonista aportando

estas edades como dibujar, pintar y modelar con plastilina, los jóvenes potencien su imaginación y sean capaces de dibujar y modelar con sus manos nuevas formas a partir de las que ya se conocen (Requeta, 2003). En el aprendizaje a estas edades es muy significativo el trabajo manual plástico y creativo que se consigue con esta actividad.

El taller comienza con la proyección de imágenes de dinosaurios con características morfológicas (placas óseas,

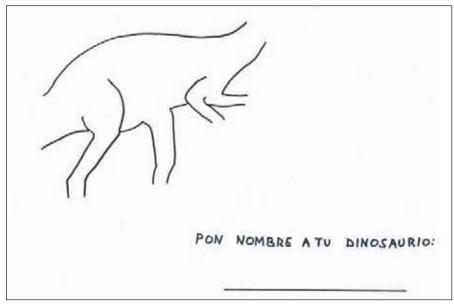


Figura 3.



Figura 4.

espinas, mazas, espolones,...) que los diferencian con facilidad (Estegosaurio, Anquilosaurio, Lambeosaurio,...). Después, analizan para qué creen que les servirían dichos elementos, y se termina comentando los nombres que se les han dado a los dinosaurios. Tras esta introducción, los chavales reciben una hoja con los dibujos de las formas que han visto anteriormente: cuernos, espinas, garras, dientes, mazas,... (figura 2) y otra hoja con el perfil de un dinosaurio al que le faltan las extremidades, cabeza y cola (figura 3). Junto con lapiceros y pinturas, los participantes se convierten en pequeños paleontólogos que, con los restos "encontrados" en su excavación. tendrán que construir un nuevo dinosaurio.

Una vez que lo han dibujado y pintado, se les pide que le pongan nombre y lo describan un poco, resaltando las características más sobresalientes de su dinosaurio. Finalmente. la actividad acaba con el modelado del animal con plastilina. Al finalizar el taller, los resultados superan las expectativas y sorprenden, en la gran mayoría, al poner de manifiesto la imaginación con que se cuenta a estas edades, que se va perdiendo conforme crecen rodeados de móviles y consolas de videojuegos...

El taller se puede adaptar a otras edades y buscar otros objetivos que se quieran alcanzar con él a través de los dinosaurios. Se busca potenciar la capacidad plástica,

artística y creativa de los jóvenes, además de abordar temas relacionados con el tamaño y escala del dibujo al realizar en plastilina los dinosaurios.

Actividad 2 Lo que nos dicen las huellas de dinosaurio

Este taller va dirigido a edades comprendidas entre 8 y 12 años, también presentado en la Casa de las Ciencias de Logroño, en las cuales los participantes poseen conocimientos matemáticos v pueden tomar medidas con relativa precisión. Se centra en el estudio de las huellas de dinosaurio. Esta actividad posee mayor complejidad que la anterior debido a los contenidos que se abordan, por lo que también puede ser diseñada y adaptada a alumnos de 15, 16 o más años. Este aspecto lo abordaré al final del artículo.

Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta actividad son:

- Reconocer los tipos de huellas de dinosaurio y asociarlos a su correspondiente grupo de dinosaurios.
- Conocer algunas de las medidas que se toman en el estudio de las huellas, como son la longitud de la huella, el paso y la zancada.
- Estimar la altura de la extremidad del animal a partir de la longitud de la huella y, por último, iniciarles en la interpretación de las rastrilladas.

El taller comienza con la explicación básica de lo que son las huellas de dinosaurio como resto fósil indirecto y los tipos que se pueden encontrar. Después se muestran las medidas que se realizan sobre un rastro y las conclusiones que se pueden sacar de su estudio. Tras esta exposición eminentemente teórica, se comienza con el taller propiamente dicho.

El primer apartado se realiza sobre el plano de un hipotético yacimiento descubierto y dibujado. En el plano se han dibujado varios rastros que se entrecruzan de dinosaurios carnívoros, herbívoros y cuadrúpedos. En él, los chavales tienen que saber distinguir y colorear los rastros que aparecen (figura 1), así como explicar

y describir lo que creen que ocurrió a partir de la disposición de los rastros. Tras la explicación y discusión de los resultados a los que han llegado cada uno de ellos, se pasa a la siguiente fase. Este taller se puede utilizar también para introducir y explicar el concepto de datación absoluta y datación relativa como contenidos de Biología-Geología de 4º de Educación Secundaria.

Un segundo taller consiste en el montaje de un yacimiento con la ayuda de huellas de dinosaurios carnívoros y herbívoros ya recortadas de goma. Los jóvenes tienen que componer su propio yacimiento (figura 3) es decir, imaginar una escena entre varios dinosaurios y representarla a través de los rastros que dichos dinosaurios dejaron en el barro. Una vez que ya tienen montada la escena, cada "equipo de paleontólogos" tendrá que tomar una serie de medidas sobre las icnitas, como son: la longitud de las huellas, el paso y la zancada, para así poder hacer una estimación de la altura de la extremidad y la velocidad con que se desplazaba cada animal. Para acabar, cada grupo investigador explicará a los restantes su vacimiento, así como los datos numéricos obtenidos. Es interesante en este punto final de reflexión, estimular el espíritu crítico de los participantes, ya que se darán un conjunto de datos y los participantes serán "críticos" consigo mismos sobre la validez de unos valores u otros. Se debe tener en cuenta la posibilidad de aprovechar esta actividad para introducir o repasar (según el nivel educativo) el método científico desde la fase de observación del yacimiento, toma de datos, hasta la emisión de su teoría (descripción de lo que ocurrió y valoración y crítica por el resto de participantes...).

Otras actividades

No cabe duda que hablar de dinosaurios puede captar la atención fácilmente de cualquier clase y ponerla en actitud de atención hacia el profesor. En este apartado se exponen bajo este título otras actividades que necesitan menos elaboración y que se pueden utilizar en cualquier momento para ilustrar los aspectos de la Ciencia que a continuación expongo:

Las dimensiones de los dinosaurios

Siempre ha causado admiración el tamaño y peso que llegaron a tener alguno de estos seres. Esta característica se aprovecha para reflexionar sobre si los animales pueden tener cualquier tamaño o hay alguna limitación en el peso impuestas por las leyes de la Física. Es adecuada esta actividad para explicar y ver casos reales de la limitación del tamaño de los animales terrestres, en este caso dinosaurios. El objetivo es, partiendo de un valor de longitud, ver cómo influye un incremento de su cuantía en el área y volumen final del animal. En el caso de las áreas el cociente de las áreas de figuras semejantes es igual al cuadrado de la razón de semeianza (k²), v en el caso de los volúmenes la razón de los volúmenes de figuras semejantes es igual al cubo de la razón de semejanza (k³). Una vez obtenidos los valores calculados de pesos, se puede discutir sobre la posibilidad de mantener el peso con el esqueleto que poseían...

Toma de datos

Si aprovechamos la actividad de las medidas anotadas en los rastros de huellas, es fácil ilustrar la importancia del

"No cabe duda que hablar de dinosaurios puede captar la atención fácilmente de cualquier clase y ponerla en actitud de atención hacia el profesor"

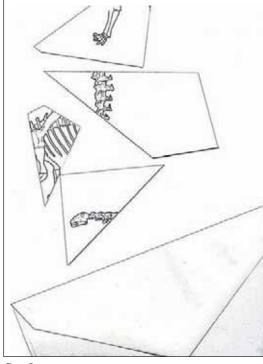


Figura 5.

rigor de la obtención de datos en Ciencia. En esta actividad, cada alumno deberá tomar medidas de un rastro, anotarlas en su libreta para realizar los cálculos de altura de la extremidad, paso, zancada... Una vez que cada alumno ha reunido sus datos, se ponen en común las tablas y se ve la variación en las medidas y resultados que se han anotado. Con ello se procura que el alumno tenga una visión crítica a la hora de escoger los valores válidos para trabajar con ellos y rechazar los no válidos. Finalmente, se pueden comparar resultados de dos cálculos hechos con datos muy parecidos, que al final dan lugar a resultados muy dispares en cada caso. Se busca concienciar al joven sobre la importancia de medir y tomar datos con rigor para no llegar a resultados erróneos o poco precisos.

Compartir datos en la construcción de Ciencia

Es una actividad muy sencilla que pretende poner de manifiesto la necesidad del trabajo en grupo y compartir información y datos entre equipos investigadores para alcanzar mejores resultados. Es decir, simular el trabajo científico real que se realiza con



grupos de investigación y cómo se comparte la información y descubrimientos realizados a través de publicaciones científicas y/o congresos. Para ello, se les da el perfil del esqueleto de un dinosaurio recortado a manera de puzzle (figura 5) introducido en un sobre (a modo de vacimiento). A cada grupo se les ha quitado o añadido una pieza de otros, de manera que para que puedan terminar "su investigación" (el montaje completo de su dinosaurio) deberán consultar v comparar sus resultados con otros equipos investigadores, es decir, buscar, comparar y cambiar las fichas que no les sirven. Como he dicho anteriormente, es una vía muy útil y didáctica de mostrar al alumnado cómo los científicos en la vida real comparten información y la muestran a la comunidad científica.

La especulación e imaginación en Ciencia

La imaginación es un acto de vital importancia en la investigación científica y a la hora de resolver problemas. Mediante esta actividad, ponemos de manifiesto dicha importancia. Para ello se les muestra una colección de figuras de dinosaurios con diversos colores (figura 6). Se pretende que reflexionen sobre si todos los dinosaurios debían ser verdes y marrones como generalmente nos los encontramos en los libros y publicaciones.

El color en la naturaleza lo han usado muchas especies animales con el objetivo de hacerse ver con mayor claridad, para indicar que su carne es venenosa (por ejemplo las ranas y nudibranquios), para dificultar la visión de sus depredadores (cebras), o para llamar la atención de los individuos del sexo opuesto en ritos de apareamientos (aves). Las alumnos deben imaginarse dinosaurios de diversos colores e intentar dar explicación a dicho

colorido: para su defensa, como reclamo, como advertencia....

Conclusiones

Los dinosaurios son un elemento de gran interés para el alumnado en general, por lo que son útiles a la hora de utilizarlos en el aula como recurso educativo.

Se han descrito talleres dirigidos a diversos niveles educativos, que aprovechan la Paleontología de dinosaurios y el estudio de sus huellas fósiles para mostrar aspectos muy diversos de la Ciencia. Las actividades están pensadas para adecuarlas a diversos niveles, ya que un mismo taller se puede enfocar para resaltar los contenidos que nos interesen tratar del nivel educativo en el que nos encontremos.

La utilización de los dinosaurios y sus huellas son adecuados para su uso en clase y permiten abordar temas relacionados con el conocimiento científico y la evolución histórica del mismo, además de la toma de datos, su método, dimensiones geométricas y el trabajo en grupo.

Bibliografía

BLANCO, M.I., BOTON, F., CARO, S., y ULECIA, B. (2003): "Los dinosaurios y las huellas que dejaron en La Rioja". Visitas guiadas para todos. Inédito. DE LEMUS VARELA, M.C. y TREVIÑO FERNÁNDEZ, P. (2003): "Actividad didáctica para la formación inicial del profesorado en la divulgación del patrimonio paleontológico (exposiciones, museos y yacimientos referidos a dinosaurios y otros reptiles mesozoicos)". En FÉLIX PÉREZ-LORENTE: Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España, Ciencias de la Tierra, 26. Instituto de Estudios Riojanos, pp. 413-422.

REQUETA LOZA, L.E. (2002): "Talleres de dinosaurios y sus huellas". Inédito. REQUETA LOZA, L.E. (2003): "Curso sobre dinosaurios para profesores". Inédito. TORCIDA FERNÁNDEZ, F. (2001): "Actividad didáctica de paleontología de campo: la Era del Peladillo (Igea)". En: FÉLIX PÉREZ-LORENTE: "Excursiones geológicas por La Rioja". Ciencias de la Tierra, 19. Instituto de Estudios Riojanos, pp. 43-57.

TORCIDA FERNÁNDEZ, F. (2002): "Didáctica sobre dinosaurios en museos y centros educativos. Experiencias desarrolladas en España". En: FÉLIX PÉREZ-LORENTE: Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España. Ciencias de la Tierra, 26. Instituto de Estudios Riojanos, pp. 423-432.

La geología *Trekkie*

"Star Trek" es una de las series televisivas de ciencia-ficción de mayor culto a escala mundial. Treinta y siete años después, el Universo Trek es una fábrica de dinero gracias a varias series de televisión, una serie de animación, diez películas, un idioma hablado por 1.000 personas (el klingon) y multitud de variado merchandising (muñecos, maguetas, etc.), amén de congresos periódicos de sus fanáticos seguidores —los trekkies— en todo el planeta. Y también la geología tiene su espacio en la serie.

Texto I Marc Martínez Parra, geólogo. Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. IGME. m.martinez@igme.es

Palabras clave Cine, "Star Trek"

El espacio, la última frontera... así se daba comienzo a cada uno de los 79 episodios de la serie clásica de televisión Star Trek, emitidos por vez primera entre los años 1967 a 1969 y que han sido repuestos innumerables ocasiones en cadenas televisivas de todo el mundo.

La acción se ambienta en un hipotético siglo XXIII y muestra la infatigable necesidad del ser humano por alcanzar mayores cotas de conocimiento, de descubrir lo desconocido. con una ética y respeto a las otras civilizaciones que evite los efectos nocivos, perniciosos y transculturizadores que ha causado la ambición humana a lo largo de su historia, en muchos pueblos y culturas.

Los protagonistas de la serie son ciudadanos de la Federación Estelar de Planetas, libremente constituida por un conjunto de planetas, entre ellos la Tierra. Frente a ellos se alinean enemigos como el Imperio Klingon, una suerte metafórica del infausto Imperio Soviético con idénticas ambiciones expansionistas, o los misteriosos Romulanos, una especie de Imperio Romano con orejas en punta. La serie original cuenta las peripecias, durante cinco años, de la tripulación de la nave estelar Enterprise, enfrentados a todo tipo de amenazas y retos, conducida por el temerario capitán James Tiberius Kirk (William Shatner) (foto 1), apoyado a su vez por el oficial científico, el vulcaniano señor Spock (Leonard Nimoy,



Foto 1. James T. Kirk (William Shatner) el héroe. Aunque lo parezca, no lleva un rifle de agua.

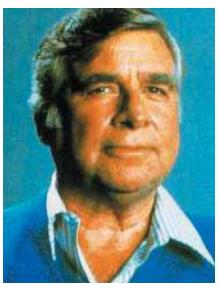


Foto 2. Gene Roddenberry, alma mater del Universo Trek.

"La serie original cuenta las peripecias, durante cinco años, de la tripulación de la nave estelar Enterprise, enfrentados a todo tipo de amenazas y retos"

marcado para siempre por las orejas de este personaje) y el refunfuñante oficial médico Bones Mc Coy (DeForest Kelley, un secundario de clásicos del Oeste).

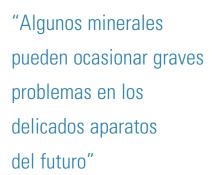
Esta utopía fue la idea de un grupo de soñadores encabezados por el creador de la serie, Gene Roddenberry (foto 2), muerto en 1991, sin ver que de su legado surgieron, además de "Star Trek, the Next Generation", otras series como "Deep Space Nine", "Voyager" y, recientemente, "Enterprise", amén de diez películas.

Este artículo quiere ser un recordatorio y un tributo a alguien para quien no existían fronteras ni tabúes y nos permitió llegar adonde el hombre nunca llegó antes.

La geología en la serie clásica

De los 79 episodios de la serie clásica, tan sólo siete hacen referencia explícita al mundo de la geología, y más específicamente al de la minería de especies extraterrestres, lógicamente desconocidas en la actualidad.

La navegación espacial es posible gracias a un combustible que la humanidad tardará siglos en descubrir: los cristales de un mineral denominado Dilitio (foto 3). Este mineral se explota en minas distribuidas por todo el espacio conocido. Y donde hay minas, hay mineros. En el episodio "Mudd's women", las duras condiciones de vida de estos esforzados trabajadores en el planeta Rigel XII (foto 4), les llevan a solicitar una caravana de mujeres (como en la localidad de Plan) que les trae un pícaro, el cual utiliza un producto embellecedor para colocarles las mujeres más feas del universo.



La disputa de los yacimientos, y de los planetas que los sostienen, pueden llevar a la Federación Estelar a conflictos con sus enemigos, especialmente los Klingon. La necesidad de un tratado minero en Capella IV con un pueblo escasamente



Foto 3. Un cristal de dilitio, con tres de éstos se mueve una nave.



Foto 4. Unos desesperados mineros rigelianos sin vacaciones en Cuba.

desarrollado y que no conoce las armas de fuego, conduce a un conflicto con los Klingon, que han transculturalizado a la población. El mineral, denominado tupelina, es necesario para mantener los soportes vitales ("Friday's child").

Algunos minerales pueden ocasionar graves problemas en los delicados aparatos del futuro. Así, un desconocido mineral amarillo y pulverulento, con propiedades magnéticas y recogido por el técnico-geólogo Fisher en el planeta Alfa-177, afecta al teletransportador de personas, creando un duplicado malvado de la persona que posteriormente lo emplea para subir a la nave, nada menos que el propio Capitán Kirk (The enemy within, escrito por Richard Matheson,

clásico autor de novelas de cienciaficción).

También los minerales pueden tener efectos nocivos sobre la salud de las especies inteligentes. En el episodio "The cloud minders", una plaga botánica devasta la vegetación de Merac-2, llevando a la Enterprise en misión urgente al planeta Ardena para obtener el mineral denominado zienita. En este lugar, las clases dirigentes viven en plataformas entre las nubes, y raramente pisan la superficie. La zienita tiene efectos secundarios muy peligrosos cuando está sin refinar; emite un gas inodoro e incoloro que retarda las funciones intelectuales y aumenta las emocionales, desarrollando la violencia

en los troglitas (foto 5), una raza de trabajadores que viven confinados en la superficie del planeta.

Sin embargo, otros minerales están aconsejados para su administración farmacológica. Es el caso de la Rithelina pura (¡no confundir con la que contiene iridio!), que se emplea para combatir a las peligrosas fiebres rigelianas. Dicho mineral es buscado en el episodio "Réquiem for Methuselah" en el pequeño planeta Holberg 917-G, donde encuentran a Flint, un hosco ser inmortal que ha vivido lo mejor y peor de la historia de la Tierra.

A veces ser geólogo de plantilla en una nave de exploración estelar supone un gran riesgo. El episodio "That which survives" relata cómo la Enterprise arriba a un desconocido planeta fantasma, parecido a la luna en tamaño pero con atmósfera y vegetación terrestre, al que se envía al geólogo D'Amato (foto 6) para investigar cómo es posible tamaño desarrollo atmosférico en apenas unos pocos miles de años. D'Amato está contento porque va a cumplir el sueño de todo geólogo: investigar un planeta tan joven, y escribir un artículo que creará expectación en el V Congreso de Geofísica Interestelar. Sin embargo este planeta sufre una serie de terremotos sin explicación, lo cual le intriga aún más, ya que la especialidad de D'Amato son las perturbaciones geológicas. Sin embargo, una etérea fuerza maléfica acaba con él y sus ambiciones. Y el entierro que recibe es muy especial, como se desprende de la transcripción del diálogo:

McCoy: —Parece que una tumba de rocas es lo mejor que podemos proporcionar a D'Amato. Kirk: —Sí, y además es el monumento más apropiado.

El material que constituve el planeta es una roca ígnea con una temperatura de fusión de 8.000° C, constituida por una aleación de diburnio y osmio que no se puede formar de manera natural, así mismo el planeta no tiene campo magnético. El enigma queda resuelto cuando se descubre que se trata de un



Foto 5. Los troglitas, obligados a trabajar en las minas y a llevar gafas de diseño.



Foto 6. D'Amato, vivo ejemplo de la desgracia del geólogo. Por su rostro, parece adivinar lo que se le viene encima. Efectivamente, muere en el episodio.

planeta artificial creado por una extinta raza denominada los kaladans.

También la falta de técnicos cualificados en los complejos mineros pueden llevar al exterminio sistemático de una especie. aunque ésta puede resultar muy peleona. "The devil in the dark" relata como en el planeta Janus IV (foto 7) un complejo minero que explota persium sufre una serie de asesinatos por parte de un animal denominado Horta, con base de sílice y que segrega ácido por la piel.



Foto 7. El complejo minero de Janus IV. Obsérvese que no



Foto 8. Los nódulos de sílice o los huevos de Horta. Algún geólogo hizo mal el reconocimiento de visu.

Y todo tras poner en explotación un nuevo nivel en el que se extrae, además del mencionado persium, otros minerales como cerio y platino además de unos molestos nódulos de sílice que, a la postre, resultan ser los huevos de la Horta (foto 8). Al final, Spock logra comunicarse con ella, evitando el xenocidio y, de paso, encontrándole un curro: ya que hace túneles para desplazarse, constituye el obrero idóneo y encima no cobra, ¿acabarán con ella los sindicatos?

Las películas

Tras el éxito de las reposiciones de "Star Trek" en televisión y al abrigo de la popularidad de *Star Wars*, que relanzó los filmes de ciencia-ficción, Paramount Pictures decidió producir para pantalla grande lo que iba a ser la serie de "Star Trek Phase II". Así se rodó en 1979 Star Trek The Motion Picture, a la que seguirían cinco títulos más con el reparto clásico y cuatro más con el reparto de The Next Generation.

Geológicamente, "Star Trek II: La ira de Khan" y "Star Trek III: En busca de Spock" comparten un argumento: el proyecto Génesis. Este consiste en un misil que invecta vida a materia muerta o inerte al reorganizar sus moléculas a escala planetaria. Y, casualidades de la vida, este proyecto es desarrollado por la ex de Kirk, la Dra. Marcus, ayudada, que casualidad, por David, el hijo de ambos, mostrando que la endogamia y el nepotismo del mundo universitario sigue en boga en el siglo XXIII. En La Ira de Khan, el laboratorio, situado en el planeta inerte Regula I es atacado por un antiguo enemigo de Kirk, Khan (un impresionante Ricardo



Foto 9. La destrucción del planeta Génesis, o cómo los proyectos de investigación pueden acabar de una manera distinta a la

Montalbán), que, tras muchas vicisitudes y finalmente derrotado, opta por detonar el misil, creando un nuevo planeta lleno de vida en constante ebullición. Sin embargo, se produce la peor baja posible: Spock, sacrificándose para salvar la nave mientras musita "El bien de la mayoría supera al bien de la minoría o de uno solo".

Sin embargo, al ser Spock enterrado en un planeta tan activo biológicamente, para regocijo de sus fans, resucita en Star Trek III, siendo rescatado por sus amigos, mientras el planeta se desmorona por emplear material inadecuado —la protomateria— (ya se sabe, también en el siglo XXIII hay prisas para conseguir las subvenciones y becas) (foto 9). Además, un guerrero klingon se pone muy pesado con lo del misil ocasionando la muerte del hijo de Kirk v su posterior venganza en un planeta en destrucción.

Conclusiones

"Star Trek" es una de las series que más ha marcado la mentalidad de los aficionados a la ciencia-ficción, así como Isaac Asimov con sus tres leyes de la Robótica v el cerebro positrónico marcó la ciencia-ficción escrita. También la geología, como rama de la ciencia, es recogida en el devenir de la serie televisiva, aunque no se rompe la maldición de los geólogos en las películas, sean de cine o televisión: el único geólogo con un papel algo destacado es asesinado mientras trabaja y enterrado bajo un montón de piedras, en un planeta que ¡encima es artificial! Todas las demás presencias están relacionadas principalmente con el mundo de la minería (¿quién decía que estaba en crisis?), ya sea por la mina o por los problemas socio-laborales de los mineros.

Bibliografía

A. ASHERMAN (1989): The Star Trek compendium. Titan Books Ltd. M. OKUDA, D. OKUDA (1993): Star Trek Chronology. The history of the universe. Pocket Books.

Fotos procedentes de www.startrek.com.

Nuevos dispositivos de visualización estereoscópica aplicados a la fotogeología

Los nuevos desarrollos tecnológicos, ligados a la revolución informática, están transformando las técnicas de visualización de pares estereoscópicos utilizadas en la Fotogeología. Instrumentos de alta precisión utilizados en la docencia y en el ejercicio profesional del geólogo han guedado obsoletos en unos pocos años. En este artículo se describen nuevos sistemas de visualización de imágenes estereoscópicas, como las gafas obturadoras, los monitores autoestéreo o los sistemas de proyección con luz polarizada; y se analizan, para distintos supuestos, como la discusión en un foro profesional de un determinado trabajo, la publicación en web del mismo o su publicación en una revista, cuáles son las ventajas e inconvenientes de las distintas tecnologías disponibles.

TEXTO I Santiago Martín González, Rafael Orea Area, Javier Suárez Quirós, Ramón Rubio García, Ramón Gallego Santos. Grupo I3G, Investigación e Innovación en Ingeniería Gráfica. Escuela de Ingenieros Técnicos Industriales de Gijón. Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo.

Palabras clave Fotogeología, estereoscópico, shutter glasses

Visión estereoscópica y fotogeología

El cerebro humano interpreta la realidad a partir de las imágenes que le proporcionan los dos ojos (1). Estas imágenes presentan pequeñas diferencias entre sí, debidas a la separación entre los ojos, que varía alrededor de los 65 mm de media. La disparidad o paralaje entre estas imágenes es uno de los elementos utilizados por el cerebro para percibir la profundidad.

Evolutivamente, todas las especies animales que precisan de una percepción muy exacta de la profundidad, particularmente los depredadores que cazan al acecho, poseen visión binocular estereoscópica, pues el ángulo de visión de ambos ojos se solapa en un alto porcentaje.

La disparidad retinal no es la única señal de profundidad utilizada por el cerebro



Figura 1. Señales de profundidad: perspectiva, solapamiento, sombreado, desviación cromática y enfoque.

para percibir la tridimensionalidad del entorno. Otras señales (ver figura 1) permiten interpretar adecuadamente la profundidad de una imagen plana, algo muy útil para individuos con dificultades severas de visión en uno de los ojos: así, la disminución aparente de tamaño de

los objetos al alejarse (perspectiva); el solapamiento de los objetos alejados por los más próximos; los efectos de luces y sombras; la influencia de la atmósfera en la atenuación y tendencia hacia tonos azulados de los objetos más alejados; y el enfoque.

Históricamente, se atribuye al físico Charles Wheatstone (1802-1875) la interpretación de los fundamentos de la visión estereoscópica, en el siglo XIX, si bien existen antecedentes que se remontan al siglo XVI e incluso antes. El desarrollo de la fotografía durante ese siglo conduce a la aparición de las primeras cámaras estereoscópicas y de los primeros visores estereoscópicos. En estos visores, las fotos que constituyen el par estereográfico son montadas una junto a otra (en un cartón si son positivos o en un cristal si se trata de diapositivas). El visor consta de unas lentes que facilitan la acomodación de la vista (enfoque) y un bastidor que garantiza que cada ojo perciba únicamente la imagen que le corresponde (figura 2).

El desarrollo de los vuelos a motor a principios del siglo XX completa, desde el punto de vista tecnológico, el puzzle necesario para el nacimiento de la Fotogeología, que podemos definir como la rama de la Geología encargada de estudiar los sucesos geológicos a través de fotografías aéreas estereoscópicas (2 y 3). Mediante la composición de pares estereoscópicos, el experto identifica diferentes rasgos geológicos en el terreno,



Figura 2. Visor estereoscópico de finales del siglo XIX.

imperceptibles en fotografía bidimensional (figura 3).

Dispositivos de visualización estereoscópica

El fundamento de los sistemas de creación y visualización de imágenes estereoscópicas es, por tanto, captar o crear dos imágenes de un mismo entorno a partir de dos puntos de vista

diferentes, para luego conseguir, mediante distintos sistemas, que cada ojo perciba únicamente la imagen que le sea asignada.

La posibilidad de generar imágenes mediante el uso de computadores abre nuevas posibilidades a los sistemas estereoscópicos, anteriormente limitados a la representación de fotografías. Pero además de la revolución informática han surgido nuevos dispositivos de visualización de imágenes estereoscópicas.

Los sistemas de visualización estereoscópica más importantes se describen brevemente a continuación (4):

• Visión paralela. Es el primer y más primitivo sistema de visualización. El observador debe centrar su atención en un punto en el infinito, manteniendo los ejes de visión paralelos. Los puntos observados en cada imagen no pueden distar más de 65 mm, es decir, la separación ínter ocular. Para facilitar la visión paralela, se utilizan lentes para acomodar la vista y evitar que cada ojo perciba lateralmente la imagen correspondiente al otro ojo (ver figuras 2 y 3). Para imágenes de gran formato

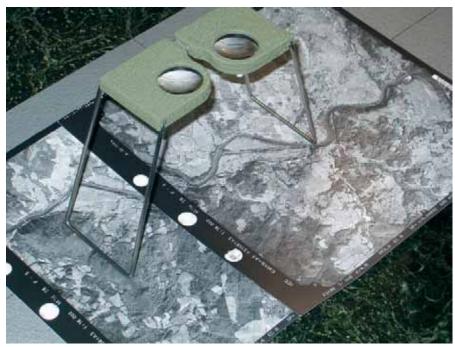


Figura 3. Visualización de fotografías aéreas estereoscópicas en Fotogeología, mediante visión paralela con lentes.



Figura 4. Visualización de fotografías aéreas estereoscópicas en Fotogeología, mediante visión paralela con un estereoscopio de espeios



Figura 5. Sistemas de visión estereoscópica: anaglifos.

"El fundamento de los sistemas de creación y visualización de imágenes estereoscópicas es, por tanto, captar o crear dos imágenes de un mismo entorno a partir de dos puntos de vista diferentes"

- es posible utilizar el llamado estereoscopio de espejos, dispositivo familiar en el campo de la Fotogeología (figura 4).
- Visión cruzada. En este caso, las líneas de visión de ambos ojo se cruzan, fijándose en un punto medio más cercano. De esta forma el ojo derecho observa la imagen izquierda y viceversa. Es posible emplear imágenes con formatos mayores de 65 mm. Evidentemente, el sistema exige cierto entrenamiento.
- Anaglifos. Las imágenes que forman el par estereográfico son representadas superpuestas, previamente coloreadas utilizando tonos complementarios (rojo-cian; azul-amarillo; verde-rosa). Este proceso se logra suprimiendo en cada foto toda la información de color salvo la del filtro aplicado: así, en codificación RGB, para un anaglifo rojo-cian, cada punto de la fotografía 1 pasa de su formato original (R1,G1,B1) a un formato del tipo (R1,0,0); y cada punto de la fotografía 2 pasa de su formato original (R2,G2,B2) a un formato del tipo (0,G2,B2). El observador debe utilizar unas gafas con los filtros de color correspondientes (figura 5). En su cerebro se compone la imagen estereoscópica deseada, si bien se ha perdido en el proceso gran parte de la información del color. El sistema ocasiona bastante cansancio visual.
- Polarización (5). Este sistema consiste en proyectar las dos imágenes que componen el par mediante sendos dispositivos (cañones, proyectores de cine o diapositivas) dotados de filtros polarizadores, girados 90º uno respecto del otro (figura 6). La pantalla debe conservar la polarización de la luz reflejada. El observador debe utilizar unas sencillas gafas con lentes polarizadas de forma congruente con los proyectores. El sistema es muy cómodo y se conserva el color de las imágenes originales.
- Obturación (shutter glasses) (6).
 En este caso, las dos imágenes son mostradas en el monitor de un ordenador de forma alternativa, una después de la otra, con una frecuencia de refresco suficiente alta. El

observador debe utilizar unas gafas dotadas de dos lentes de cristal líquido (LCD) que se oscurezcan alternativamente de forma sincronizada con el monitor (figura 7). El sistema es muy cómodo y se conserva la información de color. Los problemas surgen cuando la velocidad de refresco del monitor es baja, pues se aprecia el parpadeo de las imágenes; o cuando la imagen anterior persiste en pantalla después del borrado, siendo percibida por el otro ojo (efecto ghosting). Por estos motivos, los monitores utilizados son de tecnología CRT (tubo de rayos catódicos) v no los modernos monitores planos tipo TFT.

"Se están utilizando
monitores LCD
semitransparentes, de
forma que el usuario
percibe superpuesta a la
realidad la imagen
artificial de los monitores,
dando lugar a lo que se ha
denominado como
realidad aumentada"

• Cascos de realidad virtual (Head Mounted Display, HMD) (7). En este caso, el observador dispone de un casco especial, que incluye dos monitores miniaturizados tipo LCD, que proyectan las imágenes del par estereoscópico generadas por un ordenador. El objetivo es permitir una mayor inmersión del usuario en un entorno de realidad virtual, con la máxima libertad de movimientos. Mediante sistemas de seguimiento de la posición del usuario (tracking), el ordenador modifica el punto de vista

de las imágenes para que coincida en todo momento. También se están utilizando monitores LCD semitransparentes, de forma que el usuario percibe superpuesta a la realidad la imagen artificial de los monitores, dando lugar a lo que se ha denominado como realidad aumentada.

 Monitor auto-estéreo (8). El monitor del ordenador proyecta en este caso una imagen tridimensional sin necesidad de que el observador utilice ningún tipo de gafas. Existen distintas soluciones para ello. Por ejemplo, en el sistema lenticular se adhiere un filtro sobre la pantalla del monitor. Las dos imágenes del par son enviadas al monitor simultáneamente, entrelazadas verticalmente (por ejemplo, las columnas impares para la foto 1 y las pares para la foto 2). Por simple difracción de la luz, el filtro



Figura 6. Sistemas de visión estereoscópica: lentes polarizadas.



Figura 7. Sistemas de visión estereoscópica: lentes de cristal líquido (LCD).

lenticular ofrece a cada ojo la imagen deseada, ocultando la otra. Este sistema también puede ser utilizado con imágenes impresas. Presenta evidentes ventajas en cuanto a comodidad, si bien la resolución horizontal de la imagen se reduce a la mitad.

conservar cierta información del color original, pero nunca de la calidad de otros sistemas de visión estereoscópica. Habitualmente, por tanto, se visualizan las imágenes en blanco y negro. Finalmente, no existe limitación de tamaño. percepción de profundidad superior, el cansancio visual es menor y no hay pérdida de la información de color. No es compatible con el uso de televisores. Sí es compatible con sistemas de cine, proyectores de diapositivas y cañón.

Selección de los dispositivos de visualización estereoscópica

La variedad de tecnologías de visualización estereoscópica exige pararse a reflexionar sobre las ventajas de utilizar unos u otros en cada caso. El geólogo profesional o el docente, al trabajar en el campo de la fotogeología debe elegir, dependiendo de la finalidad de cada tarea, el dispositivo óptimo. Podemos clasificar las posibles tareas en cuatro categorías: publicación de trabajos en papel, publicación en web, exposición pública de resultados y trabajo de gabinete.

Publicación en papel

Los sistemas de visión paralela, visión cruzada, anaglifos y lenticulares son válidos para transmitir imágenes tridimensionales estáticas en publicaciones. Es necesaria una buena resolución de impresión, algo difícil en apuntes fotocopiados, pero perfectamente viable en publicaciones.

La visión paralela y la visión cruzada exigen por parte del lector cierto nivel de entrenamiento, siendo inevitables problemas de cansancio visual. No obstante, en el caso de la visión paralela es posible utilizar lentes para reducir esos problemas. El formato, limitado en tamaño, de las fotografías para visión paralela acrecienta el problema de la necesidad de una alta resolución de imagen, salvo que se prevea la utilización de estereoscopios de espejos. Ambos sistemas permiten la visión de imágenes en color.

La visualización de anaglifos no exige al lector entrenamiento previo, al menos en la mayor parte de los casos. Sin embargo, el uso de gafas con filtros de colores provoca cansancio visual. El anaglifo, pese a la forma en que es generado, puede

"El geólogo profesional o el docente, al trabajar en el campo de la fotogeología debe elegir, dependiendo de la finalidad de cada tarea, el dispositivo óptimo"

Los sistemas lenticulares pueden ser utilizados con imágenes impresas. Presenta la dificultad de que es necesario adherir sobre la imagen un filtro lenticular. El coste de la publicación es por ello alto. No provoca cansancio visual y la imagen conserva la información del color. El sistema sacrifica resolución, pero el tamaño de la imagen no está limitado. El efecto estereoscópico no es tan bueno como en otros sistemas.

Exposición pública

Los sistemas estereoscópicos de apoyo a las clases magistrales más utilizados son los anaglifos y las gafas polarizadas. En ambos casos, el profesor proyecta una imagen estática o una película estéreo sobre una pantalla, debiendo los alumnos utilizar gafas de filtros coloreados o gafas obturadoras según el caso.

La utilización de anaglifos implica una proyección única de dos imágenes coloreadas superpuestas. Tiene los inconvenientes ya descritos de cansancio visual y pérdida total o parcial de la información de color. Sin embargo, es un sistema económico. Es compatible con un sistema clásico de televisión y vídeo, cine, proyector de diapositivas o cañón conectado a un computador.

El uso de gafas polarizadas implica una doble proyección, a través de sendos proyectores dotados de lentes polarizadas giradas 90º entre sí. Se logra una Es necesaria una pantalla especial que conserve la polarización de la luz reflejada. En el caso del cañón, el ordenador de la sala debe ser capaz de gestionar la proyección a través de dos cañones, lo que exige unas prestaciones especiales, concentradas en la tarjeta de vídeo y en el software utilizado. Se trata, por tanto, de un sistema caro comparado con la utilización de anaglifos, si bien los costes de los equipos son cada día menores.

Trabajo de gabinete

Los sistemas estereoscópicos utilizados en ordenadores personales son los anaglifos, las gafas obturadoras, los cascos de realidad virtual y los monitores auto-estéreo.

Las ventajas e inconvenientes del sistema anaglifo ya han sido comentadas. Únicamente señalar que se trata de un sistema económico y que es compatible tanto con monitores basados en el tubo de rayos catódicos (CRT) como en monitores de cristal líquido (LCD y TFT).

Las gafas obturadoras (shutter glasses) proporcionan al alumno una mejor sensación de profundidad, manteniendo la información de color y reduciendo, si bien no completamente, los problemas de cansancio visual. Para implementar este sistema, no obstante, es necesario revisar el modelo de monitor, el modelo de tarjeta de vídeo y el modelo de gafas obturadoras.

En primer lugar, respecto del monitor, no son válidos los sistemas LCD y TFT. Las gafas obturadoras sólo operan con monitores CRT, pues su funcionamiento se basa en sincronizar la frecuencia de refresco del monitor con el oscurecimiento alternativo de las lentes de las gafas. Para

Respecto de los cascos de realidad virtual, su coste actual es desmesurado para cualquier otro fin que no sea la investigación. Además, las ventajas que pudiera presentar su empleo no son significativas en el caso de la Fotogeología.

"Las gafas más sencillas pueden operar con tarjetas de vídeo de gama media. Se trata de la solución más económica. Proporciona una calidad de imagen aceptable, por lo que se recomienda para implantar en salas de ordenadores orientadas a la docencia"

ello necesitan frecuencias superiores a 90 Hz, que sólo suministran los monitores CRT. En caso de trabajar con frecuencias inferiores, el alumno percibirá el oscurecimiento de las gafas, en forma de parpadeo, lo que ocasionará molestias de cansancio visual.

La elección de la tarjeta de vídeo está vinculada al tipo de gafa obturadora. Las gafas más sencillas pueden operar con tarietas de vídeo de gama media. Se trata de la solución más económica. Proporciona una calidad de imagen aceptable, por lo que se recomienda para implantar en salas de ordenadores orientadas a la docencia. No obstante, para trabajos profesionales y de investigación, puede ser interesante adquirir gafas obturadoras de mayor calidad en combinación con tarjetas de vídeo de gama alta.

Un último aspecto a tener en cuenta en la selección de las gafas obturadoras es el sistema de sincronización entre la tarjeta de vídeo y el monitor. En general, resultan más atractivos los sistemas de sincronización por infrarrojos, sin cableado. No obstante, en el caso de salas de ordenadores, podrían producirse interferencias al coexistir muchos equipos trabajando en paralelo. Por tanto, se recomienda el uso de cables de sincronización.

Finalmente, los monitores auto-estéreo constituyen la solución actual para la visualización de imágenes estereoscópicas en monitores LCD y TFT. Actualmente el coste de estos monitores está decreciendo, por lo que pasarán a ser competencia del sistema de gafas obturadoras. Su principal inconveniente es la pérdida de resolución horizontal de la imagen, si bien mediante un software adecuado con herramientas de zoom este problema puede ser soslayado.

Publicación de contenidos en Internet

La publicación de imágenes estereoscópicas en la web se basa en la actualidad en el uso de anaglifos, gafas obturadoras y monitores auto-estéreo.

Las imágenes son subidas al servidor en formatos que permiten, con el software adecuado, que el visitante de la página web decida en qué sistema desea ver la imagen. Los problemas y ventajas ya han sido discutidos, por lo que no se analizan de nuevo.

Conclusiones

La variedad de tecnologías de visualización estereoscópica existente, en constante evolución, exige un asesoramiento sobre sus posibilidades y limitaciones. El profesional del campo de la Fotogeología o el docente debe elegir el sistema más adecuado para cada medio: exposición pública, trabajo de gabinete, publicación, etc. Esta decisión está condicionada por la disponibilidad tecnológica; los requerimientos del trabajo (importancia de la resolución de la imagen, importancia del color); el problema del cansancio visual; y el presupuesto disponible.

Bibliografía

- (1) HOWARD, I.P., ROGERS, B.J. (1995): Binocular Vision and Stereopsis, Oxford University Press.
- (2) VERGARA, M.L. (1988): Manual de Fotogeología, CIEMA.
- (3) GUTIÉRREZ, M. (1993): Compendio de Teledetección Geológica. Serv. Publicaciones de la Universidad de Oviedo.
- (4) LIPTON, L. (1997): Stereo-vision formats for video and computers graphics, StereoGraphics Corporation.
- (5) VREX, Inc., http://www.vrex.com.
- (6) STEREOGRAPHICS, http://www.stereographics.com.
- (7) SHARP Systems of America, http://www.sharp3d.com.
- (8) EON Reality, Inc., http://www.eonreality.com.
- (9) SUÁREZ, J. et al. (2004): Desarrollo de un sistema de visión estereoscópica aplicado a los estudios geológicos, XVI Congreso Internacional de Ingeniería
- (10) MARTÍN, S. et al. (2005): Creación de una librería utilizando OpenGL para el desarrollo de aplicaciones gráficas utilizando sistemas de visión estereoscópica, XVII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.
- (11) Aplicación Cíclope© http://aegi.euitig.uniovi.es/invest.

Las bodegas de Laguardia, Álava, y su incidencia en la patología de las **cimentaciones**

El casco histórico de Laguardia (Álava) constituye probablemente un caso único en España al estar situado sobre un total de 215 bodegas densamente agrupadas. Esta proliferación de huecos en el subsuelo ha dado lugar a un caso particular de patología de la cimentación por colapso de cavidades.

Texto I Fernando J. Aizpiri, geólogo. Director del área de Geotecnia para la Edificación de Lurgintza Ingeniería Geológica.

Palabras clave

Patologías de la cimentación, colapso, cavidades, riesgo inducido

Las patologías de la cimentación en un edificio tienen su origen en la pérdida de la capacidad de carga del plano de apoyo de uno, varios o todos los elementos que constituyen la cimentación del mismo. Esta pérdida de la capacidad de carga conlleva una cesión del cimiento y de las estructuras que soporta, lo que se traduce en la aparición de daños de distinta importancia en la fábrica y estructuras, que en los casos más extremos pueden suponer la ruina del edificio.

Las causas de las patologías están relacionadas bien con factores de riesgo, como son las características geológicas y geotécnicas del plano de apoyo, o bien con las modificaciones y alteraciones que hayan afectado al edificio o al terreno. Podemos definir dos tipos de factores de riesgo:

- Existen factores de riesgo objetivos relacionados con las características geológicas del terreno, como puede ser la agresividad al hormigón por presencia de sales, o la elevada compresibilidad de un suelo.
- Existen asimismo actuaciones humanas que constituyen factores de riesgo,

y que, en muchas ocasiones, no pueden definirse sin un detallado historial del edificio y su entorno.

El caso que estudiamos se encuentra encuadrado en este segundo supuesto, con la particularidad de que el factor de riesgo no afecta a una sola vivienda o un grupo reducido de viviendas cercanas, sino que afecta a la totalidad de una población. Los

datos que se aportan en el presente artículo proceden principalmente del estudio "Definición de soluciones para la corrección de los problemas originados por las bodegas existentes en el subsuelo de Laguardia", realizado en colaboración por Lurgintza Ingenieria Geológica, S.L., y Fulcrum, S.A., para la empresa pública Arabarri de la Diputación Foral de Álava, entre los años 1992 y 1994.



Figura 1. Plano del casco histórico de Laguardia mostrando la planta de los edificios y las bodegas. El color rojo o verde corresponde a una clasificación respecto a dimensiones, emplazamiento y estado tensional de los calados.

El subsuelo del casco antiquo de la población de Laguardia, en Álava, se encuentra perforado por un total de 215 bodegas (figura 1, página anterior). No se conoce la edad de las mismas ya que no existen referencias escritas ni es posible fecharlas o datarlas con precisión, si bien algunas muestran indicios de tener varios siglos de antigüedad a tenor del tipo de las estructuras de refuerzo. Tampoco se conoce el uso al que han estado destinadas ya que, salvo algún caso aislado, en la mayor parte de ellas no se ha almacenado vino.

Se tiene constancia de un largo historial de daños por colapso de las bodegas, si bien en su mayor parte, el registro es verbal y difícilmente constatable. La información fidedigna y comprobada corresponde a los siguientes casos, citados por orden cronológico:

- 1938: Hundimiento de dos viviendas en la plaza del Cementerio de Santa María con resultado de una víctima.
- 1944: Hundimiento de dos viviendas en los números 46 y 48 de la calle Mayor de Migueloa.
- 1950: Daños en la vivienda número 52 de la calle Santa Engracia por el hundimiento parcial de la bodega.
- 1962: Daños en la vivienda situada en el número 2 de la calle Cuatro Cantones por hundimiento parcial de la bodega.
- 1963: Daños en la vivienda situada en el número 9 de la calle Cuatro Cantones por hundimiento parcial de la bodega.
- 1972: Hundimiento parcial de la vivienda número 66 de la calle Mayor de Migueloa (casa de las marquesas de Salazar), y hundimiento de parte de la calle.
- 1979: Hundimiento de la bodega situada baio la vivienda número 48 de la calle Dolores Saiz de Tapia, que tuvo como resultado el que los cimientos de la misma quedaran al descubierto y sin soporte.
- 1991: Hundimiento (durante las fiestas patronales) de la plaza del Ayuntamiento.

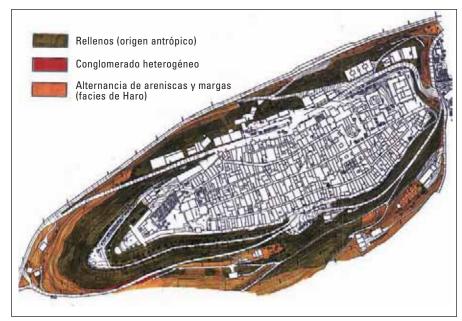


Figura 2. Esquema geológico de Laguardia.

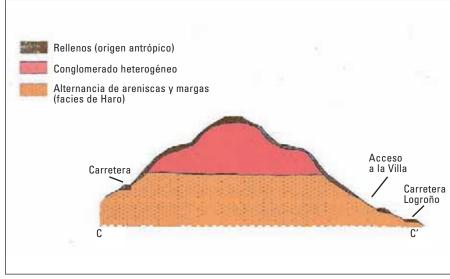


Figura 3. Perfil geológico tipo.

"El subsuelo del casco antiguo de la población de Laguardia, en Álava, se encuentra perforado por un total de 215 bodegas. No se conoce la edad de las mismas, si bien algunas muestran indicios de tener varios siglos de antigüedad"

Breve descripción geológica

Laguardia se encuentra en la denominada Cuenca o Surco Terciario del Ebro-Rioja, colmatada por sedimentos

detríticos depositados en régimen continental, de edad Oligoceno-Mioceno. La población se encuentra situada sobre un relieve que se caracteriza por la sucesión de dos facies diferentes

y discordantes: la facies de Haro en su base, y la facies conglomerática por encima de ésta. El conjunto muestra a techo un amplio nivel de rellenos de 2 m de espesor, aproximadamente, probablemente procedentes de la excavación de las bodegas (figuras 2 y 3). La estratificación presenta una horizontalidad casi perfecta, con buzamientos nunca superiores a 3º, y el contacto entre ambas facies es de carácter erosivo.

"La población se encuentra situada sobre un relieve que se caracteriza por la sucesión de dos facies diferentes y discordantes: la facies de Haro en su base, y la facies conglomerática por encima de ésta"

La facies de Haro está constituida por una alternancia de areniscas calcáreas amarillas de grano medio, y de lutitas grises-amarillentas finamente laminadas. El espesor de los estratos es de 0,5 m, como promedio (figura 4).

La facies conglomerática (figura 5) presenta entre 6 y 8 m de potencia y está constituida por un depósito masivo de conglomerados cuya trama corresponde a gravas y bloques de calcarenita subredondeados, con tamaños que varían desde rangos milimétrico hasta los 10 cm. La matriz es arenosa, principalmente fracción "arena fina". La trama puede ser abierta o cerrada, y ocasionalmente aparecen lentejones arenosos aislados con espesores máximos de 0,5 m.



Figura 4. Fotografía que muestra un afloramiento de la facies de Haro.



Figura 5. Fotografía que muestra el contacto entre la facies de Haro (en amarillo), a base, y la facies conglomerática a techo.



Figura 6. Facies conglomerática tal y como se presenta en la pared de una bodega.

Descripción de las bodegas

Las bodegas se encuentran situadas bajo las viviendas. En el caso más simple se trata de un hueco excavado con herramientas manuales con trazado en planta en general rectilíneo, a modo de túnel cerrado por ambos extremos. A este hueco se denomina localmente "calado". La bodega puede constar de un solo calado, de un calado con huecos abiertos en los hastiales a modo de "capillas" (el término es nuestro), o de varios calados unidos entre sí formando plantas de trazado complejo. Han sido excavadas en la facies conglomerática y la roca se muestra en hastiales y bóvedas (figura 6, página anterior).

La sección de los calados es de arco de medio punto, en ocasiones soportado por arcos de refuerzo de sillería o de hormigón (figuras 7, 8 y 9). Debido a las características de la roca se producen desprendimientos frecuentes que afectan principalmente a las bóvedas, que tienden a adquirir un perfil de arco ojival, más adecuado tensionalmente. Estos desprendimientos motivan que se pierda el contacto entre los refuerzos de sillería o de hormigón y la bóveda. La solución ha consistido en recrecer el arco mediante muretes de mampostería que garantizan el contacto. Los arcos de sillería, aparentemente muy antiguos, presentan buen estado de conservación: sin embargo. los arcos de hormigón muestran con frecuencia degradación del mortero, desconchamientos y oxidación de las armaduras, síntomas de la actuación de algún agente agresivo (figura 10, página siguiente).

Algunas bodegas presentan además una chimenea de ventilación que se conoce como "tufera".

El número total de bodegas es 215, y el de calados, 358. Las dimensiones varían mucho:

Largo: entre 3,0 y 30 m, con predominio de los calados de longitud cercana a los 10 m.

Ancho: 2,50 a 5,20, con predominio de anchura entre 3 y 3,5 m.

Alto: 2,00 a 4,00 m con predominio de alturas de 3 m.

Tapada: aproximadamente 3,5 m (figura 11).



Figura 7. Calado sin refuerzos.



Figura 8. Calado con refuerzos de sillería.



Figura 9. Calado con refuerzos de hormigón. Se aprecia que los sucesivos desprendimientos de la bóveda tienden a proporcionar un perfil ojival a la misma, y que se ha mantenido el contacto arco-bóveda recreciéndolo.



Figura 10. Ataque al hormigón de los refuerzos.



Figura 11. Fotografía de una bodega seccionada por las obras de un edificio cuyo proyecto incluía un sótano. Se aprecia perfectamente el espesor de la tapada

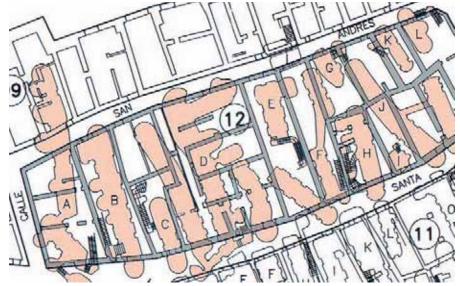


Figura 12. Detalle de una de las manzanas mostrando la densa disposición de las bodegas y su trazado bajo muros de carga, fachadas y calles.

El acceso a las bodegas se realiza desde las viviendas, mediante escaleras talladas en la roca. La disposición en planta de las bodegas más sencillas busca adaptarse a la disposición de los muros de carga de los edificios, de forma que el aplome de los mismos coincide con los hastiales de los calados. Sin embargo, son muchas las bodegas cuyos calados pasan bajo las fachadas, cruzan total o parcialmente las calles, e incluso se extienden por debajo de más de una vivienda (figura 12). Es de destacar que algunas de las bodegas de mayores dimensiones, reforzadas con arcos de sillería, constituyen conjuntos de particular belleza dignos de ser mostrados al público.

Características geotécnicas de la facies conglomerática

Se han analizado un total de 15 muestras procedentes de dos sondeos de testificación y de catas en las paredes de las bodegas. Los resultados son:

Granulometría: muestran una disposición bimodal con predominio de las fracciones grava y arena fina. Se dan todas las relaciones porcentuales matriz/trama. Permeabilidad = 1,95 E-4 cm/seg Densidad natural dn = 1,8 T/m³ Humedad natural vn = 12% Resistencia a compresión simple $Qu = 1.3 \text{ a } 7.7 \text{ kp/cm}^2$ Ángulo de rozamiento interno $j = 37^{\circ}$ Ángulo de rozamiento interno efectivo $j' = 31^{\circ}$ Cohesión Cu = 0,2 kp/cm² Cohesión efectiva Cu' = 0,2 kp/cm² LL = 20Lp = 17IP = 3

Se efectuaron, asimismo, medidas del contenido en cloruros y sulfatos tanto en muestras de agua tomadas en sondeo como en muestras de sondeo y en muestras tomadas en paredes de las bodegas. Los resultados se indican en las figuras 13, 14 y 15, de la página siguiente.

Análisis en muestras de agua			
Muestra	mg/1 Sulfatos	mg/1 Cloruros	
S 1	150	82,4	
S2	125	85,2	
S3	60	34,2	

Figura 13. Tabla de contenido en sales solubles en muestras de agua tomadas en sondeo.

Análisis en muestras de sondeo			
Muestra	mg/1 Sulfatos	mg/1 Cloruros	
S 1	10	5,6	
S2	80	25,5	
S3	55	15	

Figura 14. Tabla de contenido en sales solubles en muestras de suelo tomadas en sondeo.

Análisis en muestras e sondeo mg/1 mg/1 Muestra Sulfatos Cloruros 5N 78 73,4 5N(2) 295 96,4 11E 520 113,5 5J 92 37 17C 800 119 3C 25 2,8 7H 590 22,7 685 130 60 14D 25 5,68 11A 50 5 14E 30 5,6 14P 500 5,7 40 110 8,5

Figura 15. Tabla de contenidos en sales solubles en muestras tomadas en pared de bodega.

Conclusiones

El caso de Laguardia es probablemente un caso único en España, ya que si bien existen localidades en cuyo subsuelo existen bodegas u otro tipo de estructuras, no se conoce ningún otro caso en el que la proliferación de huecos bajo los cimientos de la población llegue a originar un caso individual de patología.

Las bodegas se han excavado aprovechando las excelentes características geotécnicas del nivel de conglomerados: fácil excavabilidad y alta estabilidad en condiciones naturales. La ejecución de los calados es, asimismo, correcta, como lo demuestra que muchos de ellos tengan probablemente siglos de antigüedad y aparentemente no presenten problemas.

El estado funcional de los elementos de refuerzo que se han estudiado es muy diverso. Los arcos de sillería son los que presentan una mejor conservación, sobre todo si se tiene en cuenta que son probablemente los más antiguos, y en algunos casos su ejecución puede remontarse a la Edad Media. Los arcos de ladrillo muestran asimismo buen estado. Los arcos de hormigón, sin embargo, presentan frecuentemente un fuerte deterioro, incluso en obras realizadas hace pocos años. Uno de los datos aportados verbalmente por los vecinos de Laguardia fue que, en muchas ocasiones, las bodegas se utilizaron como almacén del azufre para sulfatar las viñas. Esto puede ser la causa de los relativamente elevados contenidos en sulfatos que aparecen en algunas muestras tomadas en las paredes de bodegas, en relación con los contenidos en agua y muestras de sondeo, y puede, a su vez, estar de alguna forma relacionado con el deterioro del hormigón.

Respecto al riesgo potencial que suponen las bodegas, partimos del análisis de los casos conocidos.

El primer rasgo relevante es que la localización de problemas de estabilidad es aleatoria dentro del casco antiguo, lo que es coherente con la variabilidad de las características texturales de la facies

conglomerática, y con las complejas relaciones bodegas-edificios.

El segundo rasgo dominante es que todos los procesos de inestabilidad han estado relacionados con la presencia de agua en el subsuelo, en proporción muy superior a la que el terreno tiene en condiciones naturales.

En tercer lugar, parece tener influencia, en los desprendimientos observados, las vibraciones producidas por el paso de camiones en la única zona del casco en que se permite el paso de vehículos.

Las características geotécnicas del nivel de conglomerados permiten considerar que el factor de riesgo más elevado es la presencia de agua en el subsuelo, principalmente en el caso de accesos importantes y muy localizados, como puede ser una fuga en los sistemas de abastecimiento municipales o una fuga doméstica. La permeabilidad del terreno permite una rápida difusión del agua, al mismo tiempo que, al incrementarse la densidad y disminuir el ángulo de rozamiento interno, la roca pierde sus condiciones de estabilidad.

Una vez actúa el agua, la importancia del colapso está en función de un gran número de factores difícilmente evaluable a priori: existencia o no de arcos o estructuras de refuerzo, dimensiones del calado y disposición del mismo en relación a los muros de carga de los edificios.

Debe prestarse especial atención en las obras de reforma interior de los inmuebles, y en los proyectos de nueva edificación, en el casco histórico, tras el derribo del edificio anterior. Es necesario establecer con precisión la situación y profundidad de los calados en planta, lo cual no siempre es fácil, con el fin de evitar que las zapatas de la nueva edificación o los pilares y muros de carga de la rehabilitación ejerzan los máximos esfuerzos sobre las claves de los calados, sobre todo teniendo en cuenta que, dada la disposición de las bodegas, el colapso provocado por una actuación de este tipo puede afectar a las cimentaciones de los edificios colindantes

Geotermia solar. Una realidad presente como apuesta de futuro

La Geotermia solar es una alternativa muy esperanzadora a las fuentes energéticas tradicionales. Un simple sistema de tuberías y una bomba de calor constituyen toda la instalación que aprovecha la energía almacenada en el subsuelo por la radiación solar. Estos sistemas de climatización va se usan con gran rendimiento en Suiza, Suecia, Francia, Alemania, Austria y otros países desarrollados.

TEXTO I Por Joan Escuer, geólogo consultor.

Palabras clave Geotermia, Código Técnico de la Edificación

Recientemente ha sido aprobado el CTE (Código Técnico de la Edificación), que contempla de forma especial la aplicación de energías renovables y ahorro energético en la construcción de edificios. Curiosamente, el reciente código no hace ninguna referencia a una de las opciones energéticas más atractivas: la Geotermia solar. Ello no es de extrañar, va que incluso entre el colectivo de geólogos, profesionales claramente competentes en cuestiones geotérmicas, el desconocimiento de esta variante de energía geotérmica y de sus aplicaciones está muy extendido. Con este artículo se pretende divulgar la Geotermia solar y sus usos, una realidad presente en diversos países de nuestro entorno, así como hacer hincapié en el potencial empleo que su implantación en nuestro país puede reportar a los profesionales.

La Tierra guarda una enorme cantidad de energía en el subsuelo inmediato que poco o nada tiene que ver con los procesos internos del planeta. A pocos metros por debajo de la superficie, la temperatura es estable dentro de un intervalo, debido principalmente a la energía recibida del sol. La geotermia que aprovecha esta bajísima entalpía recibe el nombre de Geotermia solar.



a diferencia de la geotermia de alta, media y baja entalpía, que se genera a partir de procesos geodinámicos internos cuyas manifestaciones superficiales son el termalismo y el vulcanismo.

Se habla, por tanto, de Geotermia solar porque la fuente energética procede del sol, que calienta la corteza terrestre, especialmente en verano. Dada la gran inercia térmica de los suelos y las rocas, éstos son capaces de almacenar este calor v mantenerlo incluso estacionalmente. En el subsuelo, a partir de unos 5 metros de profundidad, los materiales geológicos permanecen a una temperatura prácticamente constante durante todo el año. En el caso español, a una profundidad superior a los 5 metros, la temperatura del suelo, independientemente de la estación del año o las condiciones meteorológicas, es de alrededor de 15°C con pequeñas variaciones. Entre los 15 y 20 metros de profundidad, la estabilidad térmica es de unos 17ºC todo el año. La inercia térmica condiciona también un desfase

"La Tierra guarda una enorme cantidad de energía en el subsuelo inmediato. A pocos metros por debajo de la superficie la temperatura es estable dentro de un intervalo, debido principalmente a la energía recibida del sol"

temporal alcanzando el subsuelo inmediato los valores más frescos en primavera, tras el invierno, y los valores más cálidos en otoño, tras el verano.

por debajo de los 10°C). Ello sólo se consigue mediante un gasto desproporcionado de energía. En el caso de las bombas de calor

"Los métodos principales para la obtención de esta energía son las bombas de calor geotérmicas y los intercambiadores tierra-aire que aprovechan la energía almacenada en los almacenes de energía térmica subterránea"

Los métodos principales para la obtención de esta energía son las bombas de calor geotérmicas (GHP del inglés Groundwater Heat Pumps), y los intercambiadores tierra-aire (EHX Earthto-air Heat exchangers), que aprovechan la energía almacenada en los almacenes de energía térmica subterránea (UTES Underground Thermal Energy Storage), existiendo una amplia diversidad de sistemas que pueden ser abiertos, cerrados y mixtos.

Los almacenes de energía térmica subterránea. UTES, son divididos en diversas categorías que contemplan básicamente dos tipologías: suelos y rocas de una parte, y masas de agua tanto superficiales como subterráneas, de otra.

Las bombas de calor geotérmicas se sirven de un sistema de perforaciones en el suelo para aprovechar la temperatura templada de este. La clave de la eficiencia de estas bombas de calor está en la diferencia entre la temperatura que se quiere conseguir y la temperatura a la que se encuentra el elemento. Con las bombas de calor convencionales aire-aire que todos conocemos, pretendemos mantener temperaturas confortables a costa de extraer frío de un ambiente cálido en verano (25°C cuando el aire exterior se encuentra a 30-35°C) y calor de un ambiente frío en (21°C, cuando el ambiente externo se halla

geotérmicas, el gradiente de temperatura que se debe superar es mucho menor. En invierno, disponer de un material a 15-17°C se puede considerar una fuente de calor. A su vez, esta estabilidad térmica supone que, en verano, el subsuelo esté considerablemente más fresco que el ambiente exterior.

El intercambio de calor con el subsuelo permite proporcionar el mismo confort, pero con unas necesidades de energía eléctrica mucho menores que el de una bomba de calor convencional.

Las bombas de calor geotérmicas se sirven de intercambiadores que pueden ser clasificados como sistemas abiertos u cerrados. En los sistemas cerrados, los intercambiadores de calor enterrados, están constituidos por una tubería plástica de alta resistencia y gran duración que se entierra debajo de la superficie del suelo a una cierta profundidad en la vertical (sondeos) u ocupando una superficie horizontal a profundidad somera. El líquido de intercambio suele ser preferentemente agua o una solución con anticongelante, que circula a través de la tubería, en circuito cerrado, transportando el calor a la bomba de calor, en invierno, y al suelo, en verano. Se produce un intercambio de energía térmica entre el líquido que circula por las tuberías enterradas y el suelo o la roca. Esta fórmula es inocua para el medio, dado que el fluido en ningún momento entra en contacto con él. En los sistemas abiertos se utiliza una masa de agua existente ya sea superficial o subterránea como fuente de calor. Una vez aprovechada la temperatura se devuelve el agua utilizada sin ninguna alteración química. De esta forma pueden acondicionarse recintos con una enorme eficiencia y ahorro energético.

En los intercambiadores verticales, una parte importante del coste económico viene determinado por las perforaciones, y éstas pueden no ser viables en algunos terrenos, mientras que en el caso de los intercambiadores horizontales, éstos pueden no ser viables dada la superficie hipotecada por los mismos para otros usos, como por ejemplo en zonas urbanas densas.

El circuito enterrado en el suelo se escoge en función del lugar donde se halla el edificio y el espacio de que se dispone. En lo que respecta a las características de la bomba de calor geotérmica, existen diferentes modelos para adecuarse a cada caso —casas unifamiliares aisladas o adosadas, viviendas plurifamiliares de diferentes tamaños, locales industriales o comerciales— y a las dimensiones de la casa o local.

Los intercambiadores tierra-aire utilizan la tierra para enfriamiento y calentamiento de una corriente de aire que circula a través de tubos soterrados para tal propósito, contribuyendo a reducir la temperatura del aire que ingresa a los edificios durante el verano y aumentándola durante el invierno. Su uso en acondicionamiento térmico de edificios se ha extendido en los últimos años, haciéndose particularmente útil en invernaderos, en los que en muchos casos permite un ahorro de más del 45% de sus requerimientos energéticos, y en construcciones como hoteles y edificios docentes.

El sistema se escoge en función del lugar donde se halla el edificio, el espacio de que se dispone y las características geológicas del terreno. En lo que respecta a las características de la bomba de calor geotérmica, existen diferentes modelos para adecuarse a cada caso —casas unifamiliares aisladas o adosadas, viviendas plurifamiliares de diferentes tamaños, locales industriales o comerciales, hospitales, hoteles y a las dimensiones de la casa o local.

Los sistemas de climatización basados en el aprovechamiento de la Geotermia solar ya están muy asentados en países como Estados Unidos, Suiza, Suecia, Alemania, Austria, China, Países Bajos, Japón, Francia, etc. En Alemania, el 75% de las bombas de calor son geotérmicas. Además, en estos países el número de estas aplicaciones crece anualmente debido, principalmente, al ahorro energético que supone y a su buen funcionamiento. Se estima que existe una potencia instalada en Estados Unidos de 1,8 GW; en China, 2,1 GW; y en toda Europa hay unas 100.000 instalaciones con 1,3 GW. En países como Estados Unidos, se estima que hay unas 300.000 instalaciones, con un crecimiento anual del 20%. En Europa, los países con mayor número de instalaciones con bomba de calor geotérmica son: Suecia (55.000), Alemania (18.000), Suiza (20.000), Austria (17.000) y Holanda (5.000).

Los sistemas de bombas de calor geotérmicas, en comparación con los sistemas tradicionales, permiten un

comparado con sistemas que usen otros combustibles. Las bombas de calor geotérmicas maximizan la vida útil de la instalación, reducen los costes de mantenimiento, operación y potencia contratada, y presentan mayor fiabilidad y comodidad, permitiendo una climatización integral todo el año. También aportan flexibilidad de ampliación o modificación cuando las necesidades del edificio cambian, así como flexibilidad en la ubicación. Estas instalaciones colaboran a la disminución de las emisiones de CO₂, disminuyen el ruido y eliminan el riesgo de legionelosis.

El coste inicial de este tipo de instalaciones es mayor debido a los costes de perforación, pero el gran ahorro energético (respecto a otros sistemas convencionales menos eficientes como BC aire-aqua o BC aire-aire), es amortizable en un plazo de tiempo razonable, de 4 a 8 años. Este tipo de sistemas está catalogado como energía renovable en el libro blanco de las energías renovables de la Unión Europea y, por tanto, se acoge a ayudas gubernamentales para subvencionar las instalaciones. Por citar un ejemplo próximo, en estos momentos la AVEN, Agencia Valenciana de Energía. subvenciona en torno al 40-55% del coste elegible dependiendo de la casuística de los proyectos.

geológicas. Los factores geológicos que condicionan la viabilidad tanto técnica como ambiental de la Geotermia solar son diversos. Los valores de temperatura de superficie y de temperatura del subsuelo condicionan la eficiencia energética del sistema. La dureza y resistencia de las rocas, el espesor alterado así como la existencia de recubrimientos condicionan los sistemas de perforación y, por tanto, los costes en sistemas verticales así como la ejecución de trincheras en los horizontales. Los valores de conductividad y difusividad térmica del terreno son los responsables del rendimiento en el intercambiador de calor. En el caso de sistemas abiertos es indispensable conocer con precisión los condicionantes hidrogeológicos del lugar.

Un informe geológico básico orientado a la aplicación de la energía solar debería incluir: un mapa geológico acompañado de sus cortes, con especial detalle de las formaciones superficiales y antrópicas, así como características y disposición del substrato rocoso que permita conocer con cierto detalle los primeros 100 metros de profundidad; una estimación de la temperatura media anual en el suelo inmediato así como a profundidades de 100 y 200 m; la estimación de los valores de conductividad v difusividad térmica del terreno; un inventario de sondeos y pozos cercanos; las características geotécnicas de los suelos y rocas que permitan estimar el tipo y coste de la perforación en su caso; la estimación de la posición y características del nivel freático y flujo de agua subterráneo y, en el caso de sistemas abiertos, detalle de las propiedades químicas del agua subterránea.

La Geotermia solar y sus aplicaciones son una realidad en los países más avanzados de nuestro entorno, mientras que en nuestro país el tema va introduciéndose tímidamente. Esperemos que con el desarrollo del CTE (Código Técnico de la Edificación) la Geotermia solar se convierta también en una realidad en la que los geólogos deben representar un papel crucial a favor de las buenas prácticas, la sostenibilidad y el uso de esta variante geotérmica alternativa y renovable.

"El coste inicial de este tipo de instalaciones es mayor debido a los costes de perforación, pero el gran ahorro energético, es amortizable en un plazo de tiempo razonable, de 4 a 8 años"

ahorro energético muy significativo: 40-60% comparado con sistema de bomba de calor agua-agua o aire-agua, 75% comparado con sistema de radiadores eléctricos, 60% comparado con sistema de Gas Natural y 70%

A nadie puede escapársele la importancia del conocimiento del terreno para una correcta implementación de la Geotermia solar. El rendimiento del sistema dependerá en gran parte de las condiciones del lugar, especialmente las

Guía geológica del Parque Nacional del Teide

La preocupación por la protección y divulgación del patrimonio geológico va incrementándose paulatinamente en España. La confección de guías geológicas es una de las mejores vías para esa divulgación, pero tiene sus dificultades técnicas de ejecución. No vale sólo con poner fotos bonitas en un texto técnico y editarlo. Hay que saber elegir las ilustraciones más

representativas para el mensaje que se

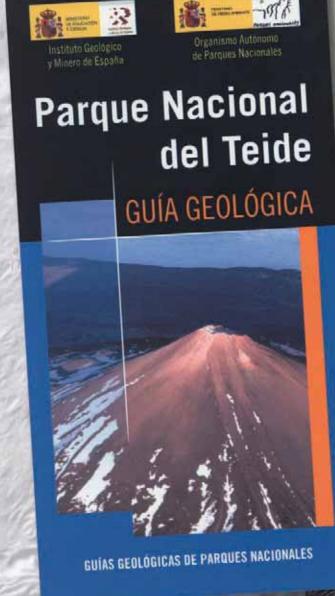
quiere transmitir, y eso no es fácil. Primero hay que definir el mensaje y luego, el soporte gráfico y textual que mejor lo represente. Es decir, se trata e realizar un producto literario, dirigido a un público no experto, distinto al informe geológico técnico tradicional. Por eso es muy importante la metodología que se emplee

así como la experiencia en divulgar los aspectos geológicos del territorio.

En este sentido, el Instituto Geológico
y Minero de España (IGME) ha editado
recientemente, en colaboración con el
Organismo Autónomo Parques
Nacionales, la primera guía geológica
de un Parque Nacional español.

Esta primera guía, a la que le sucederán próximamente las de otros parques, forma parte de un ambicioso programa, dirigido y coordinado por Roberto Rodríguez, que desarrollará el IGME en los próximos años, con el fin de rellenar el vacío que hay en la divulgación de los grandes paisajes geológicos españoles. El objetivo es dar a conocer al público no especializado la enorme riqueza que tiene España en cuestiones de patrimonio geológico.

La primera guía de este programa ha sido la del Parque Nacional de El Teide, elegido para su publicación por ser el parque más visitado de los que



componen la red española (cerca de cuatro millones de visitantes al año), y el que ofrece una visión geológica del vulcanismo planetario más excepcional. La edición, impresa a todo color, tiene el formato estándar de una guía turística (12x23 cm), y contiene una gran cantidad de ilustraciones, entre fotografías y esquemas volcánicos, y diversos cuadros de texto en donde se explican aspectos de la historia de la vulcanología tinerfeña, conceptos básicos de los volcanes o testimonios de personajes que vivieron, en directo, las erupciones históricas localizadas en el Parque. También incluye la guía, dos mapas a todo color, en una sola hoja exenta: mapa vulcanológico sobre un modelo de sombras y, en el reverso, el mapa geomorfológico.

La guía tiene cuatro partes bien diferenciadas. En la primera se exponen, en varios capítulos, los conceptos básicos de la vulcanología, el marco vulcanológico en el que surgió Tenerife y, con el sugestivo título de "Así se formó Tenerife", la geología general de la isla, descrita de manera cronológica: la fase en escudo (Anaga, Teno y Roque del Conde), la irrupción de los Edificios Cañadas y el Edificio Dorsal, que unió la zona de Anaga con los Edificios Cañadas, y todo el vulcanismo postcañadas, incluido el histórico. Posteriormente, en la segunda parte, y de manera más detallada, se describe la geología que aflora en el Parque Nacional, haciendo una descripción, igualmente cronológica, de todas las grandes formaciones vulcanológicas constitutivas de los relieves del Parque, a saber: la pared de Las Cañadas, compuesta por diferentes unidades de los Edificios Cañadas (Angostura, Ucanca, Las Pilas, Diego Hernández y Guajara); la generación de la caldera polilobulada de Las Cañadas, con sus diferentes hipótesis de formación; el vulcanismo postcaldera del Complejo Teide-Pico Viejo; los edificios sálicos poscomplejo (Roques Blancos, Montaña Abejera, Montaña Blanca, Montaña Rajada, Montaña Majúa, Montaña del Sanatorio, etc., y, por último, las erupciones históricas

que hay dentro del Parque: la erupción de Siete Fuentes (1704-1705) y la del volcán Chahorra o Narices del Teide (1798).

La guía incluye también un capítulo de geomorfología titulado "Protagonistas del paisaje: los relieves volcánicos", que se complementa con el mapa geomorfológico adjunto.

La tercera parte de la guía está compuesta por un conjunto de nueve itinerarios que tienen una expresión esquemática en el mapa geológico general, y una expresión detallada en un mapa de situación propio donde se incluyen los elementos y puntos de interés vulcanológicos a ver. Los itinerarios señalados forman parte, total o parcialmente, del mapa de senderos oficiales que tiene el Parque Nacional. En ellos se pueden ver todos los elementos y paisajes volcánicos fundamentales que están representados en el Parque. Se han diseñado tres tipos de itinerarios según el tiempo e interés que se tenga en la visita. Para una visita completa de un día se ha confeccionado un itinerario básico a lo largo de las carreteras asfaltadas, Itinerario 1, que permite visualizar los aspectos más esenciales del vulcanismo. Hay un grupo de siete itinerarios básicos (Riscos de La Fortaleza, volcanes de Arenas Negras, Los Roques de García, Siete Cañadas, Montaña Blanca y Montaña Rajada, El Pico del Teide, subida al Chahorra

y Pico Viejo) en los que se observan aspectos más completos de algunas de las unidades vulcanológicas principales. Hay un último itinerario, el de subida a Guajara, que es algo más específico y que está pensado para aquellas personas que quieran saber algo más de alguna de las unidades principales. Al final, en la cuarta parte, la guía incluye un glosario muy instructivo de los términos volcánicos empleados en el texto, así como un índice toponímico muy útil e interesante, un índice general y una bibliografía.

Hay que destacar, como aspecto relevante, que es la primera vez que una publicación del IGME incluye la corrección de estilo, una aportación que siempre mejora la literatura del texto.

Esta guía, de clara vocación divulgativa, está dirigida a todos los públicos que se interesen por la Geología, en especial por la Vulcanología y que no posean información especializada sobre estas temáticas. En un momento en que El Teide y su entorno parecen querer despertar de su letargo eruptivo, una guía como ésta es muy bien recibida, pues da las claves para entender cómo se disponen espacial y temporalmente las erupciones volcánicas desde hace unos 3,5 millones de años hasta la actualidad. Esperemos que las siguientes guías geológicas de otros parques, resulten igual de atractivas y comprensibles como la de El Teide.

FICHA TÉCNICA

Título: Parque Nacional del Teide: Guía geológica Autores: J. L. Barrera; A. Pineda (geomorfología)

y R. García (colaboración informática) Dirección y supervisión técnica: F. Bellido

Asesoría: E. Ancochea

Edición: IGME y Parques Nacionales

Páginas: 186

ISBN: 84-7840-614-X

Precio: 15 €

Los puentes que tiende la Ciencia

Juan José y Fausto Delhuyar: Europa y América en la **Ilustración**

"Siendo el fundamento de esta Sociedad un sincero deseo de procurar a nuestro país todo género de utilidades, buscando y solicitando sus mayores ventajas en el verdadero manantial de ellas, que son las Ciencias, las Bellas Artes y las Letras... La tierra descubre por todas partes sus tesoros, y abundando el fierro y otros metales que encierra en su seno, toman estas preciosas materias mil formas diferentes en las manos de nuestros artífices..."

Así se expresaba el autor del discurso preliminar del Ensayo de la Sociedad Bascongada de los Amigos del País, en 1766 (Ensayo, 1768, pp. 2, 3, 16). ¿Qué era esta Sociedad? ¿Consiguieron sus objetivos? En este trabajo se responden a estas y a otras preguntas, y se presenta un esbozo de la biografía de dos riojanos ilustres, fundamentales en el proceso de cambio que tuvo lugar en la España de finales del siglo XVIII: Juan José y Fausto Delhuyar.

TEXTO I Inés Pellón González, Dra. en Ciencias Químicas. Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Secretaria de la SEHCYT.

Palabras clave Historia de la Química, Metalurgia y Mineralogía; siglos XVIII y XIX; hermanos Delhuvar: wolframio.

El primer Borbón de la línea dinástica española reina con el nombre de Felipe V (1683-1746), y hereda el trono del último gobernante de la casa de Austria en España, Carlos II, que no había dejado descendencia directa. Al fallecer Felipe V, le sucede su hijo Fernando VI (1713-1759), quien sabe rodearse de colaboradores muy eficaces, como Zenón de Somodevilla y Bengoechea (Margués de la Ensenada), José de Carvajal, o el jesuita Francisco Rávago. Su política internacional pacifista le permite fomentar el desarrollo interior del país: potencia la puesta a punto y la producción de los astilleros de Ferrol. Cartagena y Cádiz, construye caminos, abre el puerto de Guadarrama, y acomete obras de regadío, iniciadas con el comienzo de la construcción del canal de Castilla. Su política cultural resulta decisiva para la entrada de la Ilustración, y propicia la ruptura definitiva del

aislamiento en el que se encontraba sumida España.

En 1754, su equipo inicial de gobierno desaparece con la muerte de Carvajal y con el alejamiento del margués de la Ensenada, hostigado por agentes ingleses y aborrecido por la aristocracia. También el jesuita Rávago es desposeído del confesionario regio, y, el gobierno posterior, encabezado por el anglófilo

Ricardo Wall, se encamina hacia la ruptura de la neutralidad anterior. Al fallecer el rey sin dejar descendencia, en 1759, llega de Nápoles su hermanastro Carlos —el futuro Carlos III (1716-1788)—, para hacerse cargo del trono español.

Mientras tanto, Europa contempla el florecimiento de las denominadas "ciencias y artes útiles" que, al amparo de la denominada Revolución Industrial, son

"En la mayoría de los países se crean academias y escuelas especializadas en la formación de científicos y técnicos y, en el caso de España, este hecho se generaliza a lo largo del siglo XVIII"

concebidas como las herramientas imprescindibles que impulsarán el desarrollo de los diferentes países. Pero para alcanzar al imparable tren de la industrialización, resulta necesario, entre otras cosas, disponer de personal altamente cualificado que ponga en marcha este proceso. En la mayoría de los países se crean academias y escuelas especializadas en la formación de científicos y técnicos y, en el caso de España, este hecho se generaliza a lo largo del siglo XVIII, gracias al esfuerzo de algunas instituciones y, sobre todo, de ciertos hombres.

Así se fundan, entre otros centros, el Seminario de Nobles de Madrid (1725). la Academia de Guardias Marinas de San Fernando (Cádiz, 1728), la Regia Academia Médica Matritense (1734), el Real Colegio de Cirugía de Cádiz (1748), el Real Jardín Botánico de Madrid (1755), el Real Gabinete de Historia Natural de Madrid (hacia 1770), la Academia de Minas de Almadén (1777), el Observatorio Astronómico de Madrid (1790), o el Real Gabinete de Máguinas del Buen Retiro (1791-1792). En este proceso de modernización juegan un importante papel diferentes instituciones no gubernamentales, como la Real Junta Particular de Comercio de Barcelona, o las distintas Sociedades de Amigos del País. entre las que destaca, por ser la pionera y por los importantes logros conseguidos, la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País. Su promotor, Francisco Xavier Mª de Munibe e Idiaquez, VIII Conde de Peñaflorida (1729-1785), es educado por los jesuitas en su villa natal, Azkoitia (Guipúzcoa), y en Toulouse. Nombrado diputado en 1758, reside en Madrid hasta 1761. A su regreso al País Vasco, estructura en Azkoitia unas tertulias a imagen de las existentes en las principales ciudades europeas, que dan lugar a la fundación de la Sociedad Bascongada, el 24 de diciembre de 1764. El rey Carlos III aprueba el reglamento para los alumnos, los estatutos y el plan de estudios en 1765, 1773 y 1776, respectivamente. El lugar físico que acoge a estudiantes, profesores y medios materiales es un espléndido edificio —denominado Real Seminario—, situado en el centro de la villa guipuzcoana de Vergara. Fundado por los jesuitas, se cede a la Bascongada



Figura 1. Tríptico de la exposición titulada "Ciencia y técnica en la ilustración. Exposición Conmemorativa en el 250 aniversario del nacimiento de Juan José y Fausto Delhuyar", que se pudo contemplar en la Casa de las Ciencias del Avuntamiento de Logroño del 1 de junio al 29 de agosto de 2004.

cuando la orden religiosa es expulsada de España en 1767.

La familia Delhuyar

Unos años antes de que se produzcan estos hechos, el Ayuntamiento de Logroño busca un "cirujano latino" para que trabaje en el hospital de la ciudad. La primera noticia de esta inquietud aparece documentada el 3 de marzo de 1752, durante el reinado de Fernando VI. El profesional elegido llega a la capital en 1753; natural de Asparren (Francia), se Ilama Juan Delhuyar Surrut (1718-1784), y está casado, desde 1746, con Úrsula Lubize y Sorrosty, nacida en San Juan de Luz (Francia). El matrimonio se instala en una vivienda que tenía "sol y pozo", que le proporcionan luz y agua en abundancia, elementos imprescindibles para un cirujano. Pero Francisco Martínez de la Mata, secretario del Santo Tribunal de la Inquisición, codicia su casa, y por ello el francés es excomulgado y "puesto en tablillas" en la puerta de la iglesia Colegiata. Se inicia un largo proceso entre ambos que cesa el 18 de marzo de 1754,

cuando la Inquisición desiste de su intento de desahucio. La familia Delhuyar vive en la casa hasta mediados de 1756, y en ella nacen sus dos hijos mayores: el 15 de junio de 1754, Juan José, y el 11 de octubre de 1755, Fausto Fermín. De momento no se ha encontrado contrato de arrendamiento de esta primera residencia, ni referencia alguna a su ubicación exacta en las numerosas menciones que de ella se hacen en las Diligencias sobre la competencia de la Inquisición para expulsar a Juan Delhuyar de su vivienda. Pero gracias al estupendo trabajo del personal del Archivo Municipal de Logroño (AML) y del Archivo de Protocolos Notariales de Logroño (APNL), se sabe que se encontraría en la demarcación de la iglesia de Santa María de la Redonda, en la que son bautizados los dos hijos mayores del matrimonio. Al cabo de cierto tiempo, la familia se traslada a la segunda de sus residencias, donde nace la hija menor, Mª Lorenza (8 de agosto de 1757), y casi un año después fallece Úrsula (2 de julio de 1758).

Cuando es coronado Carlos III, en 1759, se inicia en el país un reinado plenamente reformista desde el punto de vista socio-político y económico, que es considerado un exponente típico de la Ilustración. El rey otorga poder político a la burguesía, a la que favorece con iniciativas como la creación de la Orden de Carlos III. Fomenta el progreso del país, promueve el desarrollo de las obras públicas, y entiende que la prosperidad nacional se basa en el desarrollo cultural y educativo. Por ello impulsa la investigación científica, reforma los sistemas docentes y favorece la difusión de los conocimientos. Para mantener el prestigio español y su presencia colonial, amenazada principalmente por el expansionismo de Gran Bretaña y Francia, reforma la Armada y el Ejército, iniciativas que pronto demuestran su eficacia. Además intenta unificar el sistema monetario con la creación del primer papel moneda y la primera banca estatal (Banco de San Carlos, 1782).

En Logroño, Juan Delhuyar contrata, a partir de 1761, a Dominica de Elizagaray, paisana de su esposa, como responsable del cuidado de sus hijos. Cuatro años después se casa con ella (el 18 de junio de 1769), y, con su ayuda,

regenta una empresa de destilación de alcoholes, en la que llega a tener hasta 22 calderas. Los documentos depositados en los archivos de Logroño atestiguan su intensa actividad como industrial, que compagina con su trabajo como cirujano.

Una carencia importante: la Ciencia y la Técnica en la España del siglo XVIII

Como a principios del siglo XVIII la situación de la Marina española es tan lamentable, los distintos gobiernos borbónicos se plantean una solución para evitar, en la medida de lo posible, los desastres navales que ocurren en los primeros años de la centuria. Mirándose en Francia —un hecho constante durante todo el siglo—, se crea el Despacho de Marina e Indias, organismo que tiene como primer responsable a Bernardo Tinajero de la Escalera. Gracias a su gestión y a la de sus sucesores en el cargo, la situación mejora notablemente, en una época en la que los conflictos bélicos se suceden sin parar, y en la que ostentar la hegemonía en la mar resulta fundamental. El riojano Zenón de Somodevilla y Bengoechea, Marqués de la Ensenada (1702-1781), llega a tener una enorme influencia en la Corte, y desde su poderosa posición al frente de los ministerios de Hacienda, Guerra, Marina e Indias, protagoniza una importante reforma en la España de mediados del siglo XVIII. Ensenada se da cuenta de que, para lograr sus objetivos, necesita, entre otras cosas, hombres cualificados que importen las ideas y las novedades científicas y técnicas que se están produciendo en Europa. Para lograrlo, desde la embajada española en Londres se desarrollan numerosas actividades, entre las que destacan varias misiones de espionaje. Sus protagonistas son, entre otros, Jorge Juan, Antonio de Ulloa, Enrique Enriqui, Dámaso Latre, Agustín Hurtado, José Manes y Francisco Estachería. Su principal misión es proporcionar una visión general de las novedades tecnológicas que se habían producido en las industrias mineras y metalúrgicas europeas durante los últimos tiempos. Viajan a Estrasburgo y a Suiza, y se matriculan, también, en la Escuela Mineralógica de Freiberg (Sajonia), siendo los primeros españoles que estudian en la prestigiosa institución, más de veinte años

antes de que lo hagan los hermanos Delhuyar [Gómez Urdáñez, 1996; Helguera, 1987].



Figura 2. Imagen de Zenón de Somodevilla y Bengoechea, Marqués de la Ensenada (1702-1781), según un retrato de Jacobo Amigoni (1682-1752).

Pero cuando las colonias inglesas de Norteamérica se rebelan contra la Gran Bretaña, y después de la decisiva victoria en Saratoga de los independentistas americanos, en 1777, la situación se torna insostenible. Francia reconoce enseguida al nuevo país, y España no puede evitar volver a encontrarse aliada con los franceses, por lo que entra en querra contra Inglaterra, en junio de 1779 [Cervera, 1986, pp. 99-101].

A pesar de que la marina española es más poderosa que la inglesa, ésta posee navíos más rápidos, que además están armados con los mejores cañones que se fabrican en Europa en ese momento: los de la factoría situada en Carron, en los Highlands escoceses. Fundada en 1760, ya en 1770 es conocida como la mejor fábrica de artillería y de municiones de Europa. De hecho, un tipo especial de cañones diseñados para la Armada se denominan "carronadas" por haber sido inventados allí. España también compra en ella parte de la artillería para sus buques, pero al iniciarse la guerra entre Inglaterra y sus colonias, cesa el comercio con ellos [Whitaker, 1951, pp. 561-562]. Resulta entonces necesario recurrir al producto nacional elaborado en las fundiciones de Liérganes y La Cavada (Cantabria).

Decidida a ser autosuficiente en todo tipo de material bélico, la Secretaría de Marina instala, en 1771, hornos de reverbero en Ferrol, Cartagena y Cádiz, que fabrican, sobre todo, municiones para suministrar a los arsenales situados en estos tres departamentos marítimos. En 1778, se funda, en Jimena de la Frontera (Cádiz), otra empresa del mismo tipo, cuya producción se destina a las Indias. Sin embargo, los cañones cántabros empiezan a fallar, no resistiendo el metal con el que se fabrican el mismo número de descargas que hasta el momento. Este hecho causa importantes destrozos en el casco de los buques, así como lamentables bajas entre los artilleros. El problema adquiere tintes angustiosos, porque no se puede concebir una Marina de guerra sin cañones, enfrentada a la temible escuadra inglesa [Alcalá-Zamora, 1974, pp. 11-26]. El responsable de la Secretaría de Marina en aquel momento es el navarro Pedro González de Castejón y Salazar, Marqués de González de Castejón (1719-1783), y cuando percibe los vientos de guerra, consciente de que no tiene cañones de calidad con los que surtir a sus barcos, recurre al marino bilbaíno José de Mazarredo. Ambos habían realizado varias campañas juntos, y Mazarredo es el autor de numerosas obras técnicas (de construcción naval, de navegación, de táctica naval, ordenanzas, etc.) [Barbudo, 1945, apéndice 26; Fernández Duro, 1972, tomos VII y VIII; Núñez, 1945, pp. 121-122].

Es el profundo respeto que tiene González de Castejón por la valía profesional de Mazarredo lo que le lleva a recurrir a sus consejos. El 31 de enero de 1776, el marqués le escribe una carta secreta en la que le solicita consejo para conseguir dos hombres técnicamente cualificados y "no vulgares", dispuestos a desplazarse a las fábricas de Carron y descubrir por qué los cañones que allí se fabrican son los meiores del mundo [Doc. 1, fol. 1v. l. 19-23] (A.G.S., Marina, Leg. 718, Exp. 1777-1778)]. Mazarredo le contesta el 26 de febrero de 1777, y le sugiere que las causas del deterioro de la fabricación de cañones cántabros podrían ser tres: "primera, de que la vena no sea buena; segunda, de que no se sepa preparar y convertir en fierro

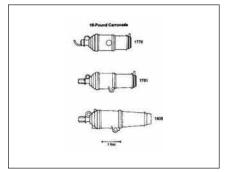


Figura 3. Evolución de los cañones denominados carronadas a lo largo de los años 1778, 1781 y 1805. Fuente: Lardas,

bien depurado de materias extrañas; y tercera, de que se debilite su vigor en las mezclas" [Doc. 2, fol. 1v, I. 22-27 (A.G.S., Marina, Leg. 685)1.

Mazarredo añade que la causa más probable de los fallos podría ser la primera, porque la profesionalidad de los ferrones que fundían el mineral quedaba fuera de toda duda. Las minas que surtían a las factorías de Liérganes y La Cavada eran las de Cabárceno, Montecillo, Pámanes y Sobrazo, en Cantabria, y Somorrostro, en Vizcaya [Alcalá-Zamora, 1974, pp. 26 v 189-226], pero el problema no estaba en la calidad de la mena en sí, sino en que los hombres destinados a extraerla no tenían los suficientes conocimientos mineralógicos para seguir las vetas meiores. Es en este momento cuando le explica los proyectos que tiene la Bascongada para contratar a dos profesores, uno de Mineralogía y otro de Metalurgia, para que impartan sus enseñanzas en el centro docente de la Sociedad. Mazarredo añade que hasta ahora no se ha podido cumplir este proyecto por falta de fondos, y recomienda encarecidamente que el dinero necesario —que es una suma considerable—, salga de las arcas del Estado. También le sugiere que se podrían subvencionar los estudios de varios jóvenes en las mejores Escuelas de Minería de Europa (Freiberg y Suecia) durante tres o cuatro años, porque a su vuelta podrían aplicar sus conocimientos en las minas del país. En último lugar, y con mucha cautela, comenta que resultaría muy útil la "inspección" de la fábrica de Carron (Escocia) por una o dos personas, y aunque él no conoce a nadie capaz de realizar tan difícil misión, recomienda al Conde de

Peñaflorida, quien "desempeñará con mucho peso y acuerdo cualquier confianza que V. E. le hiciese" [Doc. 2, fol. 4v, I. 20-23 (A.G.S., Marina, Leg. 685)].

Mazarredo se pone en contacto con Peñaflorida y su pariente el Marqués de Narros, en "mayo o junio" de 1777 [Doc. 220, fol. 1r., I.12 (A.G.S., Marina, Leg. 718, Exp. 1783)], y ellos le escriben a González de Castejón en julio [Doc. 3 (A.G.S., Marina, Leg. 718, Exp. 1777–78)], indicándole que ya habían empezado a realizar las gestiones necesarias para localizar dos jóvenes dispuestos a trasladarse a las fábricas de Carron. Eligen al navarro Ignacio de Montalbo para que se traslade a Inglaterra, con el objetivo de introducirse en Carron para preparar la llegada del segundo espía (o "espía científico"). Éste, que tendrá que haberse formado primero en los principales centros mineros de Europa, será el experto en fundición de cañones

particulares de cada estudiante, y también era corriente que los gobiernos de ciertos países subvencionaran parcial o totalmente estos viajes, con la intención de que los pensionados actuaran como espías industriales y militares [Cervera, 1990, pp. 68 y 73; Gago, 1978, pp. 5-18; García-Diego, 1988, pp. 105-126; Helguera, 1987, pp. 671-695; Lafuente/Peset, 1981, pp. 223-262; Parra, 1993, pp. 30-32; Whitaker, 1951, pp. 557-585].

Los hijos de Peñaflorida y Narros no son una excepción a esta costumbre, y en París conocen a Juan José y a Fausto Delhuyar, que estudian en la capital del Sena desde 1772-1773, subvencionados por su padre [Palacios, 1993, pp. 71 y 95]. La primera noticia de la elección de Juan José para la misión secreta es una carta que Peñaflorida y Narros envían a González de Castejón el 12 de octubre de 1777 desde Vergara [Doc. 21 (A.G.S., Marina, Leg. 718, Exp. 1777-1778)]. Por otro lado, Fausto acepta su

"Las minas que surtían a las factorías de Liérganes y La Cavada eran las de Cabárceno, Montecillo, Pámanes y Sobrazo, en Cantabria, y Somorrostro, en Vizcaya, pero el problema no estaba en la calidad de la mena en sí, sino en que los hombres destinados a extraerla no tenían los suficientes conocimientos mineralógicos para seguir las vetas mejores"

que descubrirá cuál es el secreto de la técnica de fabricación inglesa, para aplicarla en las factorías españolas. Los nobles vascos encuentran al segundo espía, como ellos mismos dicen, "por casualidad" [Doc. 24 (A.G.S., Marina, Leg. 718, Exp. 1777-1778)]. Durante esta época era bastante habitual que los hijos de las familias pertenecientes a las clases altas europeas viajaran por las ciudades más famosas para ampliar su formación. La duración del viaje y los lugares visitados dependían de los intereses

nombramiento como catedrático del Seminario en una carta escrita desde París del 19 de diciembre de 1777, en la que renuncia a continuar sus estudios de medicina y se compromete a iniciar su formación como científico [Doc. 41 (A.G.S.. Marina, Leg. 718, Exp. 1777-1778)]. Previamente, el Rey había cumplido su parte del trato al aprobar, el 15 de septiembre de 1777, el establecimiento de dos cátedras en el Seminario: una de Química y otra de Mineralogía y Metalurgia [Doc. 9 (A.G.S., Marina, Leg. 718, Exp. 1777-1778)].

Se puede asegurar que estas enseñanzas son pioneras en el país, aunque la primera escuela técnica que se crea en España, por R.O. de Carlos III de 14 de julio de 1777, es la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén (Ciudad Real). Esta mina tiene un enorme interés para la Corona, porque el mercurio que se obtiene de ella se utiliza para separar los metales preciosos (oro y plata) que provienen de América, mediante el método de amalgamación [Castillo, 1998, vol. I, pp. 131-147]. El plan de estudios programado para dicha escuela incluye las asignaturas de "Geometría Subterránea; Mineralogía; Laboreo de Minas; Dibujo y Levantamiento de Planos, y Matemáticas", no contemplándose las enseñanzas de Química y Metalurgia previstas para Vergara [Blanco, 1998, pp. 440-447].

El viaje de los dos hermanos (1778-1781)

Convertido Juan José en "espía científico" y Fausto en profesor de Mineralogía del Seminario, ambos hermanos se trasladan de nuevo a Europa. Salen de Vergara y, vía Bayona, Ilegan a Estrasburgo. Atraviesan Alemania y se dirigen a Freiberg para matricularse en su prestigiosa Escuela de Minas [Parra, 1993, pp. 48 y ss.]. En ella, además del alumnado nacional, se matriculaban numerosos extranieros. Antes de los hermanos Delhuyar estuvieron varios españoles, y después de ellos, otros, entre los que destacará un alumno de Fausto llamado Joaquín Ezquerra del Bayo, quien escribe el libro Datos y observaciones sobre la industria minera. con una descripción característica de los minerales útiles, cuyo beneficio puede formar el objeto de las empresas. Este libro, publicado por Antonio Yenes en Madrid, en 1844, reproduce los filones de la mina llamada Churprinz, localizada en Freiberg. El principal filón de todos era el denominado Ludwig Spath, compuesto por "gneis, cuarzo, barita, cal carbonatada, galena, pirita de cobre, cobre gris, plata roja, plata vítrea, pirita de hierro y algo de plata nativa" [Ezquerra, 1844, p. 126].

Allí reciben clases de Abraham Gottlob Werner (1750-1817), el autor del término "geognosia" para referirse a todo lo relativo a la historia y formación de los

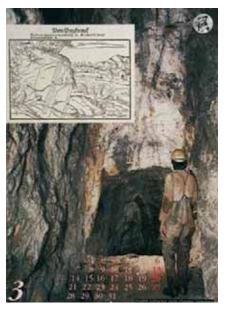


Figura 4. Filón Ludwig Spath, de la mina denominada Churprinz, en Freiberg. Fuente: www.spezialbild.de/ kalender/seiten/94/mar_94.htm (octubre/2004).

minerales y rocas, y que es considerado uno de los fundadores de la mineralogía. Además, tienen como profesores a Charpentier, Geller, Uverner, Rechster, y Klotseh, quienes siguen un Plan de estudios que comprende las enseñanzas de: "La historia natural de los fósiles, el beneficio de las minas, la geometría subterránea, las matemáticas, la física, el dibujo, la química con aplicación a la metalurgia, y la docimasia o el arte de ensavar metales".

Los dos hermanos Delhuyar recorren los principales establecimientos centroeuropeos, como Schemmitz, Kremmitz, Neusohl y Herrengrund, en donde hay "una grande mina de cobre, en que además de los minerales que se desgajan de los filones, se aprovechan también las aguas que son vitriólicas para hacer un color verde, y para cobre de cementación..." (Carta de Fausto y Juan José a Antonio, hijo de Peñaflorida, con quien habían compartido estudios, y que en 1781 se encontraba en Vergara. Viena, 20 de junio de 1781).

El 12 de marzo de 1781. Peñaflorida y Narros comunican a González de Castejón que han recibido informes de Juan José desde Sajonia, sobre una prueba de cañones realizada en Hamburgo, en la que han resultado con notable ventaja los ingenios suecos sobre los de Carron. Por esta razón, y como además se encuentra prohibida la

entrada de extranjeros en los dominios ingleses, el riojano considera muy apropiado desplazarse a las fábricas de Suecia para adquirir cuanto antes los innovadores conocimientos sobre fabricación de cañones [A.G.S., Marina, Leg. 675]. El Ministerio de Marina acepta su propuesta, y cuando en octubre de 1781 Fausto es reclamado por la Bascongada para ocupar su puesto en el Seminario, los dos hermanos se separan. Juan José inicia en solitario un viaje a Suecia, adonde llega en diciembre de 1781, para seguir un curso de química particular con el profesor de la Universidad de Upsala, Torbern Olof Bergman (1735-1784). Asiste a sus clases hasta junio de 1782, y a continuación, visita a Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) en Köping. En su recorrido por los mejores centros docentes de Europa, Juan José contempla cómo la aplicación de la ciencia a la técnica y a la fabricación artesana alcanza su apogeo con el fulgurante desarrollo de las ciencias experimentales. En concreto, la química ilustrada perfecciona los métodos de síntesis de numerosas sustancias, incrementa el número de



Figura 5. Aragonito de Herrengrund, Czechia. Longitud 4 cm. Colección: Nationalmuseum, Prague, Czechia. Photo: © Rainer Bode, Haltern. Fuente: www.a-m.de/images/ mineral/aragonit1_gr.jpg (octubre /2004).

reactivos con los que trabajar en los laboratorios, consigue identificar una gran cantidad de gases, y, sobre todo, simplifica su manipulación. Entre todas las ciencias de esta época, es la química la que sufre el mayor proceso de cambio, gracias a las aportaciones de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), entre otros. Lavoisier investiga el papel del oxígeno en las reacciones de combustión, interpreta el mecanismo de las calcinaciones, demuestra la naturaleza compuesta del agua y su síntesis a partir de hidrógeno y oxígeno, estudia la reducción de los óxidos y el fenómeno de la acidez.

La publicación, en 1789, de su Tratado elemental de química supone la consagración de esta disciplina como una ciencia formalmente establecida, cuyo lenguaje había sido regulado dos años antes, cuando Lavoisier, Guyton de Morveau, Berthollet y Fourcroy publican el Método de nomenclatura química (1787).

La difusión de los conocimientos se produce en esta época gracias a la Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une Société de Gens de lettres (París, 1751-1772), monumental obra publicada bajo la dirección de Diderot y D'Alembert. Formada por 17 volúmenes de texto v 11 volúmenes de láminas. contiene 72.000 artículos escritos por más de 140 autores. Su impacto en la sociedad de la época resulta enorme, y a pesar de que en España se encuentra prohibida por la Inquisición, muchos de los ilustrados españoles consiguen leerla.

Fausto en Vergara

A la vez que la química ilustrada crece v evoluciona hacia su madurez, Juan José v Fausto se encuentran inmersos en los principales círculos científicos europeos. y tienen acceso de primera mano a las nuevas ideas de la "escuela de químicos franceses". Mientras tanto, en 1778, se inaugura en Vergara el laboratorio químico anexo al Seminario, donde Louis Proust impartirá, el 20 de mayo de 1779, la primera clase de Química que se da en España.

Fausto ya se encuentra en la villa quipuzcoana el 8 de octubre de 1781, e inaugura las clases de Mineralogía el 5 de noviembre de ese año. Además, simultanea su labor docente con la elaboración de varios trabajos científicos, como los titulados Chapas de hierro y hojalata (1782), Proyecto para una colección de minas del país (1783), Estado de las minas de Somorrostro, Memoria sobre los minerales de los Pirineos, etc. Entre ellos destaca un Informe sobre las minas de cobre de Aralar, que realiza nada más llegar a Vergara, a finales de 1781. La sierra de Aralar, situada entre Guipúzcoa y Navarra, acoge en su seno una mina de cobre, formada sobre todo por

calcopirita [sulfuro doble de hierro(II) y cobre(II), (CuFeS2)]. Se tiene noticia de trabajos de extracción y laboreo de la mina desde 1734, cuando pertenece a una compañía privada formada por varios accionistas. El informe de Fausto es



Figura 6. Fachada principal del Seminario de Vergara. Fuente: www.paisvasco.net/.../ images/bergara3-txiki.jpg (octubre /2004).

enviado, junto con varios planos, al Ministerio de Marina, pero el original se pierde en el camino de Vergara a Madrid. Afortunadamente ha quedado el borrador manuscrito; formado por 47 páginas, que contiene varias enmiendas y tachaduras, y donde queda patente la profunda formación científica que Fausto ha adquirido en Europa [Archivo del Real Seminario de Bergara, ARS].

El interés del Ministerio de Marina por las minas de cobre está originado por dos razones. En primer lugar, es necesario el bronce (aleación de cobre) para fabricar numerosas piezas que se utilizan en los buques. En segundo lugar, los ingleses comienzan a forrar el casco de sus barcos con planchas de cobre, que hacen que sus navíos resulten bastante más rápidos que los de los franceses y españoles. Hay que tener en cuenta que los barcos de esta época están fabricados en madera, y después de botados se instalan en su casco unos moluscos denominados Teredo navalis o broma marina, que no sólo le restan velocidad al favorecer que crezcan algas que hacen de barbas, sino que pudren la madera y obligan a cambiar la carena de la obra viva (es decir, las tablas que van por debajo del agua) con bastante frecuencia, con el coste económico que esto supone. Antes del cobre se usaban todo tipo de mezclas de alquitrán, sebo e incluso grasa sobrante de la cocina para proteger a los palos. Los buques de guerra españoles instauran el forro de cobre en 1780, y en plena guerra contra Inglaterra, resulta imprescindible no depender de las importaciones de este material.

Pero mientras Juan José se encuentra en Europa, fallece González de Castejón (el 19 de marzo de 1783), y este hecho, unido a la victoria de la alianza franco-española, cancela la subvención para la operación de espionaje, que queda anulada.

¿Qué pasó con la misión de espionaje?

Afortunadamente, el desenlace de la misión tiene un final feliz para ambos espías. Después de numerosas vicisitudes, Ignacio logra su objetivo de introducirse en la factoría de Carron, a la espera de la llegada de su compañero Juan José. Sin embargo, este hecho nunca se produce, porque al cesar el apoyo económico del Ministerio de Marina, ambos regresan a la Península antes de finalizar su cometido. El Rey y sus consejeros deciden que a partir de este momento dependerán del Ministerio de Indias en vez del de Marina, y son destinados a la fábrica de armas de Jimena de la Frontera (Cádiz), gestionada por dicho ministerio. Ambos pensionados son sometidos a examen por los directores de dicha fábrica, y no hace falta decir que lo aprueban sin ninguna dificultad. Ignacio se traslada a ella, y aunque a partir de este momento su pista se pierde, permanece registrado como socio profesor de la Bascongada, al menos hasta 1787. Parece que durante esta época alcanza honor y gloria, y en 1786 posee el título de Conde de Casa Montalvo y Teniente Coronel de las milicias de Matanzas en Cuba [Pellón/Román, 1999]. Según Martínez Ruiz [1985, p. 81], fallece en 1788.

El colofón de la aventura para Juan José Delhuyar es de sobra conocido. Reunido con su hermano Fausto en Vergara, aplica los conocimientos que ha adquirido a lo largo de su viaje por Europa en el bien equipado Laboratorium Chemicum situado en la casa de Zabala, próxima al Seminario. El fruto de su trabajo resulta ser una primicia mundial: el aislamiento de un elemento químico poco conocido hasta entonces, del que había tenido noticia en su estancia con Bergman en Upsala. Con él perfecciona sus conocimientos y las técnicas que le resultan imprescindibles para realizar el aislamiento. Los dos hermanos denominan al nuevo elemento químico "volfram", aunque

actualmente también se le denomina, con poco rigor histórico, tungsteno. Juan José, al igual que Ignacio, debería trasladarse a la fábrica de Jimena, pero el 15 de diciembre de 1783 es nombrado director general de Minas de Nueva Granada, por lo que parece que este traslado no tiene lugar. El 29 de mayo de 1717 se había instituido el virreinato de Nueva Granada, que tras ser suprimido en 1723, es restablecido definitivamente en 1739. Con jurisdicción sobre los actuales territorios de Venezuela, Colombia, Ecuador y Panamá, su capital es Santa Fe de Bogotá, donde Juan José se casa con Josefa Gaona de la Bastida y Lee de Flórez el 1 de diciembre de 1788. Nacen sus hijos Úrsula (17 de mayo de 1791). José Luciano (8 de enero de 1791) y Fausta (11 de julio de 1794), y Juan José fallece el 20 de septiembre de 1796, cuando tiene 42 años. Durante los 13 años que está al frente de las minas del Virreinato de Nueva Granada, entre otras muchas actividades, colabora con el científico y eclesiástico José Celestino Mutis (1732-1808) en el método de amalgamación para la extracción de la plata.

El aislamiento del wolframio

Juan José Delhuyar regresa a Vergara y se reúne con Fausto, en mayo o junio de 1783. Trabajan juntos en el laboratorio del Seminario aplicando los conocimientos adquiridos por ambos en Europa, y en particular, por Juan José en Upsala, sobre la existencia de un nuevo metal que no había sido obtenido en estado puro hasta el momento por ningún científico del mundo. Parten de un mineral al que los mineros alemanes denominan wolframita haciendo referencia a su aspecto, similar a la "espuma o baba de lobo".

Sus esfuerzos son coronados por el éxito -si bien en el segundo intento-, y presentan sus resultados en las Juntas Generales de la RSBAP celebradas en Vitoria el 28 de septiembre de 1783. Su método de obtención es publicado en la revista que auspicia la Sociedad, titulada Extractos de las Juntas Generales celebradas por la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País en la ciudad de Vitoria por septiembre de 1783. En su memoria científica —que es, probablemente, la mejor que contienen los Extractos—, describen magistralmente



Figura 7. Wolframita. Fuente: http://www.montes.upm.es /Dptos/DptoSilvopascicultura/Edafologia/guia/Galeria/Mine GR/wolframita5.jpg (octubre /2004).

los diferentes ensayos a los que someten a la wolframita [(Fe,Mn)WO₄] hasta obtener wolframio puro. Aplican la metodología aprendida por Juan José en Upsala, que consistía en reacciones por vía seca y por vía húmeda, y las dificultades que tienen para lograrlo quedan reflejadas en las numerosas reacciones que realizan antes de llegar al aislamiento [Luyart / Luyart, 1783, pp. 46-88].

La memoria, formada por 13 capítulos, divididos cada uno en varios apartados, son el testigo fiel de la tremenda complejidad de la tarea llevada a cabo por los riojanos. La fantástica formación científica que poseen ambos hermanos queda patente en la lectura de estas líneas, que se han reflejado brevemente en la tabla 1. En ella se han indicado entre corchetes [] las fórmulas actuales de los compuestos químicos, y en el procedimiento de obtención cabe destacar el empleo de "un crisol de Zamora". Estos recipientes, construidos con arcilla refractaria, eran conocidos por ser capaces de soportar temperaturas muy altas sin alterarse. Puede considerarse que este hecho, además del de estar herméticamente cerrado, es parte de la clave del éxito de Juan José y Fausto.

El trabajo publicado en los Extractos tiene una repercusión internacional, y se traduce al francés, inglés, alemán y sueco. Los químicos europeos denominan al nuevo metal "tungstene" o "piedra pesada", si bien esta designación no es del todo correcta, porque el nombre que le dan los hermanos Delhuyar es el de Wolframio.

El wolframio ocupa el lugar setenta y cuatro entre los elementos, y se encuentra en la naturaleza en forma de wolframatos. Los

más importantes entre ellos son la scheelita [CaWO₄] y la wolframita [(Fe,Mn)WO₄], que es una mezcla de los isomorfos ferberita [FeWO₄] y hubnerita [MnWO₄]. La wolframita es un sólido de color negro parduzco que cristaliza en forma de prismas hexaédricos chatos apuntados. Se encuentra en grandes depósitos en China y, en menor cantidad, en otros países. Actualmente, en España se localiza este mineral en los filones cuarcíferos del granito de Rivadavia, en Santiago de Carbajosa, Penouta (Orense), Puebla de Caramiñal, San Finx de Noya, Fontao y Silleda, en Galicia. En la provincia de Zamora destacan los yacimientos de Carbajales, Villardeciervos y Bermillo. En Salamanca aparece en el gneis de Hinoiosa del Duero, con casiterita, y también en Torrubias, Alquería de Cequena, Santo Tomé de Rozados, Bernoy y Cemprón. En Cataluña, en Santa Coloma de Gramanet (Barcelona), y en el cuarzo ferruginoso de Almorox (Toledo), con aspecto tabular. En Andalucía son importantes las mineralizaciones en cuarzo de Marmolejo (Jaén), y las del Cerro de las Cabezas, en Montoro, y otras localidades de la parte central del batolito granítico de Los Pedroches (Córdoba). Con débil contenido en manganeso se encuentran en Linares y Vilches (Jaén). En la Sierra de Almagrera (Almería) aparecen cristales muy facetados. También ha sido encontrada esta especie en las minas de La Unión, en Cartagena (Murcia). En Extremadura, están registradas grandes cantidades en Garrovillas y Acebo, en la Sierra de Jalama (Cáceres), y en Badajoz destacan las localidades de Zalamea de la Serena, Valle de la Serena y Oliva de la Frontera, en filones de cuarzo.

Segundo viaje de Fausto a Europa (1786-1788)

En septiembre de 1785, Fausto renuncia a su cátedra de Mineralogía en Vergara, y es contratado por el Gobierno para desplazarse de nuevo a Europa. Esta vez tiene como misión aprender el novedoso método de amalgamación de Born, v. además, contratar a dos expertos europeos en minería para que optimicen las explotaciones de las minas de Perú y México. El 17 de abril de 1786 ya se encuentra en París, desde donde se traslada a Viena, y de allí a Hungría, para realizar un recorrido similar al que hizo con su hermano Juan José. Visita los establecimientos

Capítulos	Contenidos
ı	Exhaustiva revisión bibliográfica de los trabajos realizados hasta el momento sobre el mineral "volfram" [(Fe,Mn)WO ₄] por Henkel, Cronsted, Valerio, Justi, Baumer, Scopoli, Sage y Lehman. Localización del "volfram" hasta el presente: sólo se encuentra en las minas de estaño, y no se ha localizado en España. Nombre alemán: "Wolfram" o "Wolfarth". Nombre latino: "Spuma lupi"
II	Propiedades del "volfram": color, cristalización, densidad (6,835 g/cm³) Origen de las muestras del "volfram": minas de estaño de Zinnualde, frontera de Sajonia y Bohemia
III	Ensayos por vía seca del "volfram", primera parte: Ensayos al soplete Ensayos con fundentes: "sal microcósmica" [NaNH4HPO4·4H2O] "bórax" [Na2B407·10H2O] "nitro" [KNO3] Ensayo con fuego fuerte en un crisol
IV	Ensayos por vía seca del "volfram", segunda parte: Reactividad del "volfram" con el "álcali vegetal" [K₂CO₃] Análisis cualitativo: el "volfram" contiene hierro y alabandina (manganeso) Primeras referencias a pesadas precisas, tomadas con muestras de 100 "granos" de mineral (4,992 g)
V	Ensayos por vía húmeda del "volfram", primera parte: Reactividad con el "ácido marino" [HCI] El ácido wolfrámico: "Polvo amarillo" [W0 ₃ ·2H ₂ 0, ó H ₄ W0 ₅] "Polvo blanco" [W0 ₃ ·H ₂ 0, ó H ₂ W0 ₄] Relación del "polvo blanco" con el hallado por Scheele en la "tungstene". Actualización de la bibliografía Gangas que acompañan al "volfram": cuarzo y estaño Reactividad con los ácidos "vitriólico" [H ₂ S0 ₄] y "nitroso" [HN0 ₃] Análisis cuantitativo del "volfram": 22% Mn0 ₂ , 13% Fe0, 65% W0 ₃ y 2% de residuo (cuarzo y estaño)
VI	Ensayos por vía húmeda del "volfram", segunda parte: Preparación de la "materia amarilla" [WO $_3$], y síntesis de la "sal blanca", el "polvo amarillo" y el "polvo amarillo muy puro", según las reacciones: Volfram + álcali vegetal=> sal blanca (Fe,Mn)WO $_4$ + K $_2$ CO $_3$ => K $_2$ WO $_4$ + (Fe,Mn)O + CO $_2$ sal blanca + ácido nitroso => polvo amarillo K $_2$ WO $_4$ + 2HNO $_3$ => H $_2$ WO $_4$ 'H $_2$ O => Polvo amarillo muy puro H $_2$ WO $_4$ 'H $_2$ O => WO $_3$ + 2H $_2$ O
VII	Ensayos por vía seca de la "materia amarilla" [W0 ₃], primera parte: Sus propiedades: sabor y densidad (6,12 g/cm³) Ensayos al soplete en presencia y ausencia de carbón Ensayos con fundentes: "sal microcósmica" [NaNH,4HPO ₄ ·4H ₂ O] "bórax" [Na ₂ B ₄ O ₂ ·10H ₂ O] "álcali mineral" [Na ₂ CO ₃]
VIII	Ensayos por vía húmeda de la "materia amarilla" [WO¸], primera parte: No reacciona con el agua ni con los ácidos "vitriólico" [H¸SO¸] y "nitroso" [HNO¸] y "marino" [HCI] Escasa reactividad con el "ácido acetoso" [CH¸COOH] Reactividad con el "álcali vegetal" [K¸CO¸] y con la "sal blanca" [K¸WO¸] Reacciones varias de la "sal blanca" [K¸WO¸] y del "polvo blanco" [WO¸H¸O, o H¸WO¸]
IX	Ensayos por vía seca y húmeda para identificar a la "sal blanca" $[K_2W0_4]$
X	Obtención de nuevos compuestos a partir de la "materia amarilla" [WO ₃], con referencia de los trabajos de Bergman y Scheele
ΧI	Ensayos con la "materia amarilla" [W0 $_3$] para obtener nuevos compuestos. Con ellos se van aproximando al aislamiento del wolframio, y culminan su trabajo cuando indican que, empleando la "materia amarilla" [W0 $_3$] obtenida por ellos de una gran pureza, la hacen reaccionar con "carbonilla" [carbón] en un crisol de Zamora "bien tapado", es decir, en una atmósfera reductora que lo que genera es el monóxido de carbono [C0]: materia amarilla+ carbonilla => polvo gris W0 $_3$ + 3C => W+3C0 Densidad del nuevo metal: 17,6 g/cm 3 (actualidad: 19,25 g/cm 3) Reacciones del "polvo gris"
XII	Nuevos ensayos y aleaciones de la "materia amarilla" [WO ₃]
XIII	Conclusiones sobre el nuevo metal Conclusiones generales: Aislamiento por primera vez de un nuevo metal Definición de sus propiedades físicas y químicas Nuevas aleaciones con otros metales Obtención del ácido wolfrámico Preparación de nuevos compuestos de wolframio Propuesta de nombre para el nuevo metal: wolframio

Tabla 1. Capítulos que forman la memoria de aislamiento del wolframio, y contenido de cada uno de ellos. (Fuente: Román 1998, a partir de Luyart / Luyart, 1873)

mineros de Kremnitz y Schemnitz, desde donde se aproxima a la cercana localidad de Glashütte, para estudiar los métodos de amalgamación ideados por el barón de Born para extraer metales puros de los minerales.

Mientras está en Europa, Fausto es nombrado, el 18 de julio de 1786, director general del Real Cuerpo de Minería de México y responsable de la minería de Nueva España, pero a pesar de ello continúa su periplo europeo para finalizar su trabajo. El virreinato de Nueva España es un extenso territorio que comprende los actuales países de Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Honduras y Costa Rica, así como gran parte de la zona occidental de los actuales Estados de California, Texas, Nuevo México, Arizona, Utah, Nevada y parte de Colorado, que se unen a Estados Unidos, en 1848. Hacia el Oeste, Nueva España limitaba con el océano Pacífico, hasta que también se le agrega la administración de las islas Filipinas.

Fausto se traslada a Freiberg en otoño de 1786, y, en 1787, regresa a Viena. Su intención es, con sede en la capital austriaca, visitar las explotaciones mineras de Stiria, Carniola, Carinthia y el Tirol, del mismo modo que lo había hecho en su viaje anterior. En el verano de 1787, localiza a los dos metalurgistas que le había encargado contratar, que son Federico Sonneschmidt y el Barón de Nordenflicht. En Viena, cuando Fausto tiene 33 años, se casa con Juana Raab de Moncelos, sobrina de la baronesa de Santa Cruz e hija del consejero áulico de la emperatriz María Teresa de Austria. El matrimonio regresa a España, pero esta vez por Barcelona en vez de por Vergara, y el 19 de mayo de 1788 se encuentran en Cádiz, esperando para embarcar hacia Veracruz. Zarpan del puerto gaditano el 17 de junio de ese mismo año, y llegan a Veracruz el 4 de septiembre de 1788.

Fausto en México

En las primeras explotaciones mineras que se realizan en México se emplean los métodos habituales en Europa: si se encuentra una veta, la mina se explota hasta su agotamiento y entonces se abandona, porque no se puede saber si en la zona existen nuevos depósitos que compensen los esfuerzos realizados. En 1774, los



Figura 8. Mapa de Nueva España realizado en 1818, cuando Fausto es el responsable de su minería

propietarios de minas de Nueva España solicitan, para su mejor organización, que se cree un Tribunal de Minería. También piden que se funde en México un Centro de Estudios Metálicos, cuyo objetivo sea preparar individuos para el laboreo de las minas y para rentabilizar el beneficio de los metales. Desde la península, Carlos III traza un vasto plan para trasladar técnicos y expertos que promocionen la minería en la Nueva España. La Real Cédula de 1 de julio de 1776 crea, en México, un Real Tribunal General de la Minería, autorizado para fundar un Banco de Avíos cuyos fondos deberían aplicarse al fomento de las minas y al sostenimiento de un centro de estudios denominado Colegio Metálico. En enero de 1784, el rey publica unas nuevas ordenanzas en sustitución de las que se empleaban, que eran del siglo XVI. En su título 18, estas ordenanzas contemplaban la creación de un Real Seminario de Minería (o Colegio Metálico), que se inaugura el 1 de enero de 1792, con Fausto Delhuyar como primer director.

Fausto realiza en México una importantísima labor para desarrollar la industria minera. Funda el Colegio de Minería, y su plan de estudios y estructura organizativa se considera modélico. Su trabajo durante los treinta y tres años, un mes y nueve días que está en Nueva España resulta de gran importancia para el desarrollo de la minería y la metalurgia en este país. Durante esta época publica numerosas obras, entre las que destaca Indagaciones sobre la amonedación en Nueva España (Madrid, 1818).

Fausto regresa a la Península

Mientras Fausto se encuentra en Nueva España, el rey Carlos IV, hijo de Carlos III

y de María Amalia de Sajonia, ejerce su reinado durante 20 años en la Península (1788-1808), condicionado por la política exterior del país vecino, Francia. La revolución francesa (1789-1799) y la posterior política expansionista de Napoleón I marcan su gobierno. Los primeros años es aconsejado por sus ministros Floridablanca y el Conde de Aranda y, a partir de 1793, por el valido Godoy. Al optar España por el apoyo al país galo frente a Gran Bretaña, se desencadenan el vasallaje absoluto a Napoleón y el desastre de Trafalgar (1805). Los fracasos militares, la crisis económica y la influencia de Godoy sobre los monarcas conducen a una convulsión dentro de la familia real: con España prácticamente tomada por las tropas francesas. Fernando, hijo primogénito del monarca, conspira contra su padre y conduce al motín de Aranjuez, en marzo de 1808. Reflejo del descontento popular hacia el monarca, esta revuelta supone la destitución de Godoy y la abdicación del rey en su hijo Fernando. Napoleón aprovecha entonces para restituir el poder a Carlos IV —exiliado en Bayona—, pero sólo para que éste vuelva a abdicar, esta vez sobre el propio Napoleón. Carlos IV permanece en Bayona durante once años, y después se traslada a Roma, donde muere en 1819. La guerra contra los franceses se prolonga hasta 1813, y en marzo de 1814 regresa Fernando VII a España, cuyo gobierno se caracteriza por ser extremadamente conservador. En enero de 1820 se produce la revolución liberal de Riego, que finaliza cuando en octubre de 1823 se restablece el absolutismo, hasta que, en junio de 1833, se jura heredera a la princesa Isabel.

Cuando Nueva España (México) se independiza de la Península, en octubre de 1821, Fausto presenta la dimisión en todos sus cargos. Regresa con su familia a Madrid, y en 1824 es nombrado vocal de la Junta de Fomento de la riqueza del Reino. organismo encargado del progreso y mejora de la minería. Visita diversas minas de la Península (Almadén, Guadalcanal y Riotinto), y prepara un Decreto sobre minería titulado Memoria sobre la formación de una ley orgánica para el gobierno de la minería en España



Figura 9. Emblema representativo de la Bergakademie, o Real Academia de Minas de Freiberg (Sajonia, Alemania), fundada en 1766. En el centro se pueden apreciar el símbolo del martillo y la punterola cruzados, símbolos de los mineros Fuente: www3.ext.tu-freiberg.de/ ~wwwmscb/bergwapp.gif (octubre /2004).

(1825), además de escribir Memoria sobre la formación de una ley orgánica para gobierno de la minería (1825) o Memoria sobre el influjo de la minería en la agricultura, industria, población y civilización de la Nueva España (1825). En 1826, Fausto es nombrado director general de Minas de España. También funda el Cuerpo de Ingenieros de Minas, del que es el número 1 del escalafón, y se encarga de la dirección de la Escuela de Almadén. Esta escuela atraviesa momento difíciles; desde 1777 hasta 1808 tiene pocos profesores y sólo se gradúan 32 ingenieros; desde 1808 hasta 1814 permanece cerrada, y entre 1817 v 1826 no se gradúa ningún ingeniero. Cuando Fausto ocupa su puesto de director revitaliza la institución —en 1825 tenía 34 estudiantes—, reforma las enseñanzas, y otorga becas a cinco alumnos destacados para que amplíen su formación en la Real

Academia de Minas de Freiberg (Sajonia, Alemania), desde 1829 hasta 1830: Joaquín Ezquerra del Bayo, Lorenzo Gómez Pardo, Isidro Sainz de Baranda, Rafael Amar de la Torre y Felipe Bauzá.

Fausto intenta trasladar la sede de la Escuela de Minas desde Almadén a Madrid, pero no llega a ver cumplido su objetivo, que se realizará en 1835. El 6 de enero de 1833, Fausto se cae por la escalera de la dirección general de Minas, y fallece como consecuencia del traumatismo, dejando viuda y una hija, Luisa.

Sirva este trabajo para mantener viva la memoria de dos riojanos — "ciudadanos del mundo"—, que supieron "unir su imaginación con la realidad mediante el puente de la ciencia", y llegaron a alcanzar las más altas cotas de prestigio internacional.

Fuentes

Manuscritas

Documentos depositados en:

Archivo General de Simancas (Valladolid) (A.G.S.): Guerra Moderna (G.M.); Mapas, Planos y Dibujos (M.P.D.); Secretaría de Marina (Marina); Secretaría y Superintendencia de Hacienda (S.S.H.); Tribunal Mayor de Cuentas (T.M.C.)

Archivo Municipal de Bergara (A.M.B.)

Archivo del Parlamento Vasco, Fondo Bonilla (actual "Fondo Araba") (A.P.V., F.B.)

Archivo del Real Seminario de Bergara (A.R.S.)

Archivo del Territorio Histórico de Álava (Vitoria-Gasteiz) (A.T.H.A.)

Fondo de la R.S.B.A.P. (R.S.B.A.P.); Fondo Prestamero (Prestamero)

Biblioteca Foral de Gipuzkoa, Fondo Urguijo (Donostia-San Sebastián) (B.F.G., F.U.)

Impresas

DIDEROT, D. / D'ALEMBERT, J. le R. (1970): Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. Chez Briasson, París, 1751-1772. Edición facsímil de Franco Mª Ricci, Milán. 17 vols. (Vol. 1 al 12, láminas, y vols. 13 a 17, textos). ENSAYO (1985): Ensayo de la Sociedad Bascongada de los Amigos del País. Año 1766. Dedicado al Rey N. Señor. Thomas de Robles, Vitoria, 1768. Edición facsímil de la Sociedad Guipuzcoana de Ediciones y Publicaciones. San Sebastián.

EXTRACTOS (1985): Extractos de las Juntas Generales celebradas por la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País (1771-1793). Edición facsímil de la Sociedad Guipuzcoana de Ediciones y Publicaciones, San Sebastián, 1985. 12 volúmenes. EZQUERRA DEL BAYO, J. (1844): Datos y observaciones sobre la industria minera, con una descripción característica de los minerales útiles, cuyo beneficio puede formar el objeto de las empresas. Antonio Yenes. Madrid.

LUYART, J. J. DE / LUYART, F. DE (1785): "Analisis quimico del volfram, y exàmen de un nuevo metal, que entra en su composición por D. Juan Joséf y D. Fausto de Luyart de la Real Sociedad Bascongada". Extractos de las Juntas Generales celebradas por la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País en la ciudad de Vitoria por setiembre de 1783. Gregorio Marcos de Robles y Revilla, Impresor de la misma Real Sociedad, Vitoria, 1783, pp. 46-88. Edición facsímil de la Sociedad Guipuzcoana de Ediciones y Publicaciones. San Sebastián.

Bibliografía

ALCALÁ-ZAMORA y QUEIPO DE LLANO, J. (1974): Historia de una empresa siderúrgica española: Los altos hornos de Liérganes y La Cavada. Diputación Provincial de Santander. Santander.

BARBUDO DUARTE, E. (1945): Don José de Mazarredo Salazar Muñatones y Gortázar. Teniente General de la Real Armada. Tall. Tip. Artegrafía. Madrid.

BLANCO FRAGA, A. M., et al. (1998): "La E.U.P.A. y el fondo antiguo de su biblioteca: las enseñanza de la minería a partir del siglo XVIII". En: J. L. GARCÍA HOURCADE, et al., *Estudios de Historia de las Técnicas, la Arqueología Industrial y las Ciencias*.

VI Congreso de la S.E.H.C.Y.T. Segovia-La Granja, 9 al 13 de septiembre de 1996. Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, tomo II, pp. 440-447. Salamanca.

CASTILLO MARTOS, M. (1998): "El marco tecnológico y cultural del desarrollo de la minería y metalurgia americanas. Intercambio con Europa". En: J. L. GARCÍA HOURCADE, et al., *Estudios de Historia de las Técnicas, la Arqueología Industrial y las Ciencias.*

VI Congreso de la S.E.H.C.Y.T. Segovia-La Granja, 9 al 13 de septiembre de 1996. Junta de Castilla y León, Conserjería de Educación y Cultura, Salamanca, tomo I, pp. 131-147.

CERVERA PERY, J. (1986): La Marina de la Ilustración. Editorial San Martín. Madrid.

CERVERA PERY, J. (1990): La Marina Mercante española. Historia y Circunstancia. San Martín. Madrid.

FERNÁNDEZ DURO, C. (1900-1903): *Armada española desde la unión de los Reinos de Castilla y Aragón.* Editorial Museo Naval, Madrid, ed. facsímil de 1972-1973, 9 vols.

GAGO, R. (1978): "Bicentenario de la fundación de la cátedra de química de Vergara. El proceso de constitución". L/ull, 2, pp. 5-18.

GAGO, R. y PELLÓN, I. (1994): *Historia de las cátedras de Química y Mineralogía de Bergara a finales del siglo XVIII.* Bergarako Udala / Ayuntamiento de Bergara, Bergara.

GARCÍA DIEGO, J. (1988): "Agustín de Betancourt como espía industrial". En: M. Esteban Piñeiro, et al. (coords.), *Estudios sobre Historia de la Ciencia y de la Técnica II. IV Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas. Valladolid, 22–27 de septiembre de 1986*. Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Bienestar Social, Valladolid, Tomo I, pp. 105-126. GÓMEZ URDÁÑEZ, J. L. (1996): El proyecto reformista de Ensenada. Editorial Milenio. Lleida.

GUIJARRO MORA, V. (2002): Los instrumentos de la Ciencia Ilustrada. Física experimental en los Reales Estudios de San Isidro. UNED. Madrid.

HELGUERA QUIJADA, J. (1987): El estado y la modernización de la industria metalurgia española en el siglo XVIII: las fundiciones de artillería. Universidad de Valladolid.

IBÁÑEZ RODRÍGUEZ, S. (ed.) (2002): *La proyección mundial de los hermanos Delhuyar en el campo de la ciencia y la economía.* Universidad de La Rioja. Logroño.

LAFUENTE, A. y PESET, J. L. (1981): "Política científica y espionaje industrial en los viajes de Jorge Juan y Antonio de Ulloa (1748-1751)". *Mélanges de Casa de Velázquez*, 17, pp. 223-262.

LARDAS, M. N. (2002): "Modeling the carronade", Seaways' Ships in Scale, Vol. XIII, 5 (Sep./Oct.).

MARTÍNEZ RUIZ, J. (1985): *Catálogo general de individuos de la R.S.B. de los Amigos del País (1765-1793).* Sociedad Guipuzcoana de Ediciones y Publicaciones (R.S.B.A.P.). San Sebastián-Donostia, pp. 15-122.

NÚÑEZ, I. (1945): El teniente General de la Real Armada Don José de Mazarredo Salazar y Gortázar. Edición homenaje de la Junta de Cultura de la Excma. Diputación de Vizcaya en el segundo centenario de su nacimiento. Bilbao.

PALACIOS REMONDO, J. (1993): Los Delhuyar. Consejería de Cultura, Deportes y Juventud. Logroño.

PARRA DEL RÍO, Mª. D. (1993): Los "Planos geognósticos de los Alpes, la Suiza y el Tirol" de Carlos de Gimbernat. Doce Calles. Aranjuez. PELLÓN GONZÁLEZ, I. y ROMÁN POLO, P. (1999): La Bascongada y el Ministerio de Marina. Espionaje, Ciencia y Tecnología en Bergara (1777-1783). Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País. Bilbao.

RECARTE BARRIOLA, M. T. (1990): *Ilustración vasca y renovación educativa: La Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País.* Publicaciones Universidad Pontificia de Salamanca. Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País. Salamanca.

ROMÁN, P. (1998): Aspectos científicos del aislamiento del wolframio. I Encuentro hispano-mexicano. Los hermanos Delhuyar. Universidad de La Rioja. Logroño.

RUDWICK, M. J. S. (2004): *The New Science of Geology. Studies in the Earth Sciences in the Age of Revolution.* Aldershot: Ashgate. SILVÁN, L. (1992a): *Los estudios científicos en Vergara a fines del siglo XVIII.* Biblioteca Vascongada de los Amigos del País. San

Sebastián, 1953. Reedición facsímil publicada en la Colección Ilustración Vasca, Tomo V, Donosita-San Sebastián.

SILVÁN, L. (1992b): El químico Luis José Proust, 1754-1826. Gráficas Eset, Vitoria, 1964. Reedición facsímil publicada en la Colección Ilustración Vasca, Tomo V, Donostia-San Sebastián.

WHITAKER, A. P. (1951): "The Elhuyar mining missions and the enlightement". *The Hispanic American historical review, vol. XXXI*, nº 4, pp. 557-585.

Procesos de **erosión** eólica en la llanura manchega

Describimos las principales morfologías eólicas de la llanura manchega y los procesos eólicos actuales que se relacionan directamente con el fenómeno de la erosión eólica. Estos procesos de erosión eólica tienen lugar fundamentalmente en las tierras de cultivo establecidas sobre las formas eólicas relictas del cuaternario reciente. También se analizan los factores y las causas o desencadenantes de los procesos de erosión eólica, así como sus efectos, proponiéndose una serie de medidas para su atenuación.

Texto I M. Bernat Rebollal, geólogo (Instituto Geológico y Minero de España). A. Pérez-González, geólogo (UCM. Dpto. Geodinámica).

Palabras clave Erosión eólica, La Mancha, procesos eólicos

La llanura manchega es un territorio incluido en la región natural de La Mancha, nombre este que parece derivar del árabe "m'ancha" que significa "tierra seca" o "sin agua". Este dominio geográfico se extiende a lo largo de tres provincias, ocupando parte del nordeste de la provincia de Ciudad Real, el sudoeste de la provincia de Cuenca, y el límite noroccidental de la provincia de Albacete. La llanura manchega está formada por una fosa tectónica alpina rellena de materiales de origen continental, terciarios

y cuaternarios que se han depositado sobre un substrato paleozoico y mesozoico.

La naturaleza distintiva de la llanura manchega frente a otras partes de La Mancha es su planitud (Pérez-González, 1982), siendo excepcionales las zonas con diferencias de cotas superiores a los 15-20 m, tratándose en este caso de relieves residuales o montes aislados como los de Alcázar de San Juan. Su altitud oscila entre los 620 m en su parte suroccidental próxima a Ciudad Real, y los 776 m al SO del Picazo,

pero en general toda su extensión tiene una altitud media de 640 m sobre el nivel del mar. A lo largo de esta llanura se encuentran una serie de depósitos superficiales, cuya naturaleza se debe a la acción intermitente del viento en un pasado relativamente reciente, principalmente en el final del último período glacial Pleistoceno, entre los 30 y 19 ka BP y durante el evento climático denominado Younger Dryass, entre los 13 y 10 ka BP (Rendell et al., 1994 y 1996), el cual supuso para el continente europeo la vuelta a unas condiciones climáticas más frías y áridas que en la etapa postglacial precedente y el posterior período Holoceno que actualmente disfrutamos.

El aprovechamiento del viento en la actualidad a través de los parques eólicos permite obtener una energía eléctrica limpia reportando elevados beneficios a los municipios que los albergan. Pero el viento también produce una acción erosiva que, junto con la escasa planificación de los usos del suelo, puede provocar en el medio plazo la pérdida edáfica y la alteración de los cultivos en zonas de conocida incidencia eólica como La Mancha. En este artículo se muestran parte de los resultados de los estudios iniciados en el año 2001 mediante un trabajo investigación de doctorado (Bernat

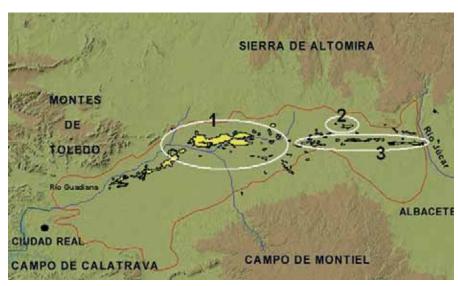


Figura 1. Marco geográfico de la llanura manchega con los depósitos eólicos (amarillo) y los sectores estudiados: 1. Llanura aluvial de San Juan; 2. San Clemente; 3. Corredor Casas de Haro-Río Júcar.

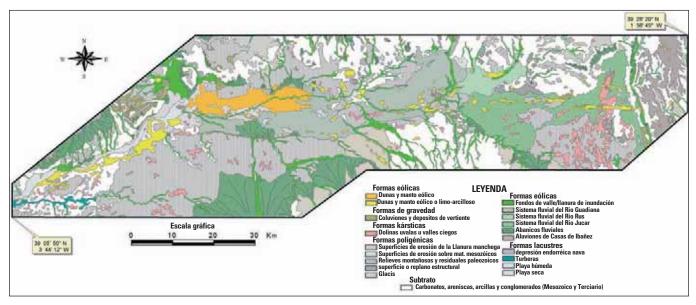


Figura 2. Mapa geomorfológico síntesis de la llanura manchega. Autor: Manuel Bernat Rebollal (2001). Mapas base: cartografías en detalle de elaboración propia, mapas geológicos y geomorfológicos de serie Magna (Pérez-González, A. y Hernández Urroz, J., 1976 y 1978; Pérez González A. et al., 1985, Pérez-González, A. y Piles Mateo, P., 1985, Pérez-González, A. y Cabra Gil, P., . 1985; Portero García, J. M. y Ramírez Merino, J. I., 1985) y cartografía geomorfológica de las Tablas de Daimiel, tesis de Licenciatura de Rodríguez García, J. A. (1998).

Rebollal, 2001) que surgió de la necesidad de conocer los procesos de erosión eólica que se producen actualmente en las tierras de cultivo de la llanura manchega, analizar los factores que controlan estos procesos y proponer medidas para su futura atenuación. Esta investigación ha tenido como base fundamental el estudio geomorfológico detallado de las áreas con los depósitos eólicos más significativos de la llanura manchega que, de Oeste a Este, son: la llanura aluvial de San Juan, el sector de San Clemente y el corredor Casas de Haro-Río Júcar (figura 1).

Características texturales y composicionales de los depósitos eólicos de la llanura manchega

Los mantos eólicos y dunas de la llanura manchega se extienden desde las Tablas de Daimiel, al Oeste, hasta la margen izquierda del río Júcar, en el Picazo, al Este, con una longitud máxima de 145 km y una anchura de 8 km en la llanura aluvial de San Juan.

En la llanura manchega se distinguen dos facies granulométricas principales (Pérez-González, 1982), una limo-arcillosa (Clay-dunes), casi exclusiva de la llanura aluvial de San Juan (figura 2: naranja) y con contenidos en limo y arcilla superiores al 8% y que frecuentemente superan el 30%, y otra arenosa (figura 2: amarillo),

correspondiente al resto de las formaciones eólicas, en las que los contenidos de limo más arcilla son inferiores al 5%. Estas facies arenosas concentran sus tamaños en los intervalos de arena fina y media (0,125-0,5 mm), mientras que sus contenidos en arenas muy gruesas o gravas son prácticamente inexistentes. Los análisis de la fracción limo-arcillosa para las arenas recogidas en las clay-dunes se caracterizan por un claro predominio de la arcilla frente al limo, así el contenido medio en la fracción limosa se aproxima al 12%, mientras que para la arcilla el contenido medio es del 32%. Por otro lado, las arenas eólicas del área de San Clemente tienen un contenido en limo v arcilla alrededor del 8% cercano a la facies limoarcillosa de la llanura aluvial de San Juan, y no son tan arenosas como las asociadas al sistema aluvial del Júcar, cuyo contenido en limo y arcilla es siempre inferior al 4,5%.

La composición mineralógica (Aleixandre, T. et al., 1977) de estos depósitos es esencialmente de granos de cuarzo v cuarcita (80-90%), junto con feldespatos y fragmentos de caliza en proporciones similares como segundos minerales. Entre la fracción pesada, la asociación turmalina + circón + estaurolita supone alrededor del 90% de ésta. En cuanto a su morfología, predominan los granos subredondeados

mates, lo cual indicaría un escaso transporte desde el área fuente.

Morfología y ambiente de formación de los depósitos eólicos

Las características composicionales y de fábrica de los arenales eólicos denuncian un origen cercano, localizado principalmente en los sistemas aluviales del Guadiana y Júcar, en los abanicos aluviales, algunos fondos endorreicos y en el Plioceno de la llanura manchega. Así, las acumulaciones de arenas y dunas más occidentales se encuentran a sotavento de las Tablas de Daimiel (Portero García, J. M. y Ramírez Merino, J. I., 1985; Rodríguez García, J. A. y Pérez-González, 2002), mientras que en los sectores orientales las acumulaciones arenosas tienen su origen en los procesos de deflación de una amplia terraza elevada del río Júcar que representa un sistema fluvial que drenaba hacia el oeste (Pérez-González, 1982). En oposición a estos conjuntos de dunas de arenas de cuarzo, con bajos contenidos en limo + arcilla (< 5%), en la llanura aluvial de San Juan se ha acumulado una gran extensión de dunas y manto eólicos limo-arcillosos entre Arenales de San Gregorio y Alcázar de San Juan.

Morfológicamente, se pueden distinguir mantos eólicos, dunas parabólicas (figura 3) en U y V de tipo simple y compuesto, blowouts, dunas trepadoras, "transversas",

"longitudinales", dunas irregulares y dunas arcillosas semejantes a lunettes como las descritas por primera vez en Australia (Hills, E. S., 1940) a sotavento de playas arcilloso-salinas. Todas estas morfologías se encuentran tanto en los depósitos con textura arenosa como en los limo-arcillosos, con la excepción de los lunettes (figura 5), que serían formas exclusivas de estos últimos. Las máximas alturas de las dunas son de 10-12 m en la llanura aluvial de San Juan, aunque lo normal es que no sobrepasen los 4-5 m. Estas formaciones eólicas con predominio de los mantos eólicos y dunas parabólicas se incluirían dentro de las llamadas dunas estabilizadas de altas latitudes de Livingstone y Warren (1996).

Los mantos eólicos de la llanura manchega son acumulaciones principalmente de arena (también pueden contener limo y arcilla) con morfologías planas o ligeramente onduladas que recubren las irregularidades del substrato con espesores que oscilan entre los 20-30 cm hasta los 1,5 m. En ellos pueden aparecer de forma aislada cuerpos dunares con morfología poco significativa o sin caras de avalancha definidas, así como depresiones de deflación de tamaño variable. Según Kocurek & Nielson (1986), hay un conjunto de factores que condicionan la formación de los mantos eólicos. Así, la presencia de vegetación dispersa reduce el movimiento y crecimiento de las dunas, favoreciendo la acreción de láminas de arena horizontales. Esta circunstancia de vegetación clareada se da frecuentemente en los márgenes de los desiertos y en las zonas semiáridas esteparias. También, si el nivel freático es superficial o se producen inundaciones periódicas o estacionales, se dificulta o impide la formación de las dunas.

Las dunas parabólicas (figura 3) se encuentran en diferentes ambientes: en climas fríos, tanto del pasado como del presente (Filion & Morisset, 1983; Castel et al.,1989), en climas templados y costas húmedas tropicales (Story, 1982; Pye, 1982a), y en los límites de los desiertos cálidos, tanto activas como estabilizadas (Bowler & McGee, 1978; Lancaster, 1983). Pero en todos estos lugares siempre están asociadas a un cierto grado de colonización vegetal, lo cual demuestra que ésta debe jugar un importante papel en su formación,

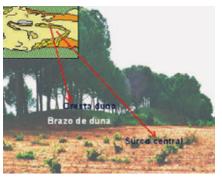


Figura 3. Brazo de duna parabólica en U con amplio surco central de deflación. Corredor Casas de Haro-Río Júcar.



Figura 4. Surco de deflación o wind-farrow en cresta de duna parabólica de tipo alargado. En el Corredor Casas de Haro-Río Júcar

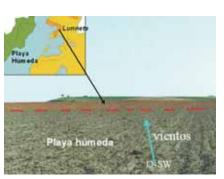


Figura 5. Fotografía de lunette en la llanura aluvial de San Juan con depósitos de playa húmeda (desecados v cultivados) a barlovento.

protegiendo los brazos menos móviles contra la acción eólica y permitiendo que la parte central avance. Estas dunas parece que se forman por alargamiento y evolución de blowouts, y crecen al nutrirse de la erosión de los sedimentos infrayacentes, aunque esta evolución puede cesar si aflora un substrato coherente o se alcanza el frente de capilaridad donde la arena se humedece e inmoviliza (Pye, 1982), esto último, a su vez, puede ser consecuencia directa del cambio hacia unas condiciones climáticas más húmedas. Por otro lado, los blowouts son morfologías producidas por la deflación y constituyen depresiones cerradas en arenas eólicas (Livingstone y Warren, 1996). El desarrollo de estas formas está muy relacionado con la cubierta vegetal. Así, la

pérdida de vegetación en determinadas zonas disminuye la rugosidad, con lo que se incrementa la superficie de barrido y por tanto el transporte por el viento del material suelto (Gutiérrez Elorza, 2001). En los blowouts, la erosión se concentra en el final del área a barlovento, de manera que éstos pueden alargarse o migrar hacia sotavento produciendo surcos de deflación o wind-farrows (ver figura 4), tal y como se aprecia en numerosas depresiones de deflación de la zona de estudio que presentan formas elípticas con el eje mayor muy alargado (hasta decenas de metros) en la dirección O-E determinada por los vientos dominantes.

En cuanto a las formas de tipo "longitudinal", estas se podrían clasificar como sand ridges o vegetated linear dunes (Tsoar y Møller, 1986), originadas por vientos con una dirección principal y en las que la vegetación interviene como elemento activo en la formación dunar. Pero la disposición y relación de algunas de estas morfologías con otras formas dunares también sugiere que son el producto de la degradación de dunas parabólicas alargadas por avance y deflación del frente convexo, mientras que los brazos fijados por la vegetación se transformarían en dunas de aspecto longitudinal, al igual que ocurre con formas eólicas similares en el SE de la Cuenca del Duero (Bernat Rebollal, M. y Pérez-González, A., 2005).

Finalmente, los estudios texturales para los mantos y dunas limo-arcillosas de la llanura aluvial de San Juan junto con las observaciones morfológicas, indican que, al igual que otras clay-dunes (Price, 1963 y 1968), se habrían formado por la exposición a los vientos prevalentes de playas estacionales con sedimentos salinos y arcillosos, siendo también posible que los productos arcillosos originados por deflación las playas actuales cubriesen dunas y mantos arenosos ya existentes.

Según las características mencionadas para las diferentes morfologías eólicas, estas se habrían formado en un paisaje vegetal de tipo estepario, con vegetación siempre presente aunque bastante abierta, y donde los vientos que intervinieron en la construcción dunar serían principalmente los de componente 0 y NO.

Los procesos eólicos actuales en la llanura manchega

La metodología seguida para evaluar los aspectos más importantes de la actividad eólica actual en la llanura manchega ha sido la siguiente:

- Estudio bibliográfico sobre los procesos eólicos actuales en la llanura manchega (antecedentes).
- Observación y descripción de los procesos y morfologías eólicas actuales en los sectores seleccionados: llanura aluvial de San Juan, San Clemente y el Corredor Casas de Haro-Río Júcar.
- Análisis de los factores que condicionan los procesos de erosión eólica en la llanura manchega y obtención de la erosión eólica potencial mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfico.

El análisis detallado del territorio ha mostrado indicios significativos de una intensa actividad eólica capaz de modelar profundamente el paisaje. A continuación se exponen los aspectos más significativos de la actividad eólica actual en los diferentes sectores estudiados.

El campo de San Juan

Ya Pérez-González et al. (1983) indican la presencia de micropoliedros de limo-arcilla en bordes de las playas o sebkhas de la llanura aluvial de San Juan (figura 1, nº1). También de la Peña y Marfil (1986), en lagunas salinas como las del Norte de Alcázar de San Juan, mencionan la existencia de ripples y dunas efímeras formados fundamentalmente por sales. Esta actividad eólica tendría lugar en ambos casos durante los períodos secos.

En la gran mancha de dunas y mantos limoarcillosos de la llanura aluvial de San Juan no se observan señales de actividad eólica actual. Sin embargo, se ha detectado actividad eólica en los mantos arenosos marginales de la llanura aluvial de San Juan (figura 6), siempre en zonas con escasa cubierta vegetal (campos abandonados o viñedos). Se trata de una actividad muy superficial que produce la formación de ripples eólicos sobre arenas con granos de

tamaños medios y con vientos constructores del Oeste y Suroeste. Estas morfologías son indicativas de procesos de erosión eólica de intensidad moderada (García Salmerón, 1967). Los agricultores de la zona también señalan la existencia de "arenas voladoras" y descalzamiento de cepas en estas áreas marginales. La mayor actividad se produciría en periodos con fuertes vientos del S y SO (solano), y de forma menos intensa pero persistente en la época estival por vientos turbulentos que actúan durante las horas centrales del día. Estos problemas habrían disminuido considerablemente desde las repoblaciones forestales del año 1995 llevadas a cabo con tarays, pinos piñoneros y retamas.

El corredor arenoso Casas de Haro-Río Júcar

Se trata del área con la actividad eólica más intensa de toda la llanura manchega (figura 1, n^{ϱ} 3), y, por tanto, la que presenta la mayor variedad de morfologías resultantes de los procesos eólicos actuales. En este sector, las zonas con alta densidad de cubierta vegetal (repoblaciones de pinos y bosquetes de encinar) son las únicas que no presentan signos de procesos eólicos recientes o actuales, ya que la vegetación fija de forma eficaz las dunas relictas cuyo relieve impide el aprovechamiento agrícola (figuras 3 y 4). Por el contrario, los suaves mantos eólicos dedicados fundamentalmente al cultivo de vid y olivar o con áreas deforestadas, son las formaciones superficiales con mayor incidencia de los procesos eólicos. En estos mantos se produce la deflación de arenas en las zonas más expuestas al viento y su deposición en otras protegidas o por la retención que ejerce de la vegetación, siendo habitual observar grupos de cepas total o parcialmente cubiertas por una capa de arena más o menos homogénea de 15 a 30 cm de espesor. En la zona más oriental del corredor se observan cubetas de deflación (figura 7) de aspecto reciente sobre el manto eólico deforestado, también se observan pequeñas dunas transversas y el desarrollo de acumulaciones de arena en forma de Nebkhas (figuras 8 y 9) al quedar atrapada la arena por la vegetación arbustiva o plantones de pino. Todas estas formas analizadas estarían originadas por vientos del Oeste.



Figura 6. Ripples eólicos producidos por vientos del SO (manto arenoso marginal al suroeste de Alcázar de San



Figura 7. En el centro de la imagen (más claro) se aprecia una larga cubeta de deflación excavada en manto eólico deforestado y la total ausencia de vegetación a lo largo de él, lo cual indica actividad eólica reciente. A la derecha, repoblación de pino piñonero.



Figura 8. Nebkha incipiente desarrollado sobre pinos jóvenes que se encuentran parcialmente cubiertos por espesores de arena de aproximadamente 0.3 m.

Finalmente, en este sector de la llanura manchega se encuentran las morfologías eólicas más espectaculares debidas a la acción del viento. Así nos encontramos con el avance de Oeste a Este de arenas procedentes del manto eólico en forma de frentes longitudinales de hasta 2 m de altura que cubren algunos pinares de repoblación situados a sotavento (figura 10), lo cual señalaría el alto grado de actividad eólica que se está produciendo actualmente y que, junto con el resto de los procesos señalados en esta zona, nos remite a unos



Figura 9. Pequeño nebkha formado al acumularse la arena sobre un matorral. También se aprecian ripples eólicos.

procesos de erosión eólica de elevada intensidad.

En cuanto al sector de San Clemente (figura 1, n° 2), al contrario que en la zona descrita anteriormente no se detecta ningún proceso eólico actual ni formas eólicas relativamente recientes. La estabilidad de estas dunas v mantos eólicos, al igual que los de la mancha limo-arcillosa del Campo de San Juan, se entiende al analizar los factores condicionantes de los procesos de erosión eólica en la llanura manchega.

Factores que condicionan los procesos de erosión eólica en la llanura manchega

Los procesos de erosión eólica tienen lugar cuando el viento, como agente erosivo, arranca y transporta las partículas del suelo depositándolas en lugares distintos de los originales. Esta erosión puede realizarse por deflación (arranque-vaciado de partículas) y/o abrasión al impactar las partículas transportadas por el viento sobre los materiales que encuentra a su paso. Por otro lado, la movilidad de la arena depende fundamentalmente de la energía o intensidad del viento, el tamaño de grano (textura), las condiciones de humedad del suelo y la cantidad de cubierta vegetal existente. Como ya se ha visto anteriormente, la existencia de morfologías eólicas actuales serían signos inequívocos

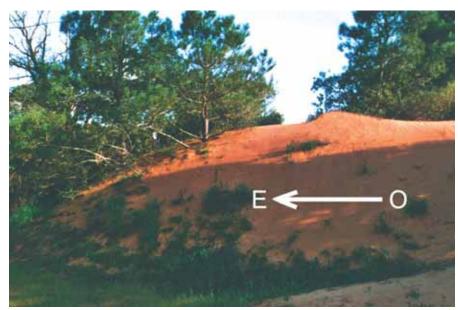


Figura 10. Frente longitudinal avanzando sobre pinar y cubriendo ejemplares jóvenes de Pinus Pinaster de aproximadamente 3 m.

de los procesos de erosión eólica que se están produciendo y cuyos factores se analizan a continuación

La topografía suele ser un factor determinante en los procesos de erosión eólica (García Salmerón, J., 1967) ya que el viento tiende a adaptarse a la superficie del terreno, incrementándose la deflación eólica en zonas amplias y llanas en las que no existen barreras naturales que disminuyan la energía del viento, tal v como sucede en la llanura manchega. Pero además, el viento puede ser canalizado en valles paralelos a la dirección del viento y, de este modo, incrementar su energía erosiva, este es el caso del Cierzo en el valle del Ebro o del Mistral, en el Ródano. Algo parecido sucedería en la parte central y oriental de llanura manchega, donde los relieves de la Sierra de Altomira al Norte y el Campo de Montiel al Sur (ver Figura 1) delimitan un corredor relativamente estrecho y de dirección O-E coincidente con los vientos dominantes.

Los parámetros climáticos como la precipitación, temperatura, velocidad del viento, insolación, y otros indirectos como la evapotranspiración tienen una gran influencia en los procesos de erosión eólica. Las altas temperaturas y elevada insolación de la llanura manchega, junto con las escasas precipitaciones generan elevadas tasas de evapotranspiración y, en

consecuencia, un fuerte déficit hídrico con la correspondiente desecación del suelo desde finales de abril hasta el mes de octubre (figura 11). Durante estos meses el suelo es más susceptible a la erosión eólica debido a la baja cohesión entre sus granos de arena, lo contrario sucedería entre noviembre y abril con suelos más húmedos, en los que la película de agua que rodea sus partículas individuales produce una alta cohesión entre los agregados del suelo (Logie, 1982) impidiéndose la erosión eólica. Lógicamente, la velocidad del viento es de vital importancia en los procesos de erosión eólica, siendo determinante la frecuencia con la que el viento supera una determinada velocidad umbral y es capaz de arrancar y transportar las partículas del suelo y, por tanto, producir erosión. En el caso de llanura manchega (tabla 1) se observa cómo desde febrero a julio la energía del viento es capaz de producir procesos de erosión eólica con una frecuencia entre el 15 y 18%, ya que el viento supera durante este tiempo la velocidad umbral de 21 km/h, a partir de la cual prácticamente todo el rango de tamaños de arenas es potencialmente movilizable, calculada mediante las ecuaciones de transporte de Bagnold (1941) según las características texturales de las arenas eólicas del área de estudio. Además, esta capacidad erosiva del viento coincide entre abril y julio con una baja humedad en los suelos que favorece su erodabilidad.

La textura y estructura de los suelos es determinante los procesos de erosión eólica (Quirantes, J., 1991), ya que la resistencia de un suelo a la erosión depende de la distribución del tamaño de las partículas que lo componen y de su capacidad para unirse y formar agregados estables. Los suelos arenosos poco evolucionados casi no forman agregados excepto cuando están húmedos y, por tanto, son muy susceptibles a la erosión eólica, al contrario que otros suelos con texturas finas (limos y arcillas), que suelen formar agregados estables y son más resistentes a la erosión eólica. La materia orgánica también es un elemento que favorece la formación de agregados estables y, por tanto, la cohesión del suelo, pero en el caso de la llanura manchega los horizontes superficiales en suelos sobre depósitos eólicos apenas tienen alguna materia orgánica, por lo que la cohesividad no estaría influenciada por este factor.

Los análisis texturales realizados sobre muestras de los depósitos eólicos de la llanura manchega (tabla 2) nos proporcionan una referencia importante a la hora de evaluar el comportamiento de estos materiales frente a la acción del viento. Comparando estos valores con las tablas de pérdidas de suelo en relación con el contenido en arcillas (tabla 3: Quirantes, J., 1991) calculadas por medio de la ecuación de Chepil (1954), tenemos que la erodabilidad es mínima cuando el

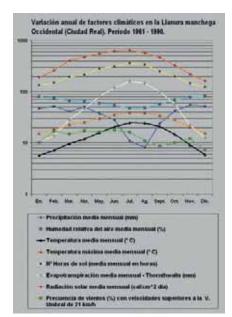


Figura 11. Parámetros climáticos de la llanura manchega occidental para el período 1961-1990. Tratamiento de datos de elaboración propia. Datos originales: Instituto Nacional de Meteorología

Figura 12. Compactación del suelo en superficie de duna

limo-arcillosa

porcentaje en arcilla es superior al 7,13%, como ocurre en los depósitos eólicos limo-arcillosos de la llanura aluvial de San Juan. También, el contenido cercano al 9% de limos arcillas en los depósitos eólicos de San Clemente proporcionaría una erodabilidad media-baja. Por el contrario, los depósitos eólicos arenosos de las "áreas marginales" de la llanura aluvial de San Juan y del corredor Casas de Haro-río Júcar tendrían contenidos en arcilla muy bajos, por lo que su erodabilidad sería máxima. La baja erodabilidad de los depósitos eólicos limo-arcillosos de la llanura aluvial de San

Juan y del sector de San Clemente queda confirmada por la ausencia en estos lugares de procesos eólicos significativos como consecuencia del alto grado de cohesión del suelo (figura 12). Por el contrario, en los depósitos eólicos de las áreas marginales de la llanura aluvial de San Juan v en el corredor Casas de los Pinos-Río Júcar, con contenidos en limo + arcilla inferiores al 4%, existe una importante actividad eólica que tiene lugar sobre los suelos arenosos poco cohesionados. De esta manera, las observaciones y datos texturales permiten afirmar que en la llanura manchega la erodabilidad es baja para suelos en depósitos eólicos con contenidos de limo + arcilla mayores del 8%, mientras que para valores inferiores al 4%, la erodabilidad es máxima.

Meses Feb. Abr. Jun. Jul. Sep. Oct. Nov. Dic. (%) 10,1 17,4 15 17,4 16,5 17,7 16,3 11 8,7 10 12 7,2

Tabla 1. Frecuencia del viento con velocidades superiores a la velocidad umbral de 21 km/h capaz de movilizar arenas de 0,3 mm de diámetro. Este diámetro de 0,3 mm está por encima del tamaño medio en la mayoría de las muestras, por lo que se ha elegido para estimar la velocidad umbral a través de las ecuaciones de transporte de arena de Bagnold (1941). Datos obtenidos a partir de los diagramas de frecuencias acumuladas del viento para Ciudad Real (Mapa Eólico Nacional-INM, 1988).

L	lanura aluvial d	e San Juan		
Manto eólico y dunas limo-arcillosas		Áreas marginales (arenosas)	San Clemente	Casas de Haro-Río Júcar
% limo % arcilla		% limo + arcilla	% limo + arcilla	% limo + arcilla
11,9	32	3,4	8,7	3,8

Tabla 2. Contenidos medios en limo-arcilla para los distintos sectores estudiados. Datos originales: Pérez-González, A., 1982. Tratamiento: Rernat Rehollal 2001

En el caso de los materiales arenosos de la llanura manchega con tamaños de grano comprendidos entre los 0,125 y 0,5 mm, el proceso de transporte por acción del viento sería fundamentalmente la saltación, en la cual una nube de granos de arena es transportada cerca de la superficie por la acción de cizalla del viento, aunque también se produciría el arrastre superficial de partículas de mayor tamaño debido al impacto de los granos en movimiento por saltación.

Pérdidas de suelo (mm/año)	% de arcillas	Erodabilidad *
< 0,1 0,1 a 0,3	> 13,25 7,13 a 13,25	MÍNIMA
0,3 a 0,5 0,5 a 0,7	5,50 a 7,13 4,55 a 5,50	BAJA MEDIA
0,7 a 1,0 > 1,0	3,50 a 4,55 < 3,50	MÁXIMA

Tabla 3. Pérdidas de suelo y erodabilidad en relación con el contenido de arcillas (Quirantes J., 1991, Según ecuación de Chepil, 1954). * Erodabilidad: susceptibilidad de los suelos y formaciones superficiales a ser erosionados

La rugosidad superficial, la cubierta vegetal y los usos del suelo también juegan un papel determinante en los procesos de erosión eólica (Lyles et al., 1974; Logie, M., 1982). Las irregularidades del terreno y la cubierta vegetal actúan sobre la distribución de la velocidad del viento con la altura a causa de los fenómenos de fricción y turbulencia, influyendo también en la intensidad de la erosión, al proteger e impedir el arrastre de partículas erosivas. En el caso de la llanura manchega, se ha comprobado cómo las zonas con alta densidad de vegetación no presentan ningún tipo de proceso eólico actual, y, por tanto, la erosión eólica es mínima. Estas zonas se corresponden con áreas arboladas (repoblaciones forestales o bosquetes autóctonos) e incluso con cultivos de secano y regadío que poseen una alta densidad vegetal (cereales y alfalfa). Además, la vegetación tiene la capacidad de sujetar el suelo con sus raíces y de esta manera aumentar su resistencia a la erosión.

Los cultivos de vid establecidos sobre los mantos arenosos de la llanura manchega tienen un comportamiento característico

frente a la erosión eólica. Estos terrenos suelen estar labrados y presentan caballones que suelen atrapar partículas en los fondos de los surcos, aunque también pueden sufrir una mayor erosión en las crestas. Por otro lado, la cubierta vegetal entre cepas suele ser prácticamente nula debido a la práctica de limpiar las malas hierbas", quedando el suelo desprotegido frente a la acción del viento. Además, aunque la variedad autóctona de vid (vairen) es de porte rastrero (Peinado, M. y Martínez, J. M., 1985), la distancia tradicional entre cepas o cuadra real de aproximadamente 2,5 m implica una baja densidad de vegetación, de manera que únicamente existe una protección efectiva del suelo durante el periodo de mayor desarrollo vegetativo, entre junio y octubre, el resto del año, y sobre todo desde febrero a mayo, el suelo prácticamente desnudo de los viñedos estaría sometido a la acción erosiva del viento. Finalmente, la elevada frecuencia de laboreos con el arado de vertedera para la preparación del viñedo, sobre todo durante el período de reposo vegetativo, producen un excesivo desmenuzamiento del terreno que favorece los procesos de erosión eólica.

Cartografía de los procesos de erosión eólica

A partir de los mapas geomorfológicos de los distintos sectores, se hicieron consultas SIG temáticas para obtener las cartografías de los depósitos eólicos diferenciados en función de sus características texturales (contenidos en limo y arcilla). Posteriormente se realizó un análisis SIG mediante el cruce de los depósitos eólicos con los usos del suelos (ICONA, 1995, IGN: Corine Land Cover, 2000), y teniendo en cuenta la erodabilidad de los depósitos (determinada a partir del contenido en limo y arcilla) se obtuvieron mapas cualitativos con los diferentes grados de erosión eólica potencial (figura 13). La comparación entre el análisis SIG y las observaciones de campo permitió validar los resultados, y finalmente se pudieron distinguir zonas sin procesos de erosión eólica o inapreciables, zonas con procesos de erosión eólica moderada y zonas con procesos de erosión eólica de intensidad elevada. De esta manera se verificó que las áreas con procesos de erosión eólica moderada-intensa se producen en las formaciones eólicas arenosas con porcentajes de limo + arcilla inferiores al 4,5% y con cubierta vegetal poco densa (áreas deforestadas o con cultivos de vid-olivar).

Efectos de los procesos de erosión eólica en las tierras de cultivo de la llanura manchega

Los procesos de erosión eólica en la llanura manchega tienen una serie de efectos sobre las áreas cultivadas. El efecto más

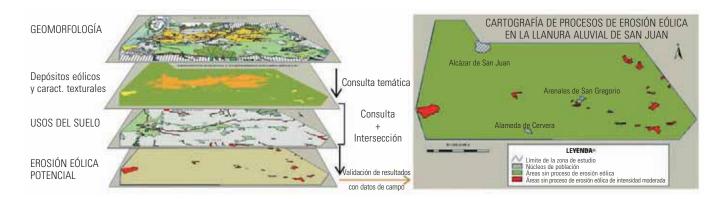


Figura 13. Proceso seguido para la obtención de las cartografías de las áreas con procesos de erosión eólica mediante el uso de un Sistema de Información Geográfico (SIG). En el ejemplo destacan en rojo las áreas de la llanura aluvial de San Juan con procesos de erosión eólica de intensidad moderada. La cartografía geomorfológica básica de elaboración propia se realizó a escala 1:25.000. (Bernat Rebollal M., 2001)



Figura 14. Cepas cultivadas sobre pequeña duna transversa activa que son cubiertas progresivamente en en su avance y la cara a sotavento.



Figura 15. Cepas parcialmente cubiertas por la arena, al Este de Casas de Haro (finales de

significativo y perceptible es la formación de acumulaciones de arena en los viñedos, de manera que se impide el desarrollo de la vegetación (figuras 14 y 15). Las cepas sobre las que se acumula la arena sufren una drástica disminución de su capacidad fotosintética, se debilitan o acaban muriendo. Además, el tronco de la cepas enterrado en la arena puede ser atacado por distintos microorganismos y parásitos que causan su putrefacción ayudados por la humedad del terreno en época de lluvias. Otro efecto es el avance y acumulación de arena en las zonas forestadas que limitan con los campos de cultivos sujetos a deflación eólica y cuya consecuencia más palpable es la degradación y recubrimiento de la vegetación arbórea más joven (figura 10), así como la pérdida de follaje por efecto de la abrasión que producen los impactos de los granos de arena.

Conclusiones y propuestas para la atenuación de los procesos de erosión eólica

En la actualidad, los procesos de erosión eólica en la llanura manchega se producen sobre los campos de dunas y mantos eólicos originados durante los últimos 30.000 años y donde la acción del viento todavía sigue originando morfologías eólicas aunque de menor entidad que en el pasado. Los depósitos eólicos relictos se habrían formado en un paisaje vegetal de tipo estepario, en períodos de clima más frío y árido que el presente y donde los vientos que intervinieron en la construcción dunar serían principalmente los de componente 0 y NO.

En la llanura manchega existen una serie de características que propician los procesos de erosión eólica y que son la existencia de formaciones supeficiales de origen eólico desagregables y de granulometría fina, bajos o muy bajos contenidos de humedad del suelo, una topografía plana que no ofrece ninguna protección frente a la acción del viento, escasa cubierta vegetal y una velocidad del viento lo suficientemente alta como para producir el movimiento de las partículas del suelo. Por otro lado, la susceptibilidad del terreno a la erosión eólica en la llanura manchega está condicionada fundamentalmente por la textura de las formaciones supeficiales, de manera que la erodabilidad es baja para suelos en depósitos eólicos con contenidos de limo + arcilla mayores del 8%, mientras que para valores inferiores al 4,5%, la erodabilidad es máxima.

De acuerdo con las observaciones de campo, el análisis de los factores que condicionan los procesos de erosión eólica y las cartografías realizadas mediante el uso de tecnología SIG, los terrenos que actualmente sufren estos procesos se encuentran sobre las arenas eólicas del Corredor Casas de los Pinos-Casas de Haro-Río Júcar (procesos de erosión eólica de intensidad elevada) y las arenas eólicas marginales de la llanura aluvial de San Juan (procesos de erosión eólica moderados). Por el contrario, las áreas que no tienen procesos de erosión eólica serían la gran mancha de dunas limo-arcillosas de la llanura aluvial de San Juan y los depósitos eólicos del Sector de San Clemente. En resumen, los suelos arenosos de origen

eólico con tierras de cultivo de viñedo-olivar y con áreas de vegetación degradada o deforestada por incendios son las áreas más afectadas por los procesos de erosión eólica en la llanura manchega.

El mayor problema que ocasiona la erosión eólica en las tierras de cultivo es la acumulación de las arenas transportadas por el viento, de manera que cubren parcialmente algunas cepas en las áreas con viñedo, impidiendo su desarrollo y causándoles graves daños.

La erosión eólica en las tierras de cultivo de la llanura manchega, aunque puede producirse en cualquier época del año, tiene un marcado carácter estacional. Esta estacionalidad está ligada fundamentalmente al grado de humedad del suelo y al período vegetativo de los viñedos. La época con mayor probabilidad de erosión es la estación primaveral, de abril a junio. En esta estación, la humedad del suelo es baja debido a la elevada evapotranspiración, y por otro lado los viñedos no han alcanzado su máximo desarrollo vegetativo, por lo que el suelo se encuentra desprotegido frente a la acción del viento. Además, durante esta estación, la velocidad del viento supera habitualmente la velocidad umbral necesaria para que se produzca el movimiento y transporte de partículas del suelo. Por otro lado, los vientos responsables de la erosión eólica en la llanura manchega son principalmente los procedentes del Oeste y en menor medida los del SO, estos vientos son similares a los que originaron la mayoría de las formaciones dunares en el pasado.

Un factor que tener en cuenta en el futuro es el cambio o variabilidad climática. Según los distintos escenarios de emisión de CO₂ cuyas consecuencias se están estudiando a través de modelos que permiten evaluar el cambio climático en España (de Castro et al., 2005-OECC), se preveé que para el último tercio del siglo XXI (2071-2100) haya un aumento medio de la temperatura de 3 a 5º C en la submeseta sur, siempre más acusado en el verano; por el contrario, las precipitaciones disminuirán una media de 0,5-0,25 mm/día; y en cuanto a la evapotranspiración, aumentará entre un 10 y 20% en el período invernal, al igual que el viento, cuya velocidad se incrementará ligeramente (del 5 al 10%) en verano. Con este panorama poco esperanzador es probable que los procesos de erosión eólica sufran en el futuro una aceleración y sus consecuencias sean mucho más graves que las actuales si no se toman las medidas adecuadas para frenarla. Como los

principales factores desencadenantes de los procesos de erosión eólica en la llanura manchega son la deforestación, el cultivo de la vid y las prácticas de labranza inadecuadas e intensificadas por la mecanización de la agricultura, aquí se proponen una serie de medidas para frenar o atenuar la erosión eólica en las zonas más susceptibles de los sectores estudiados. Estas medidas pueden agruparse en tres conjuntos de actuaciones distintas (García Salmerón, J., 1967, Manitoba Soil Conservation Resource Manual, 1999). La primera de ellas sería la alteración de las condiciones del suelo para hacerlo más resistente a la acción erosiva del viento mediante el suministro de materia orgánica, que en las zonas arenosas aumentaría la cohesión del suelo y, por tanto, su resistencia al viento. Este aporte de materia orgánica sería sencillo mediante el uso de abonos orgánicos como el estiércol, y sobre todo dejando sobre el terreno los residuos que genera el cultivo de la vid

(podas, hojas, etc.). Otra medida sería la reducción de la velocidad del viento sobre los terrenos susceptibles a la erosión mediante el establecimiento de barreras de vegetación en dirección N-S, perpendiculares a los vientos dominantes del oeste, de manera que velocidad del viento esté siempre por debajo de la velocidad umbral necesaria para movilizar los granos de arena. También se propone la modificación de las prácticas de labranza reduciendo los frecuentes y agresivos laboreos mediante el arado de vertedera, que como ya se ha comentado produce el desmenuzamiento excesivo del suelo. Finalmente, habría que plantearse la conveniencia de cultivar determinados terrenos muy degradados y expuestos a una acción eólica muy intensa, estos lugares deberían ser recuperados mediante una adecuada política de repoblación forestal que fije lo antes posible el terreno, evitándose de esta manera la extensión de la degradación.

Bibliografía

ALEIXANDRE, T.; PINILLA, A. y PÉREZ-GONZÁLEZ, A. (1977): "Caracterización mineralógica de las dunas continentales de la llanura manchega". Actas III Reunión Grupo de Trabajo del Cuaternario, Inst. Geologia Aplicada. 281-289 pp.

BAGNOLD, R.A. (1941): The physics of Blown sand and Desert dunes. Chapman and May, 265 pp. Londres.

BERNAT REBOLLAL M. (2001): "Procesos de erosión eólica en tierras de cultivo de la llanura manchega". Trabajo de investigación de Doctorado de Geología Dinámica y Ambiental, Doto, de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, Inédito, 105 pp. BERNAT REBOLLAL M. y PEREZ-GONZÁLEZ A. (2005): "Campos de dunas y mantos eólicos de Tierra de Pinares (Sureste de la cuenca

del Duero, España)". Boletín Geológico y Minero, 116-1, pp. 23-38.

BOWLER, J.M. & MCGEE, J.W. (1978): "Geomorphology of the Mallee region in semi-arid northern Victoria and western New South Wales". Proceedings of the Royal Society of Victoria, 90 (1), 5-21.

CASTEL I. I. Y., E. KOSTER y R. SLOTBOOM. (1989): "Morphogenetic aspects and age of Late Holocene eolian drift sands in Northwest Europe". Zeitschrift für Geomorphologie, 33, 1-26.

CHEPIL, W.S. (1954): "Factors that influence clod structura and erodibility of soil wind. III. Calcium carbonate and descomposed orgánic matter". Soil Sci, 77, pp. 473-480.

DE CASTRO, M., MARTÍN-VIDE, J. y ALONSO, S. (2005): Impactos del cambio climático en España: 1. El clima en España: pasado, presente y futuro del clima para el siglo XXI. OECC-Oficina Española del Cambio Climático. 64 pp.

DE LA PEÑA, J. A. y MARFIL, R. (1986): "La sedimentación salina actual en las lagunas de la Mancha: una síntesis". Cuad. Geol. Ibérica, Nº 10, 235-270 pp.

FILION, L. & MORISSET, P. (1983): "Eolian landforms along the eastern coast of Hudson Bay, Northern Québec". En: Tree-line ecology. Edited by P. MORISSET y S. PAYETTE. Proc. northern Québec tree-line conf. Nordicana (Centre d'Études nordiques, Université Laval), 47, pp. 73-94.

GARCÍA SALMERÓN, J. (1967): Erosión eólica. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones y Experiencias, 582 pp. Madrid. GUTIÉRREZ ELORZA, M. (2001): Geomorfología climática. Omega. Barcelona.

HILLS, E. S. (1940): "The lunette, a new landform of aeolian origin". *Australian Geogr.*, 3: pp. 1-7.

ICONA-MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN (1995): Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1995 (Castilla-La Mancha: Cuenca). ICONA, 237 pp. Madrid.

ICONA-MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN (1995): Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1995 (Castilla-La Mancha: Ciudad Real). ICONA, 214 pp. Madrid.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL – IGN (2000): Corine Land Cover 2000 España. Base de datos digital de ocupación del suelo para el año 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA (1988): Mapa Eólico Nacional.

KOCUREK, G. y NIELSON (1986): "Conditions favourable for the formation of warm climate Aeolian sand sheets". *Sedimentology*, 33, pp. 795-816.

LANCASTER, N. (1983): "Controls on dune morphology in the Namib sand sea". En: BROOKFIELD, M.E. & T.S. AHLBRAND (EDS.) 1983. *Eolian sediments and processes*. Elsevier, pp. 261-290. Amsterdam.

LIVINGSTONE, I. y WARREN, A. (1996): Aeolian geomorphology: An Introduction. Longman. Singapur.

LOGIE, M. (1982): "Influence of roughness elements and soil moixture of sand to wind erosion". Catena Supplement, 1, pp. 161-173.

YLES, L.; SCHRANDT, R. L. y SCHNEIDLER, N.F. (1974): "How aerodynamic roughness elements control sand movement". *Transactions of American Society of Agricultural Enginners*, 17, pp. 563-566.

Manitoba Soil Conservation Resource Manual (1999). Canadian Dept. of Agriculture, 156 pp.

PEINADO, M. y MARTÍNEZ, J.M. (1985): *El paisaje vegetal de Castilla-La Mancha. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha*, 230 pp. Toledo.

PÉREZ-GONZÁLEZ, A. (1982): "Neógeno y Cuaternario de la llanura manchega y sus relaciones con la cuenca del Tajo". Tesis doctoral - Universidad Complutense de Madrid, 179/82, 787 pp. Madrid.

PÉREZ-GONZÁLEZ, A. (1985): "Tomelloso" (Hoja № 762/21-30). Mapa geológico escala 1:50.000. I.T.G.E. (MAGNA).

PÉREZ-GONZÁLEZ, A. y CABRA GIL, P. (1985): "La Roda" (Hoja № 742/24-29). Mapa geomorfológico escala 1:50.000. I.T.G.E. (MAGNA).

PÉREZ-GONZÁLEZ, A. y CABRA GIL, P.; DÍAZ DE NEIRA, A.; ENRILE ALBIR, A. y LÓPEZ OLMEDO, F. (1985): "Quintanar del Rey" (Hoja № 717/24-28). Mapa geológico escala 1:50.000. I.T.G.E. (MAGNA).

PÉREZ-GONZÁLEZ, A. y HERNÁNDEZ URROZ, J. (1976): "Villarrobledo" (Hoja № 740/22-29). Mapa geológico escala 1:50.000. I.T.G.E. (MAGNA).

PÉREZ-GONZÁLEZ, A. y HERNÁNDEZ URROZ, J. (1978): "Minaya" (Hoja № 741/23-29). Mapa geológico escala 1:50.000. I.T.G.E. (MAGNA). PÉREZ-GONZÁLEZ, A. y PILES MATEO, P. (1985): "Villarta de San Juan" (Hoja № 738/20-29). Mapa geológico y geomorfológico escala 1:50.000. I.T.G.E.

PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; ALEIXANDRE, T.; PINILLA, A. y GALLARDO, J. (1983): "El paisaje eólico de la llanura aluvial de San Juan". *Cuadernos do laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 5, 631-656 pp. La Coruña.

PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; BARRANCO SÁNZ, L. M. y MULAS DE LA PEÑA, J. (1985): "Alameda de Cervera" (Hoja № 739/21-29). Mapa geomorfológico escala 1:50.000. I.T.G.E. (MAGNA).

PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; CABRA GIL, P.; DÍAZ DE NEIRA, A.; ENRILE ALBIR, A. y LÓPEZ OLMEDO, F. (1985): "La Roda" (Hoja Nº 742/24-29). Mapa geológico escala 1:50.000. I.T.G.E. (MAGNA).

PORTERO GARCÍA, J. M. y RAMÍREZ MERINO, J. I. (1985): "Daimiel" (Hoja № 760/19-30). Mapa geológico y geomorfológico escala 1:50.000. I.T.G.E. (MAGNA).

PRICE, W.A. (1963): "Physicochemical and environmental factors in clay dune genesis". *Journal of Sedimentary Petrology*, 31, pp. 245-255. PRICE, W.A. (1968): "Clay dunes". En: *The Enciclopedia of Geomorphology*. R.W. Fairbridge, pp. 126-128.

YE, K. (1982a): "Morphological development of coastal dunes in a humid tropical environment, cape Bedford and Cape Flattery, North Queensland". *Geografiska Annaler*, 64A, pp. 212-227.

QUIRANTES PUERTAS, J. E. (1991): "Métodos para el estudio de la erosión eólica". *Cuadernos técnicos de las Soc. Esp. de Geomorfología.* Geoforma, 26 pp. Logroño.

RENDELL, H. M.; CALDERÓN, T.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; GALLARDO, J.; MILLÁN, A. y TOWNSEND, P. D. (1994): "Thermoluminiscence and optical simulated luminiscence dating of spanish dunes". *Quaternary Geochronology* (Quaternary Science Reviews), 13, pp. 429-432.

RENDELL, H. M.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; CALDERÓN, T. y BENÍTEZ, P. (1996): "Late quaternary aeolian activity in the Manchega plain, Central Spain". 8th Intenational Conference of luminiscence an Electron Spin Resonance Dating. Camberra, Australia. 220-221 pp.

RODRÍGUEZ GARCÍA, J.A. (1998): "Geomorfología de las Tablas de Daimiel y del endorreísmo Manchego Centro-Occidental". Tesis de licenciatura, Dpto. de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid. 164 pp.

RODRÍGUEZ GARCÍA, J.A. y PÉREZ-GONZÁLEZ (2002): "Geomorfología de las Tablas de Daimiel y su entorno". En: *Aportaciones a la geomorfología de España en el inicio del tercer milenio*. ALFREDO PÉREZ-GONZÁLEZ, JUANA VEGAS, MARÍA J. MACHADO (EDS.). 465-473 pp.

STORY, R. (1982): "Notes on parabolic dunes, winds and vegetation northern Australia". CSRIO, Division of Water and Land Resources, *Technical Paper*, 43.

TSOAR, H. y MØLLER, J.T. (1986): "The role of vegetation in the formation of linear sand dunes". En: W.G. NICKLING (ED.), *Aeolian geomorphology*, pp. 75-95, Allen and Unwind. Londres.

Aplicaciones del estudio **petrográfico** de morteros en la conservación del patrimonio

Morteros romanos en La Rioja

El estudio petrográfico de morteros históricos proporciona información necesaria para fabricar un material similar al original y compatible con la fábrica que lo acompaña. Centrado en la época romana por la abundancia de asentamientos en La Rioja y por la calidad de sus técnicas constructivas, el análisis petrográfico reveló la composición mineralógica, dosificación, hidraulicidad y calidad de los morteros. La información obtenida con técnicas petrográficas es útil y valiosa para fabricar morteros de calidad compatibles con fábricas históricas en labores de conservación.

TEXTO I Sara Pavía Santamaría (Department of Civil, Structural & Environmental Engineering. Museum Building. Trinity College. Dublín). Susana Caro Calatayud, geóloga (Instituto de Estudios Riojanos. La Rioja).

Palabras clave

Morteros romanos, análisis petrográfico, La Rioja, árido, ligante

Una de las labores más comunes en la conservación del patrimonio es el rejuntado y la reparación de fábricas históricas con morteros. Los morteros son un elemento esencial en la fábrica constructiva, puesto que cumplen funciones estructurales, protectoras, aislantes y estéticas, consolidando los elementos de fábrica de los que consta un edificio. Durante décadas se han venido utilizando, en trabajos de conservación, morteros de cemento artificial (por ejemplo cemento portland) y mezclas de cemento con cal. Algunos de estos morteros

son poco porosos e impermeables, mientras que otros producen sales, por lo que no son adecuados para reparar material tradicional o piedra alterada y pueden causar su deterioro. Para que la restauración sea óptima y adecuada, se considera necesario conocer los materiales originales que forman la fábrica y sus necesidades de conservación.

El objetivo principal de este trabajo es demostrar que el estudio petrográfico de morteros históricos (originales) proporciona resultados fiables para fabricar réplicas

modernas. Para ello se estudió la composición de morteros romanos de La Rioja. Así mismo, basándose en el estudio petrográfico del mortero, se investigó el origen de las materias primas que se utilizaron en su fabricación, así como la tecnología y procesado de materiales durante la época romana. Finalmente, los resultados se contrastaron con fuentes escritas de la época para evaluar su fiabilidad.

Antecedentes y método de trabajo

Las autoras de este trabajo han estudiado anteriormente morteros de procedencias variadas (Pavía et al. [1991], Caro [1994], Pavía [1994], Caro et al. [1997], Pavía et al. [2000]) siguiendo el método de trabajo de Charola et al. (1984), al que se han incorporado algunas modificaciones. En este caso, y en primer lugar, se realizaron el examen visual y con estereomicroscopio de un máximo

"Los morteros son un elemento esencial en la fábrica constructiva, puesto que cumplen funciones estructurales, protectoras, aislantes y estéticas, consolidando los elementos de fábrica de los que consta un edificio"

de 100 aumentos. Así se obtuvieron los primeros datos de la composición y el estado de conservación de los morteros; ello permitió describir y seleccionar las muestras de mano y escoger cortes orientados para el análisis petrográfico.

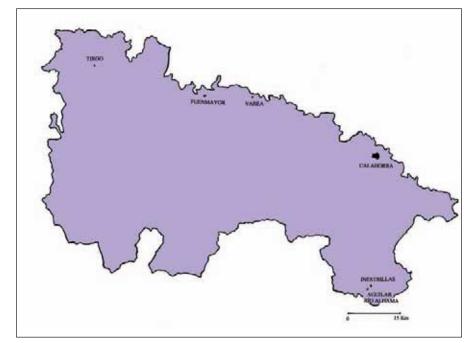
La preparación de las láminas delgadas precisó de precauciones, puesto que los morteros estudiados sobrepasan los 1.000 años de antigüedad. Por ello, las argamasas se impregnaron de resina al vacío para preconsolidarlas y conservar sus minerales y microestructura al cortar las láminas delgadas. Las láminas se fabricaron cortando y puliendo con aceite las muestras para no modificar las sales que pudieran contener los morteros. Se pulieron hasta un grosor de 30 micras, se cubrieron con vidrio y se examinaron con el microscopio petrográfico. La diferenciación entre carbonatos de distinta composición se determinó por tinción. Las láminas delgadas se observaron con microscopio petrográfico, con objetivos de 2, 10, 20 y 40 aumentos, usando luz paralela y polarizada. Las dosificaciones aproximadas se establecieron con gráficos de estimación visual de porcentaje en volumen.

Selección y clasificación de las muestras

Se estudiaron 18 morteros procedentes de 12 construcciones situadas en seis yacimientos arqueológicos de La Rioja (ver mapa adjunto).

La selección de las muestras se hizo con la ayuda de los arqueólogos Juan Manuel Tudanca Casero y Carlos López de Calle. Se procuró que los morteros fuesen variados en cuanto a su cronología, contexto social y función en la fábrica constructiva.

Contexto cronológico. Doce de los morteros son de la época romana altoimperial, siglos I-II d.C. Cinco de la época romana bajoimperial, siglos IV-V d.C., mientras que tan sólo una de las muestras pertenece a la época celtibérica en proceso de romanización (siglo I a.C.).



Mapa: situación de los yacimientos arqueológicos riojanos de los que proceden los morteros analizados.

Contexto social. Carácter y funcionalidad de la obra. Nueve de los morteros proceden de obras públicas que incluyen murallas defensivas, complejos termales y puentes. Los restantes morteros son de obras de carácter privado de entorno rural o urbano; bien dependencias de viviendas particulares de clase social alta o bien de entornos más modestos.

Función del mortero en la fábrica. Ocho de los morteros estudiados son de

revestimiento (con función de enlucidos o revocos); dos de ellos con decoración. Seis son morteros de unión de fábricas de piedra. Dos son de pavimentación, uno de ellos es sustrato de un mosaico romano y otro constituye el suelo de una cueva, posiblemente utilizada como vivienda, que data de la época celtibérica.

Las características de los morteros analizados se muestran en las seis tablas siguientes.

Muestra	Tipo de mortero	Edad (Hernández Vera et al., 1990)	Contexto social	Función en la construcción
RCL1	Rejuntado	Rejuntado de sillería de arenisca Cialea III.	Infraestructura pública.	Torreón celtibérico. Muralla, zona superior.
RCL2	•			Puerta de la muralla, pilastra trabada con muro del corredor. Zona inferior.
RCL3		, η (,		Lienzo de la muralla. Zona inferior.
RCL4				Lienzo de la muralla. Zona inferior.

Tabla 1. Características de los morteros del yacimiento de Contrebia Leukade en Aguilar del Río Alhama (La Rioja).

Muestra	Tipo de mortero	Edad	Contexto social	Función en la construcción
RM1	Rejuntado de sillería de arenisca.	Romano altoimperial.	Infraestructura pública. Fábrica de máxima	Puente sobre el río Ebro, parte de la calzada que atravesaba el Pirineo
RM2	Nivelado de sillería de arenisca	Siglos I-II d.C.	de máxima calidad dentro de las construcciones públicas romanas.	y conectaba con el interior peninsular.

Tabla 2. Características de los morteros del puente Mantible en Fuenmayor (La Rioia).

Muestra	Tipo de mortero	Edad (Tirado, 1996)	Contexto social	Función en la construcción
RC1 en C/ La Enramada nº 15	Sustrato de un mosaico	Anterior a época bajoimperial. Siglo IV d.C.	Posibles termas públicas	Pavimenta la estancia de un conjunto termal
RC2 en Dr. Chavarría	Revestimiento con decoración	Romano altoimperial. Siglos I-II d.C.	Vivienda urbana	Patio trasero o peristilo interior
RC3 en La Clínica	Revestimiento		privada de clase social alta	Construcción de buena factura y cierta monumentalización
RC4 en Solar Torres 1	Revestimiento	Romano altoimperial. Siglos I-III d.C.	Construcción pública considerada de gran calidad	Gran piscina de termas públicas
RC5 en Solar Torres 2	Enlucido		Construcción pública	Una de las dependencias del complejo termal

Tabla 3. Características de los morteros de Calahorra (La Rioja).

Muestra	Tipo de mortero	Edad (Porres, 1999)	Contexto social	Función en la construcción
RT1	Revestimiento	Romano bajoimperial.	Villa rural, probable residencia de un rico hacendado. Construcción propia de la economía	Piscina de jardín o terma
RT2		Siglos IV-V d.C.	bajoimperial, de corto recorrido con tendencias al autoabastecimiento	i iscilia de jaldill 0 tellild

Tabla 4. Características de los morteros del yacimiento de Los Ladrillos en Tirgo (La Rioja).

Muestra	Tipo de mortero	Edad	Contexto social	Función en la construcción	
RV1	Revestimiento	Romano bajoimperial Siglo IV d.C.	bajoimperial propia	de entorno urbano	Posible habitáculo
RV2	Enlucido			administración	i osibie liabitaculo
RV3	Revestimiento		Construcción privada de entorno urbano reducido	Posible instalación artesanal	
RV4	Revestimiento con decoración	Romano altoimperial. Siglos I-III d.C.	Vivienda particular de entorno urbano reducido	Posible habitáculo	

Tabla 5. Características de los morteros de Varea (La Rioja).

Muestra	Tipo de mortero	Edad	Contexto social	Función en la construcción
I1	Pavimento	Celtibérico en proceso de romanización Siglo I a.C.	Cuevas artificiales	Carácter defensivo. Posible vivienda particular

Tabla 6. Características de los morteros de Inestrillas. Yacimiento de Contrebia Leukade. Aguilar del Río Alhama (La Rioja).

Discusión y resultados

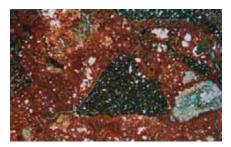
Tecnología y pautas de elaboración

Las observaciones microscópicas sugieren que, en la mayoría de estos morteros, se siguieron pautas de elaboración indicadas en los tratados de arquitectura de la época. Así, por ejemplo, la cal se apagó como se aconsejaba en la época: cuidadosamente durante un periodo largo de tiempo (Vitruvius [1914], Plommer [1973]). Esto es evidente sobre todo en los morteros de recubrimiento analizados, ya que tanto revocos como enlucidos muestran la textura fina v homogénea de la cal. que indica claramente dicho procedimiento.

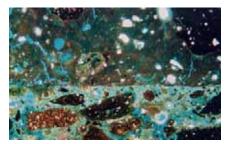
Una de las observaciones más interesantes de esta investigación concierne al mortero de más antigüedad de todos los estudiados, cueva artificial de Inestrillas, que data del siglo I a.C. (época celtibérica en proceso de romanización). Este mortero se fabricó con tecnología que hoy en día, según citas bibliográficas, se considera típicamente romana. El árido está formado exclusivamente por fragmentos cerámicos, una característica típica de morteros y argamasas romanas, y está mezclado con aglomerante de cal blanca de textura fina y homogénea (ver fotografía 1). La composición y textura de este mortero es típicamente romana, comparable a las de otros morteros de revestimiento que datan de épocas posteriores, procedentes de Varea (bajoimperial siglo IV d.C.) y Calahorra (altoimperial siglos I-III d.C. y bajoimperial siglo IV d.C.) (ver fotografías 2, 3, 4 y 5, en páginas siguientes).

Aplicación de revocos

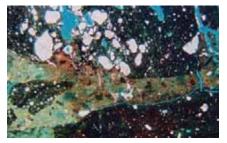
Según fuentes escritas de la época romana (Vitruvius [1914], Plommer [1973]), los revocos se debían aplicar en cinco capas: tres capas de base y dos de acabado. Los morteros estudiados son probablemente fragmentos incompletos de secuencias de capas de recubrimiento.



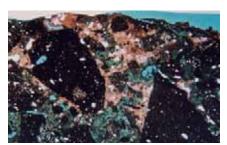
Fotografía 1. Mortero celtibérico de Inestrillas, siglo I a.C. (I1). Este mortero se elaboró con tecnología que hoy en día se considera típicamente romana: el árido está formado por fragmentos cerámicos. El aglomerante de cal, de textura fina y homogénea, denota apagado prolongado y cuidada elaboración. Luz paralela. 2X.



Fotografía 2. Mortero de Varea, bajoimperial siglo IV (RV1). Mortero de revestimiento en el que se diferencian dos capas: 1-capa de base (zona superior) contiene fragmentos cerámicos de grano grueso. 2-capa de acabado incluye árido más fino v anguloso con predominio de fragmentos cerámicos 2X Luz naralela



Fotografía 3. Mortero de Varea, bajoimperial siglo IV (RV2). Textura general del mortero formado por grandes fragmentos de ladrillo separados por escaso ligante. Un fragmento de ladrillo con desgrasante grueso de cuarzo fracturado ocupa la zona superior, 2X, Luz paralela.



Fotografía 4. Calahorra (mortero RC1, bajoimperial siglo IV). Textura general del mortero de sustrato de un mosaico que contiene abundantes fragmentos cerámicos angulosos de grano grueso. Ligante de cal recristalizado. 2X. Luz paralela.

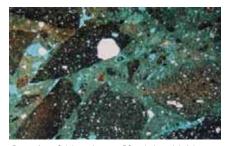
De acuerdo con los tratados de la época, las capas se dejaban secar y endurecer ligeramente antes de aplicar la capa siguiente. Las observaciones microscópicas de los morteros de revestimiento del yacimiento de Los Ladrillos, en Tirgo, han proporcionado evidencia de esta práctica. En estos morteros se observa una superficie de carbonatación interna que separa dos capas consecutivas de un mortero muy similar en composición y textura (fotografías 6 y 7). La superficie de carbonatación indica que transcurrió un lapso de tiempo entre capa y capa.

Según los tratados de la época, las secuencias de revocos acababan con tres capas consecutivas de textura fina compuestas por marmolina (árido de mármol). El estudio microscópico indica que este acabado, o bien no se utilizó en las muestras analizadas o bien se ha perdido. En algunos casos no parece probable que se haya perdido (fotografías 8 v 9), va que los morteros son hidráulicos (ver hidraulicidad de morteros) y se encuentra en buen estado, sin pérdida de material superficial.

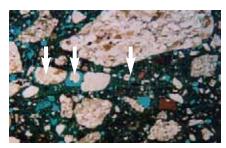
Ingredientes y dosificación

Gran parte de los morteros estudiados no poseen los ingredientes y dosificaciones marcadas en las pautas generales de los tratados de arquitectura romana de autores clásicos (Vitruvius [1914], Plommer [1973]). Por ejemplo, la mayoría de los morteros de recubrimiento estudiados están formados exclusivamente por cal y fragmentos cerámicos, en vez de cal y arena.

Por otro lado, los morteros estructurales de rejuntado y nivelado sí que se aproximan en dosificación y composición a las aconsejadas en los tratados de la época. Por ejemplo, los morteros del puente Mantible se fabricaron con árido de arena de río con una dosificación aproximada de 3:1 establecida con gráficos de estimación visual de porcentaje en volumen (ver fotografías 10 y 11). Estas características se muestran de acuerdo con las aconsejadas por autores clásicos. Así, Vitruvio prescribe las proporciones de cal y arena para fabricar un mortero: "tres partes de arena por cada parte de cal si es



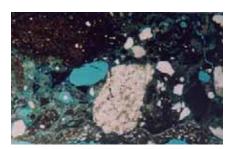
Fotografía 5. Calahorra (mortero RC5. altoimperial siglos I – III). Detalle de la capa de acabado de un mortero de revestimiento con abundantes fragmentos cerámicos y abundante ligante ligeramente fracturado. 2X. Luz paralela



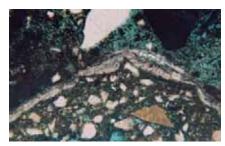
Fotografía 6. Mortero de revestimiento de una piscina (RT2, Tirgo). La superficie de carbonatación interna del mortero separa dos capas consecutivas de una mezcla muy similar en composición y textura. 2X. Luz polarizada



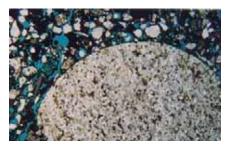
Fotografía 7. Detalle de la superficie de carbonatación y árido fino del mortero de la foto 6. 10X. Luz paralela.



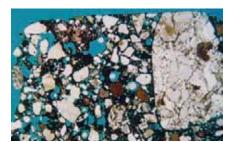
Fotografía 8. Detalle de un recubrimiento de tres capas, en buen estado, con abundantes fragmentos cerámicos Mortero RC4 (revestimiento de una piscina, Solar de Torres, Calahorra). Los restos de la capa basal tienen árido muy fino, mientras que la capa intermedia incluye árido de arenisca de tamaño medio 2X Luz nolarizada



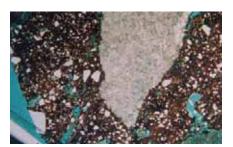
Fotografía 9. Detalle de la capa basal del mortero de tres capas RC4, con árido fino anguloso de cuarzo y abundante ligante de cal carbonatada. 10X. Luz polarizada.



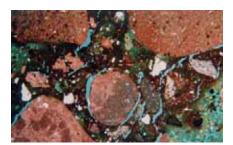
Fotografía 10. Textura general del mortero de asiento del puente Mantible (RM2). Se observan un fragmento de árido grueso de arenisca redondeado y escaso árido calcáreo. 2X.



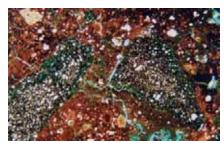
Fotografía 11. Textura general del mortero RM2. Abundante árido silíceo anguloso y redondeado en ligante poroso de cal carbonatada. 2X. Luz polarizada.



Fotografía 12. Detalle de la puzolana del mortero RCL2 (muralla de Contrebia Leukade): fragmento cerámico que engloba caliza cristalina 2X. Luz paralela.



Fotografía 13. Textura general del mortero RCL3 de la muralla de Contrebia Leukade. Se observan árido calcáreo redondeado (probablemente arena de río de procedencia local) y escaso árido silíceo en ligante carbonatado fracturado. 2X. Luz paralela.



Fotografía 14. Mortero de pavimento de época celtibérica. Inestrillas, siglo I a.C. Se compone de cerámica triturada v cal. Mortero de buena calidad que se mantiene en muy buen estado de conservación. 2X. Luz paralela.

arena de cantera, dos partes de arena si es arena de río".

La presencia de fragmentos cerámicos en los morteros estructurales del puente Mantible y en la muralla de Contrebia Leukade se muestran de acuerdo con la tecnología de la época (ver fotografía 12). En ambos morteros, el análisis petrográfico sugiere que el árido es probablemente arena de río de procedencia local (ver fotografías 10, 11 y 13). Según Vitruvio, la arena de río es demasiado débil y fina para fabricar mortero y hormigón. Vitruvio y otros autores romanos recomiendan reforzar la arena de río mediante la adición de cerámica pulverizada.

El estudio microscópico de los morteros con decoración indica que la marmolina no se utilizó como ingrediente. En ellos, la capa de pintura de acabado se asienta sobre morteros con árido silíceo anguloso de grano fino. La textura de estos morteros silíceos se aproxima a la de un acabado con marmolina angulosa y cal.

Tipo de árido

Como se ha mencionado anteriormente. algunos de los morteros estudiados contienen árido de arena de río de origen local, mientras que otros tienen árido cerámico y otros, árido silíceo anguloso.

En la mayoría de los morteros el árido es de buena calidad y está bien seleccionado. Los romanos preferían arena de cantera (arena fosicia) para muros de carga de hormigón (Plommer, 1973). Este autor incluye un compendio de tecnología de construcción de Vitruvio, Faventino y Paladio. En su apartado "Ingredientes para fabricar el mejor hormigón", se refiere al árido de calidad de la siguiente manera: "El árido de cantera de calidad no contiene tierra arcillosa, esto se comprueba porque no mancha un pañuelo blanco y hace ruido cuando se presiona entre los dedos". Tan sólo una pequeña parte de los morteros estudiados contienen árido arcilloso alterado. La mayoría de las mezclas tienen árido silíceo, que en el caso de algunos de los enlucidos es muy fino y bien seleccionado; y pudo haberse tamizado y añadido expresamente para la elaboración del mortero.

Calidad de la cal

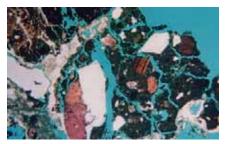
El tipo de cal no se ha podido determinar con certeza con los análisis realizados, pero posiblemente se trata de cal calcítica (grasa). El 80% de los morteros estudiados tienen ligante de buena calidad, que sigue cumpliendo su función después de un intervalo de tiempo que varía entre 1.600 y 2.000 años. Como se ha indicado anteriormente, las observaciones microscópicas sugieren que la mayoría de los revocos, enlucidos y pavimentos analizados se prepararon con cal de textura fina y homogénea que se elaboró como se aconsejaba en la época, apagándose intensamente durante un periodo largo de tiempo.

Según Vitruvio, la cal se debía apagar durante mucho tiempo para permitir que los grumos de caliza que no se habían calcinado bien se hidratasen y adquiriesen consistencia fina y homogénea. Esto se consideraba esencial en los estucos. Según los autores romanos, si la cal se apagaba durante poco tiempo contenía grumos. Al secarse el enlucido, estos grumos se fracturaban causando fisuras en el enlucido.

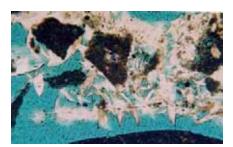
Pavimentos

Faventino (siglo I) y Vitruvio (siglo III) explican como los pavimentos se componían de tres niveles. Un nivel inferior de ripio 'rudus', de unos 22 cm de espesor, y proporciones 5:2 a 5:1 si la piedra es vieja, y 3:1 si es nueva (según Vitruvio), o 3:1 en cualquier caso (según Faventino). Este nivel inferior se asentaba en un soporte de tarimas de madera. Sobre esta capa se disponía un nivel medio de mortero llamado "nucleus", de espesor variable de aproximadamente 10 cm, compuesto por cerámica triturada y cal en proporciones 3:1. Sobre esta capa descansaban las piezas de piedra ornamental o mosaico del suelo.

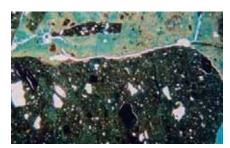
Los dos pavimentos estudiados procedentes de Inestrillas (siglo I a.C.) y Calahorra (siglo IV), corresponden al nivel llamado "nucleus". Se componen, en efecto, de cerámica triturada y cal, pero contienen menos cantidad de árido que la



Fotografía 15. Detalle del mortero salinizado RCL4 (Contrebia Leukade). Incluve árido predominantemente calcáreo. parcialmente reemplazado por veso. Ligante de cal intensamente fracturado y parcialmente reemplazado por veso. 2X. Luz natural.



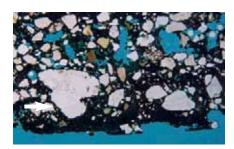
Fotografía 16. Detalle de los cristales de yeso en grietas del mortero RCL4. 10X. Luz polarizada.



Fotografía 17. Mortero de revestimiento del vacimiento de Varea (enlucido RV2), Contiene abundantes fragmentos cerámicos de grano grueso y grietas intergranulares. 2X. Luz



Fotografía 18. Detalle de la decoración y el árido fino del mortero RC2. La decoración es una pintura con base de óxidos opacos casi sin árido. 10X.



Fotografía 19. RC2: Mortero de revestimiento con decoración. Formado por árido anguloso predominantemente silíceo. La decoración se muestra en la zona inferior. 2X. Luz

marcada por los autores clásicos (1:1 y 1,5-2:1, respectivamente). Ambos morteros son de excelente calidad y se mantienen en muy buen estado (fotografía 14, página anterior).

Hidraulicidad de los morteros

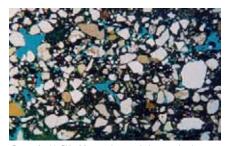
Los morteros analizados son hidráulicos. Los morteros estructurales de unión y asiento son ligeramente hidráulicos, mientras que los morteros de pavimento, así como algunos de los morteros de recubrimiento estudiados, son eminentemente hidráulicos.

La hidraulicidad de los morteros se debe fundamentalmente a la adición de puzolanas en forma de cerámica triturada. En ocasiones los fragmentos cerámicos han reaccionado con el ligante de cal. El estudio microscópico de las cerámicas incluidas en estos morteros sugiere que algunas de ellas se fabricaron con arcillas calcáreas (que pueden ser de origen local), y otras con arcillas que incluyen desgrasantes de cuarzo y feldespato de grano grueso (de origen no identificado).

Los fragmentos de ceniza y carbón vegetal que se han identificado en gran parte de los morteros no se pueden considerar como adiciones hidráulicas, sino como contaminación procedente del combustible utilizado para calcinar la caliza con la que se elaboró la cal. Una excepción la constituye la capa basal del mortero de recubrimiento de una terma de Calahorra. En este mortero, la abundancia de este material sugiere que se incorporó a propósito a la mezcla como aditivo puzolánico.

Calidad de los morteros

La mayoría de los morteros estudiados son mezclas de buena calidad que se encuentran en buen estado de conservación. Un caso excepcional lo constituye uno de los morteros de unión de Contrebia Leukade, que está totalmente alterado por sulfatación (fotografías 15 y 16). La textura y componentes originales del mortero se encuentran casi totalmente reemplazados por sales, principalmente sulfatos (yeso y anhidrita). El yeso procede



Fotografía 20. RV4: Mortero de revestimiento parietal con decoración. Textura general, Formado por abundante árido fino anguloso predominantemente silíceo. La decoración consiste en pintura de color rojo (zona inferior). 2X.



Fotografía 21. Detalle de la pintura del revestimiento del mortero RV4. Se trata de pintura opaca con escaso árido muy fino de cuarzo, mica y calcita (el mismo árido que aparece también disperso en el mortero). 20X. Luz natural.

del terreno donde se asienta el yacimiento y aparece interestratificado con las rocas que constituyen el yacimiento arqueológico.

La mayoría de los morteros de revestimiento se encuentran inalterados, manteniendo su función de soporte. A través del microscopio se ha comprobado que todas las mezclas donde predomina el árido de fragmentos cerámicos se encuentran en buen estado. Esto sugiere que la hidraulicidad, inducida mediante la adición de puzolanas en forma de cerámica triturada, es en parte responsable de la buena calidad de los mismos. Una excepción la constituye un enlucido bajoimperial fracturado que contiene abundantes fragmentos cerámicos de grano grueso. Las fracturas se deben a que la mezcla no contiene cal suficiente para mantener la adhesión del conjunto (ver fotografía 17).

Decoración

Dos de los morteros analizados estaban decorados, uno procedente de Calahorra (fotografías 18 y 19) y otro de Varea (fotografías 20 y 21). Ambos datan de la época altoimperial, siglos I-II. En ambos casos, la capa roja de acabado es un revestimiento microscópico opaco con

árido escaso y espesor variable entre 0,15 mm y 20 µm. La decoración probablemente consistió en la incorporación de pigmento rojo en la capa de acabado. De acuerdo con fuentes de la época, era relativamente fácil conseguir pigmentos naturales de ocre rojo, y los mejores se encontraban en Pontus y en numerosos lugares de España. Las pinturas se aplicaban en enlucidos húmedos para que los pigmentos se absorbieran en el sustrato y permanecieran "para siempre".

"Los resultados obtenidos en esta investigación ponen de manifiesto que el estudio petrográfico de un mortero histórico proporciona información esencial y detallada sobre la composición y propiedades del mortero y valiosa para fabricar morteros de calidad compatibles con fábricas históricas en labores de conservación"

Conclusión

Los resultados obtenidos en esta investigación ponen de manifiesto que el estudio petrográfico de un mortero histórico proporciona información esencial y detallada sobre la composición y propiedades del mortero, que incluye: tipo de árido y ligante, sus proporciones relativas; presencia y tipo de aditivos; alteraciones y grado de conservación. El análisis petrográfico permite detectar fallos de ejecución o de fabricación de las materias primas y revela la procedencia de las materias primas utilizadas para la fabricación del mortero. Con estos estudios previos es factible producir un material muy parecido al original y compatible, por tanto, con la fábrica adyacente.

Así se concluye que la información obtenida mediante el estudio petrográfico es útil y valiosa para fabricar morteros de calidad compatibles con fábricas históricas en labores de conservación.

(Estudio basado en una ayuda a la investigación subvencionada por el Instituto de Estudios Riojanos en el año 2000: "Estudios geológicos de morteros, hormigones y argamasas de yacimientos arqueológicos de La Rioja". Las autoras agradecen al personal del Instituto de Estudios Riojanos y a su director, las facilidades otorgadas para llevar a cabo la investigación. Las autoras dan las gracias al Museo de La Rioja y a los arqueólogos Juan Manuel Tudanca Casero y Carlos López de Calle por su colaboración en el muestreo.)

Bibliografía

CARO CALATAYUD, S. (1994): Piedra, ladrillo y mortero. Características y alteración. Alfaro, Calahorra y Logroño. Ciencias de la Tierra (16), 322 pp.

CARO CALATAYUD, S., PAVÍA SANTAMARÍA, S., GONZÁLEZ PALOMO L., (1997). Práctica de conservación: estudio previo y restauración. Portada de la Iglesia de San Bartolomé (Logroño). COATTR. Logroño. 150 pp.

CHAROLA, E., DUPAS, M., SHERYLL, R.P., FREUND, G.F. (1984): Characterization of ancient mortars: chemical and instrumental methods. Proc. Symp. on Sci. method. App. to works of Art, Florence, pp. 28-35.

HERNÁNDEZ VERA, J.A., CASASÚS ALCAINE J. I., GUTIÉRREZ GAMAZO, M.C. (1990): Contrebia Leukade. Aguilar del Río Alhama. Estrato (2), pp. 4-9.

MARTÍNEZ CLEMENTE, J., GALLEGO, R. (1995): Vareia, la ciudad bajoimperial. Materiales y técnicas de construcción. Historia de Logroño, vol. I, 323 pp.

PAVÍA S., BOLTON J. (2000): Stone, Brick and Mortar. Wordwell Publications. Bray. 296 pp.

PAVÍA SANTAMARÍA, S. (1994): Material de construcción antiguo de Logroño y La Rioja Alta: petrografía, propiedades físicas, geología y alteración. Ciencias de la Tierra (17), 247 pp.

PAVÍA SANTAMARÍA, S., CARO CALATAYUD, S., PÉREZ LORENTE F., LÓPEZ AGUAYO F. (1991): Mortero de la Iglesia de San Bartolomé de Logroño, La Rioja, España. En: Proceedings of Workshop on Alteration of Granites and Similar Rocks used as Building Materials. Ed: M.A. Vicente, E. Molina, V. Rives. Avila, pp. 149-151.

PLOMMER, H. (1973): Faventinus. Vitruvius and later Roman building manuals. Cambridge University Press. Londres.

PORRES CASTILLO, F. (1999): Sondeo arqueológico en el término de Los Ladrillos, Tirgo. Estrato (10), pp. 44-46.

TIRADO MARTINEZ, J.A. (1996): Arqueología urbana en Calahorra: el mosaico romano de la calle La Enramada. Estrato (7), pp. 32-38.

Vitruvius: the ten books on architecture / Translated by Morris Hicky Morgan. 1859-1910. Cambridge: Harvard U.P.,1914.

El trabajo con las **huellas** de dinosaurio en La Rioja

En La Rioja, la actividad científica y de divulgación sobre las huellas de los dinosaurios ha sido importante. Una manera de mostrarla es indicando la sucesión de acontecimientos a lo largo del intervalo de tiempo transcurrido entre la primera referencia escrita y un año próximo. He optado por anotar en una tabla las referencias que me parecen más importantes, por agrupar las publicaciones por años y por hacer unos comentarios personales sobre esos esquemas. Se acompaña este trabajo de abundante material gráfico (figuras, fotos y cuadros) para ilustrar algunas de las observaciones hechas en el texto.

TEXTO I F. Pérez-Lorente, geólogo. Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja. Universidad de La Rioja.

Palabras clave **Dinosaurios, facies Weald, La Rioja.**

Uno de los temas geológicos más productivos en La Rioja es el dedicado a las pisadas fósiles de dinosaurio. También se les llama icnitas, aunque este segundo concepto sea más amplio, ya que incluye cualquier resto de actividad vital. La mayor parte del trabajo geológico desarrollado en esta región está influenciado por elementos que se resumen en: dinosaurios y patrimonio.

Los dinosaurios tienen tal impacto en la población, que es muy difícil hacer investigación sobre ellos sin acompañarla de divulgación. De ahí que haya tanta literatura dedicada a mostrar, con lenguaje fácil, el contenido atrayente de la vida, forma y tamaño de estos animales, para visitantes con cualquier tipo de formación. Con el mismo fin divulgativo se ha gastado dinero en muchos afloramientos, tanto para hacerlos más accesibles como para colocar en ellos elementos explicativos y reproducciones de dinosaurios.

Las huellas de dinosaurio de La Rioja configuran el conjunto de yacimientos de este tipo más estudiados y con mayor cantidad de pisadas descritas del mundo. "A pesar del número tan grande de puntos con icnitas y de las obras dedicadas a la Geología en La Rioja, fue en 1971 en la revista *Acta Geológica Hispánica* cuando apareció el primer artículo científico sobre algunos yacimientos del entorno de Enciso"

Esta abundancia tan documentada y de restos tan curiosos ha inducido a la solicitud de su inclusión en los bienes declarados patrimonio de la humanidad.

El trabajo vinculado a investigación y a protección ha requerido la colaboración de especialistas, en su mayor parte geólogos, de procedencia y formación diferentes. Como es lógico, gran parte de la labor relacionada con las icnitas se ha hecho desde La Rioja y por geólogos vinculados a la región.

Antecedentes

Ninguno de los artículos y libros antiguos sobre geología en La Rioja citan yacimientos de icnitas de dinosaurio. Dicha literatura se remonta a 1850 (Ezquerra del Bayo), 1875 (Egozcue), 1878 (Urrutia), 1884 (Sánchez Lozano), 1885 (Palacios y Sánchez Lozano), 1886 (Calderón), 1887 (Aránzazu), y, como se ve, proceden de autores de prestigio reconocido. Algunos describen sucesiones estratigráficas y el contenido fosilífero de secuencias en facies Weald. Esto es así tanto en las publicaciones geológicas de La Rioja como en las de las provincias limítrofes de Burgos y Soria.

Los escritos siguientes, hasta 1971, bastantes de ellos hechos también sobre formaciones y capas con yacimientos importantes, tampoco citan pisadas fósiles. Resulta sorprendente que la población las conociese y que los investigadores no se hicieran eco de las mismas

Puestos a suponer, es probable que los primeros investigadores no reflejaran nunca la existencia de las icnitas porque no las llegaran a ver debido a la extensión tan grande de terreno que cubrían en sus trabajos. Pudiera ser que los geólogos oyeran hablar de las pisadas, pero también de muchas otras fantasías y milagros. Tampoco se deja de tener en cuenta que la información básica geológica fuera insuficiente, frente a la interpretación popular de los elementos naturales entre los que se incluyen las icnitas. Por eiemplo. las piritas en La Rioia baia tienen varios nombres populares (por ejemplo, "piedras de lobo") y se les atribuían propiedades especiales como las de proteger las casas de los rayos de las tormentas. Hay también algún pueblo en el que salen piritas pequeñas (espántagos de San Juan de Malta) que la tradición dice que es bueno tragarlas porque arreglan los males físicos y psíquicos. En las proximidades de Turruncún (pequeño pueblo abandonado), unos estratos verticales son un ejército de caballeros convertidos en piedra cuando iban a ayudar al rey moro que perdió en la batalla de Clavijo. Cualquiera de estas u otras historias contadas a los geólogos en aquellos años les supondría un compromiso ante los paisanos. Debía ser complicado decirle a la gente que las ideas que tenían no eran correctas, y no se podría atender además a todas las invitaciones hechas para ver todos los elementos mágicos o peculiares de los entornos de los pueblos de la zona. Las huellas de dinosaurio eran las pisadas del caballo de Santiago, las de gallinas gigantes o las pisadas de un gran león, según el pueblo del que procede la interpretación.

Relacionadas con el apartado anterior se extraen dos conclusiones. La primera es que las pisadas las reconocieron en varias localidades y, por tanto, había bastante gente que las identificaba. La segunda es que la identificación era natural, es decir, que en cada localidad conocían las huellas, sabían que eran pisadas y las interpretaban a su manera sin que nadie

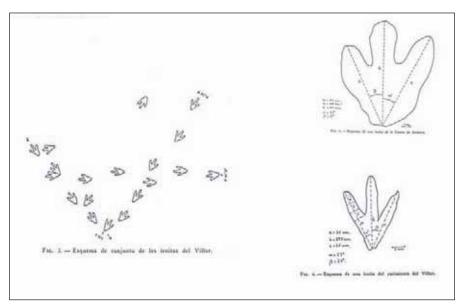




Figura 1. Parte superior: las primeras rastrilladas y las primeras huellas de dinosaurio estudiadas en España. Parte inferior: dibujo reciente de una parte de ellas. Yacimiento de El Villar-Poyales (Enciso).

les hubiera apuntado ninguna hipótesis. Las interpretaciones diferentes implican que no había comunicación entre los pueblos con icnitas.

Primeros años

La primera vez que aparecen publicadas las impresiones como huellas de dinosaurio parece ser que es en la década de los sesenta, probablemente hacia finales de la misma, en un periódico (El correo español-El pueblo vasco). Desde entonces, en la prensa, y con frecuencia cada vez mayor, salen artículos y reseñas sobre las pisadas.

A pesar del número tan grande de puntos con icnitas y de las obras dedicadas a la

Geología en La Rioja, fue en 1971, en la revista Acta Geológica Hispánica, cuando apareció el primer artículo científico sobre algunos yacimientos del entorno de Enciso (figura 1). Lo firmaron los doctores Santafé y Casanovas, del Instituto de Paleontología de Sabadell, que así daban cuenta del trabajo iniciado en 1968 sobre los descubrimientos del Sr. Blas Ochoa, Estudiaron dos yacimientos que hoy se llaman La Cuesta de Andorra y el Villar-Poyales. Dieron nombre a las huellas según los dinosaurios que entonces se suponían que las habían causado: Megalosaurus e Iguanodon (figura 1). Encontraron 19 huellas del primer género y 12 del segundo. Más adelante, en 1974, publicaron su segundo trabajo en el que describieron varias pisadas de las 28 que hallaron en dos nuevos yacimientos

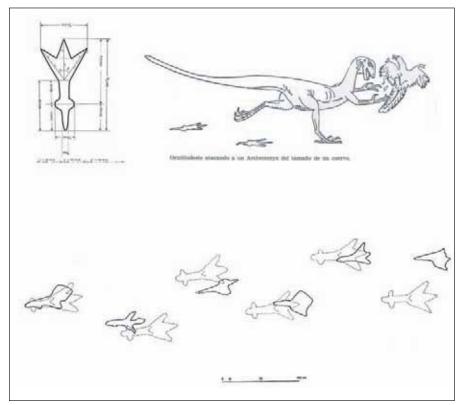


Figura 2. Rastrillada semiplantígrada del Barranco de la Sierra del Palo (Enciso). La primera interpretación (punteada) y los dibujos de la parte superior son de 1979.

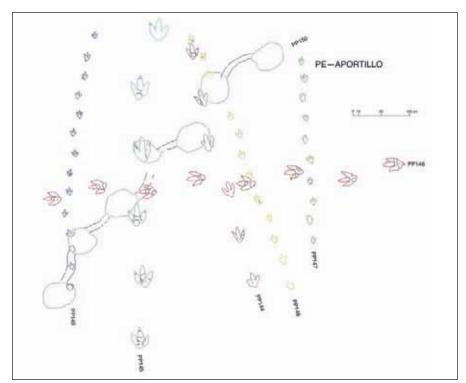


Figura 3. PP150. Marca dejada por la cola de un dinosaurio ornitópodo. Yacimiento de Peñaportillo (Munilla).

(Barranco de Valdecevillo y Gilera). Todos los lugares están en el término municipal de Enciso.

Hasta el año 1980 quedó interrumpido el trabajo hecho por titulados, lo cual no

quiere decir que personas con inquietudes —que buscaron paliar la falta de atención por parte de centros oficiales de la cultura y de la investigación— no intentaran investigar sobre un tipo de fósiles tan "interesantes" (figura 2).

La etapa siguiente la marca un equipo muy productivo, que hizo aportaciones notables tanto de hechos de observación (impresiones de la cola, andar varo -figuras 3 y 4-) como de interpretaciones (gregarismo - figura 5-). Las determinaciones de icnogéneros las hicieron con más cautela aunque trataron de correlacionar las pisadas y los dinosaurios que las pudieron causar. El número de nuevos yacimientos y el de icnitas cartografiadas se dispara en esta etapa. En 1981, un grupo de vecinos de Poyales y Navalsaz hizo un dinosaurio de yeso, que fue la primera de las reproducciones colocadas en La Rioja (figura 6).

Desde el año 1985, son dos los equipos que publican asiduamente sobre los yacimientos de La Rioja. Por los títulos se advierte que la mayor parte de las publicaciones son descriptivas, puesto que dan referencia de los nuevos yacimientos y las huellas encontradas en ellos. Hay también algunas obras de divulgación dirigidas a lectores no especializados.

Algo más que descripción

Las aportaciones y el análisis de los datos ofrecidos por huellas y rastrilladas, iniciados a partir de 1979, van haciéndose notorios en el transcurso de los años siguientes. Se hacen estudios estadísticos sobre la dirección de marcha de los dinosaurios y sobre la importancia taxonómica de las medidas hechas sobre las icnitas. La presencia de varios grupos de trabajo tiene sus consecuencias. Surge la polémica sobre el estudio hecho por un equipo sobre el yacimiento de Valdebrajes ya publicado por otro, al que no citan (figura 5).

En 1998, se estudia la primera rastrillada de dinosaurio saurópodo en España (figura 7) y las huellas dejadas por un grupo familiar de ornitópodos (figura 8). Se describen, por primera vez en España, una rastrillada de un dinosaurio ornitópodo de andar cuadrúpedo y las marcas de una manada de saurópodos (figura 9). En este tiempo se descubren también huellas de aves y de tortugas y se describen dos tipos de marcas de pies con membrana interdigital, que originan dos nuevos



Figura 4. Sector de una rastrillada ornitópoda de andar varo. La Canal (Munilla).

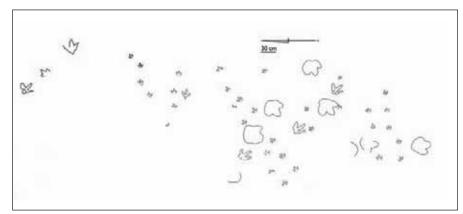


Figura 5. Gregarismo en un grupo de 8 o 9 dinosaurios pequeños. Barranco de Valdebrajes (Cervera del Río Alhama).



Figura 6. La primera reproducción colocada en La Rioja. Dinosaurio carnívoro de yeso hecho por vecinos de Poyales y Navalsaz.

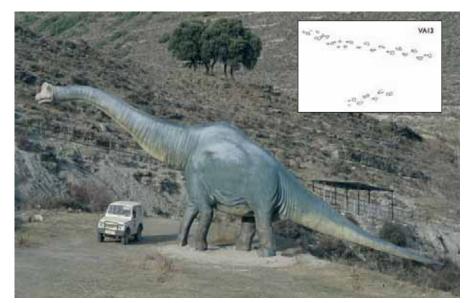


Figura 7. Primera rastrillada saurópoda descrita en España (dibujo superior) y reproducción (fotografía) de un braquiosaurio en forma amblar de marcha. Barranco de Valdecevillo (Enciso).

icnogéneros Hadrosaurichnoides (figura 10) y Theroplantigrada (figura 11) presentados en dos congresos y publicados oficialmente en el año 1993.

Durante el lustro siguiente continúan saliendo nuevos yacimientos, se perfeccionan las técnicas de medida (figura 12) y se van haciendo más aportaciones al registro y al conocimiento científico. Se inicia la restauración de yacimientos (figura 13). Se pueden destacar, además de los descriptivos, los siguientes trabajos:

- El hallazgo de las huellas dejadas por una manada de ornitópodos bípedos (figura 14).
- La aplicación de la fotogrametría al estudio de las icnitas (figura 15).
- El estudio sistemático de las icnitas semiplantígradas (figura 2).
- La lectura de la primera tesis doctoral sobre huellas de dinosaurio de La Rioja.
- La influencia de una barrera natural en el comportamiento de los dinosaurios (figura 16).
- Los datos obtenidos del análisis estadístico de 208 pistas de dinosaurios carnívoros y de sus huellas impresas en los yacimientos de La Rioja conocidos en esa fecha.
- El análisis de la variación de velocidad de marcha (figura 17).
- El sistema para encontrar el tipo de andar de dinosaurios cuadrúpedos.

Se establece un método objetivo de valoración numérica de los yacimientos de icnitas teniendo en cuenta su contenido científico



Figura 8. Grupo de tres rastrilladas ornitópodas (dibujo inferior) que se han atribuido a una familia de iguanodontes, y reproducciones a escala de los mismos. Barranco de Valdecevillo (Enciso).



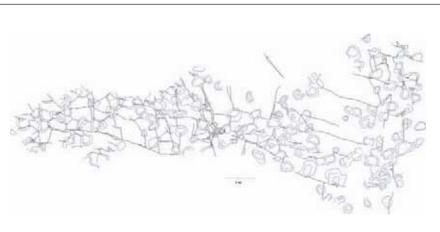


Figura 9. Fotografía de un sector y cartografía de las huellas dejadas por una manada de saurópodos. Yacimiento Soto 2. (Soto de Cameros).

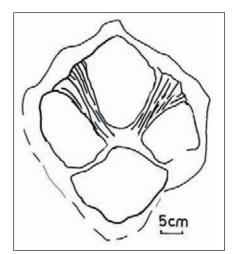




Figura 10. Hadrosaurichnoides igeensis. Huella omitópoda con membrana interdigital. Izquierda: holotipo; derecha: paratipo. Yacimiento de la Era del Peladillo (Igea).

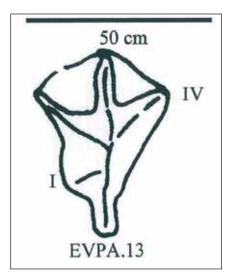




Figura 11. Theroplantigrada encisensis. Huella terópoda semiplantígrada con membrana interdigital. Yacimiento El Villar-Poyales (Enciso).

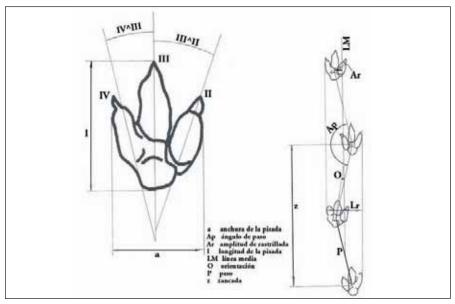


Figura 12. Medidas que se realizan sobre cada huella y cada tres pasos de una rastrillada.

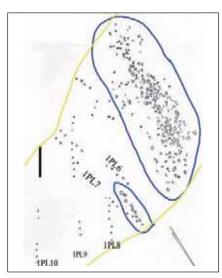


Figura 14. Manada de dinosaurios ornitópodos bípedos (encerrada en azul) y dos grupos (de dos y de tres individuos) de dinosaurios terópodos. Yacimiento de la Era del Peladillo 1 (Igea).

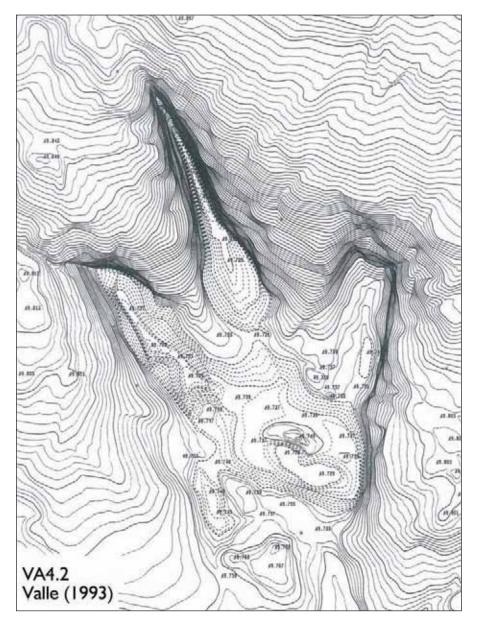


Figura 15. Cartografía fotogramétrica de la icnita VA4.2 (Barranco de Valdecevillo. Enciso).

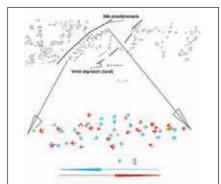


Figura 16. Paso de pequeños dinosaurios carnívoros por un canal producido por una deformación .sinsedimentaria (falla y deslizamiento del estrato) que borra las huellas existentes en el barro deslizado y forma una barrera natural. Yacimiento de la Era del Peladillo 3 (Igea).

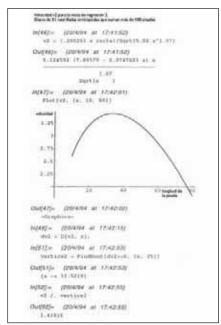


Figura 17. Muestra de análisis de velocidad de marcha. Obsérvese que la mayor velocidad corresponde a dinosaurios cuya longitud del pié oscila alrededor de 35 cm.



Figura 13. Restauración del nivel 4LVC (Enciso). El borde de la capa se ve cementado con mortero que evita su fragmentación.



Figura 19. Estado del yacimiento 1PL antes y después de la restauración de una parte del mismo (foto superior e inferior).

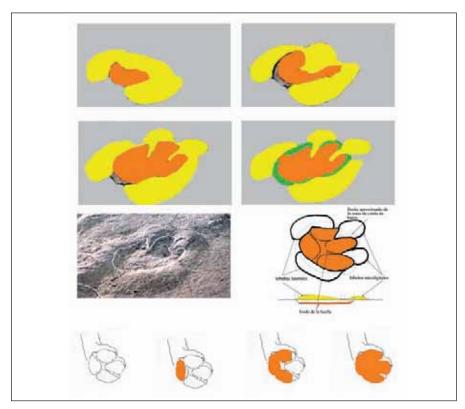


Figura 20. Apoyo del pie (rojo) barro expulsado (amarillo; rebabas y extruido entre los dedos) y barro caído hacia el interior de la huella al levantarse el pie (verde). Yacimiento del Contadero (Torremuña).













Figuras 18-1 a 18-6. Un yacimiento desde su descubrimiento —de arriba a abajo— hasta la toma de datos para su cartografía. Las Losas (Enciso).

Los últimos seis años

Se continúa con la descripción de los nuevos yacimientos encontrados, los cuales van sumando afloramientos y huellas con frecuencia mantenida (figura 21). La mayor parte de la información se obtiene gracias a los campos de trabajo iniciados en el año 1980 (figuras 18-1 a 18-6).

Se aprecia el aumento de los artículos publicados relativos a la restauración de los yacimientos. La restauración es una preocupación normal porque el seguimiento de los más de 100 puntos (figura 22) que, lógicamente, están a la intemperie, es suficiente para apreciar la degradación progresiva de los mismos (figura 19).

Otra vía de estudio a la que se dedica atención en estos años es a la influencia de agentes externos a la forma del pie de los dinosaurios en la forma de las impresiones fosilizadas. Una pisada es el resultado de la interacción de un pie y el suelo. Su estructura final depende, por tanto, de la forma del autopodio, de la conducta del dinosaurio, del comportamiento del barro durante e inmediatamente después de que el pie deje su contacto con el suelo (figura 20) y de la deformación posterior de la roca.

Conclusión y agradecimiento

Las huellas de dinosaurio de La Rioja han impulsado el desarrollo de actividades científicas y culturales. Por una parte las relacionadas con su estudio científico que comprenden: descripción de los yacimientos y análisis de su contenido. Por otra parte la divulgación de información para los visitantes atraídos por el reclamo que es la mitología asociada a estos animales fósiles.

Para el estudio y reproducción gráfica de los conjuntos de huellas ha sido necesario preparar métodos de trabajo apropiados.

La peculiaridad, el estado de conservación y la afluencia de visitantes han conducido a la declaración de los yacimientos como elementos patrimoniales y a la

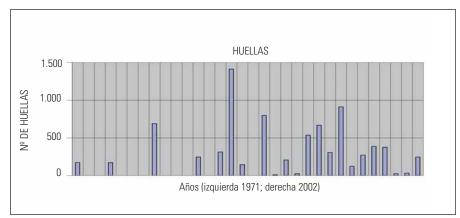


Figura 21. Histograma de huellas descritas por año desde 1971 hasta 2002.

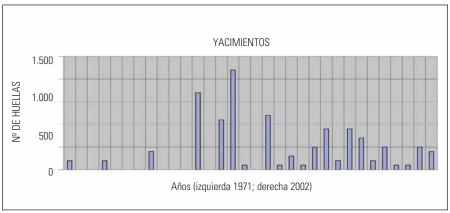


Figura 22. Histograma del número de yacimientos descritos por año desde 1971 hasta 2002.

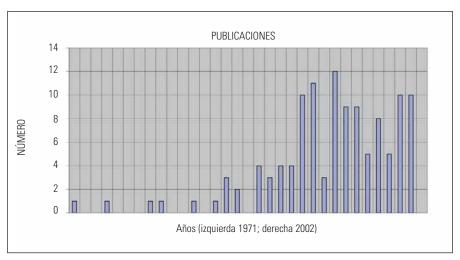


Figura 23. Histograma del número de trabajos publicados desde 1971 hasta 2002.

preocupación por su protección legal y física.

Es de destacar la labor divulgativa y de acondicionamiento del medio para trasmitir a los visitantes un nivel de información adecuado y proporcionar recorridos fáciles. El Centro Paleontológico de Enciso y las reproducciones de dinosaurios a tamaño natural, son ejemplos de tal labor.

Quiero agradecer a Susana Caro las correcciones hechas al manuscrito original.

Bibliografía

Se ha dividido la bibliografía en apartados según años. El primer grupo está formado por los trabajos antiguos, anteriores a 1990, mencionados en los antecedentes. En ninguna de estas publicaciones se citaron las pisadas de dinosaurio, probablemente debido a las razones expuestas. El resto de trabajos están agrupados en intervalos de cinco años.

La evolución y el número de publicaciones sobre icnitas de La Rioja está representada también en la figura 23.

Anteriores a 1900

ARÁNZAZU, P..M. (1887): "Apuntes para una descripción físico-geológica de las provincias de Burgos, Logroño, Soria y Guadalajara Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 4, pp. 1-47.

CALDERÔN, S. (1886): "Sur le terrain Wealdien du Nord de l'Espagne". Bulletin de la Societé Geologique de France, 3e serv., pp. 405-407. EGOZCUE, J. (1875): "Nota acerca de la constitución geológica del suelo de Arnedillo y explicación de un accidente que se supuso volcánico". Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, II, pp. 241.

EZQUERRA DEL BAYO (1850): "Descripción geológica del terreno donde surgen las aguas termales de Fitero, en Navarra. Boletín Oficial de Minas y Comercio, 106, p. 79.

PALACIOS, P., SÁNCHEZ LOZANO, R. (1885): "La formación Wealdense en las provincias de Soria y Logroño". Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 12-VII, pp. 109-140.

SÁNCHEZ LOZANO, R. (1884): "Descripción física, geológica y minera de la provincia de Logroño". Memoria de la Comisión del Mapa Geológico de España, 18, 548 pp.

URRUTIA, L. (1878): "Datos geológico mineros de la provincia de Logroño". Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, V, p. 315.

1971-1975

CASANOVAS, L., SANTAFÉ, J.V. (1971): "Icnitas de reptiles mesozoicos en la provincia de Logroño". Act. Geol. Hisp. (5), pp. 139-142. CASANOVAS, L., SANTAFÉ, J.V. (1974): "Dos nuevos yacimientos de icnitas reptiles mesozoicos en la región de Arnedo". Act. Geol. Hisp. (3), pp. 88-91.

1975-1980

BRANCAS, R., MARTÍNEZ, J., BLASCHKE, J. (1978): "Huellas de dinosaurio en Enciso". G. de Berceo. Diputación Logroño (2), pp. 1-96. VIERA, L.I., TORRES, J.A. (1979): "El Weáldico de la zona de Enciso (Sierra de los Cameros) y su fauna de grandes reptiles". Munibe (31), pp. 141-157.

1980-1985

VIERA, L.I., AGUIRREZABALA, L.M. (1982): "El Weald de Munilla (La Rioja) y sus icnitas de dinosaurios". Munibe (34), pp. 245-270. AGUIRREZABALA, L.R., TORRES, J.A., VIERA, L.J. (1985): "El weald de Igea (Cameros-La Rioja). Sedimentología, biostratigrafía y paleoicnología de grandes reptiles (Dinosaurios)". Munibe (37), pp. 111-118.

CASANOVAS, L., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., FERNÁNDEZ, A. (1985): "Nuevos datos icnológicos del Cretácico inferior de la Sierra de Cameros (La Rioja)". Paleont. Evol. (19), pp. 3-18.

SANZ, J.L., MORATALLA, J.J., CASANOVAS, M.L. (1985): "Traza icnológica de un dinosaurio iguanodóntido en el Cretácico inferior de Cornago (La Rioja, España)". Est. Geol. (41), pp. 85-91.

1985-1990

MARTÍN ESCORZA, C. (1986): "Las icnolineaciones de dinosaurios wealdenses en Enciso-Navalsaz". Zubía (4), pp. 33-43. PÉREZ-LORENTE, F., FERNÁNDEZ, A., URUÑUELA, L. (1986): Pisadas fósiles de dinosaurio. Algunos ejemplos de Enciso. Gobierno de La Rioja. Consejería de Educación, Cultura y Deporte, pp. 1-34.

MARTÍN ESCORZA, C. 1988): "Orientación de las icnitas en el valle del Cidacos (La Rioja)". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Actas (84), pp. 32-34. MORATALLA, J., SANZ, J., JIMÉNEZ, S. (1988): "Nueva evidencia icnológica de dinosaurios en el Cretácico inferior de La Rioja (España)". Est. Geol. (44), pp. 119-131.

MULAS, E., JIMÉNEZ, S., MARTÍN, S., JIMÉNEZ, E. (1988): "Columna estratigráfica del yacimiento de icnitas de dinosaurios del Cretácico Inferior de Cornago (La Rioja)". Stvdia Geol. Salmanticiensa (25), pp. 161-168.

PÉREZ-LORENTE, F. (1988): "Huellas de dinosaurio en el Wealdiense del Grupo de Enciso". III Col. Estr. Paleogeogr. Jur. Esp., Cienc. Tierra, I.E.R. (11), pp. 309-314.

CASANOVAS, L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1989): "Huellas de dinosaurio de La Rioja. Yacimientos de la Virgen del Campo, La Senoba y Valdecevillo", Cienc. Tierra., I.E.R. (12), pp. 1-190.

CASANOVAS, L., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1989): "Huellas de dinosaurio en Valdenocerillo (Cornago, La Rioja, España)". Zubía (7), pp. 29-35.

MORATALLA, J., SANZ, J., MELERO, I., JIMÉNEZ, S. (1989): "Yacimientos Paleoicnológicos de La Rioja (Huellas de dinosaurios)". Iberduero, pp. 1-95.

CASANOVAS, L., EZQUERRA, M., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1990): "Huellas de dinosaurio en Soto de Cameros. La Rioja (España)". Zubía (8), pp. 49-71.

CASANOVAS, L., EZQUERRA, M., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1990): "Huellas de dinosaurio en San Vicente de Robres. La Rioja (España)". Zubía (8), pp. 33-47.

DÍAZ, E., PINA, C.M., PONCE, P. (1990): "Estudio de unas trazas icnológicas en el Cretácico inferior de San Vicente de Robres (La Rioja)". Geogaceta. (7), pp. 78-81.

PÉREZ-LORENTE, F. (1990): "Excavaciones sobre icnitas de dinosaurio en Enciso e Igea (La Rioja)". Estrato (2), pp. 47-50.

1991-1995

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1991): "Huellas de dinosaurio en el camino de Igea a Valdebrajes (La Rioja, España)". Zubía (9), pp. 89-111.

CASANOVAS, L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1991): "Dinosaurios coelúridos gregarios en el yacimiento de Valdebajes (La Rioja, España)". Rev. esp. de Paleont. (6), pp. 177-189.

CASANOVAS, M.L., PÉREZ-LORENTE, F., RUIZ, M., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1991): "Terópodos carnosaurios en la Virgen del Campo II. Enciso (La Rioja, España)". Zubía (9), pp. 113-126.

PÉREZ-LORENTE, F. (1991): "Excavaciones en Enciso", *Igea y Munilla*. Estrato (3), pp. 9-11.

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1992): "Revisión del yacimiento Icnitas 3 de huellas de dinosaurio (Enciso, La Rioja. España)". Zubía (10), pp. 31-44

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1992): "Un grupo de saurópodos en el yacimiento Soto 2. La Rioja (España)". Zubía (10), pp. 45-52.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1992): "Icnitas de dinosaurios en Valdevaies (La Rioia)", Nota de contrarréplica. Rev. Esp. Pal. (7), pp. 97-99.

MARTÍN, C. (1992): "Gregarismo y dinosaurios. Cartas al editor". Rev. Esp. Pal. (7), pp. 97.

MORATALLA, J.J., SANZ, J.L. (1992): "Icnitas aviformes en el yacimiento del Cretácico inferior de Los Cayos (Cornago, La Rioja, España)". Zubía (10), pp. 153-160.

MORATALLA, J.J., SANZ, J.L., JIMÉNEZ, S. (1992): "Hallazgo de nuevos tipos de huellas en La Rioja". Estrato (4), pp. 63-66.

MORATALLA, J.J., SANZ, J.L., JIMÉNEZ, S., LOCKLEY, M.G. (1992): "A quadrupedal ornithopod trackway from the lower cretaceous of La Rioja (Spain): inferences on gait and hand structure". Jr. Vert. Pal. (12, 2), pp. 150-157.

PÉREZ-LORENTE, F. (1992): "Trabajos sobre icnitas en Igea, Munilla y Enciso". Estrato (4), pp. 59-62.

PÉREZ-LORENTE, F. (1992): "¿Icnitas de dinosaurio?". Tierra y tecnología (11), pp. 29-33.

VIERA, L.I., TORRES, J.A. (1992):" Sobre Dinosaurios coelúridos gregarios en el yacimiento de Valdevajes (La Rioja, España)". Nota de réplica y crítica. Rev. Esp. Pal. (7), pp. 93-96.

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1993): "Huellas de dinosaurios palmeados y de terópodos en la Era del Peladillo, Igea (La Rioja)". Zubía (11), pp. 11-53.

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1993): "Tracks of a herd of webbed ornithopods and other footprints found in the same site". Revue de Paléobiologie (7, vol. sp.), pp. 29-36.

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1993): I"cnitas de dinosaurios.

Yacimientos de Navalsaz, Las Mortajeras, Peñaportillo, Malvaciervo y la Era del Peladillo 2". Zubía mon. (5), pp. 9-133.

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1993): "Icnitas digitígradas y plantígradas de dinosaurios en el afloramiento de El Villar-Poyales (La Rioja. España)". Zubía mon. (5), pp. 135-163.

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1993): "Dos nuevos yacimientos de icnitas de dinosaurios en La Rioja y en la provincia de Soria". Colq. Paleont. (47), pp. 9-23.

MORATALLA, J.J. (1993): "Restos indirectos de dinosaurios del registro español: paleoicnología de la Cuenca de Cameros (Jurásico superior-Cretácico inferior) y paleoología del Cretácico superior. Tesis Univ. Autónoma". Mem. inéd. Madrid.

MORATALLA, J.J., SANZ, J.L., JIMÉNEZ, S. (1993): "Nuevos hallazgos de icnitas de dinosaurios en Préjano e Inestrillas". La Rioja. Estrato (5), pp. 75-76.

PÉREZ-LORENTE, F. (1993): "Excavaciones en Enciso, Igea y Munilla". Estrato (5), pp. 77-79.

PÉREZ-LORENTE, F. (1993): "Dinosaurios plantígrados de La Rioja". Zubía mon. (5), pp. 181-228.

PÉREZ-LORENTE, F. (1993): "Huesos de dinosaurio en Préjano". Estrato (5), p. 80.

VALLE, J.M. (1993): "Metodología y resultado del levantamiento por fotogrametría terrestre del yacimiento de huellas de dinosaurio de Valdecevillo en Enciso (La Rioja)". Zubía mon. (5), pp. 165-186.

HERNÁN, F.J. (1994): "Estudio estratigráfico y paleontológico de las formaciones con icnitas de dinosaurio de la Cuenca de Cameros (La Rioja)". Esc. Téc. Sup. Ing. Min. Mem. inéd. 209 pp. Madrid.

MORATALLA, J.J., GARCÍA-MONDÉJAR, J., SANTOS, V.F., LOCKLEY, M.G., SANZ, J.L., JIMÉNEZ, S. (1994): "Sauropod trackway from the Lower Cretaceous of Spain". Gaia (10), pp. 75-83.

PÉREZ-LORENTE, F. (1994): "Icnitas en Enciso, Igea y Munilla". Estrato (6), pp. 94-95.

CARO, S., FUENTES, C., MEIJIDE, M., PÉREZ-LORENTE, F. (1995): "Una rastrillada nueva de ornitópodo encontrada en el Barranco de la Muga (Soria-La Rioia, España)". Ciencias Tierra (18), pp. 25-26.

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., MONTERO, D., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F., VIERA, L.V. (1995): "El yacimiento de La Canal (Munilla, La Rioja. España). La variación de velocidad en función del tamaño del pie de los ornitópodos". Zubía

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1995. Huellas de dinosaurio en la Era del Peladillo 3. Primera nota. Zubía (13), pp. 83-101.

CASANOVAS, M.L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1995): "Huellas de dinosaurio en el yacimiento Soto 3. La Rioja (España)". Ciencias Tierra, I.E.R. (18), pp. 27-32.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., ONDIVIELA, M.C, PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., SERRANO, M.R. (1995): "El rastro del barranco de Acrijos (Cornago, La Rioja. España)". Ciencias Tierra (18), pp. 15-16.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1995): "Un terópodo carnosaurio en el camino a Treguajantes (La Rioja, España)". En: Huellas fósiles de dinosaurios de La Rioja, Nuevos yacimientos, Coord, F. PÉREZ-LORENTE, Ciencias Tierra (18), pp. 13-14.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1995): "Icnitas terópodas y saurópodas en La Cela, Muro en Cameros (La Rioja. España). En: Huellas fósiles de dinosaurios de La Rioja: Nuevos yacimientos. Coord. F. PÉREZ-LORENTE. Ciencias Tierra

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1995); "Icnitas de terópodos y saurópodos del vacimiento de Las Navillas (La Rioja. España)". En: Huellas fósiles de dinosaurios de La Rioja. Nuevos yacimientos. Coord. F. PÉREZ-LORENTE. Ciencias Tierra (18), pp. 33-44.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1995): "Dinosaurios terópodos del yacimiento de Munilla (La Rioja. España)". En: Huellas fósiles de dinosaurios de La Rioja. Nuevos yacimientos. Coord. F. PÉREZ-LORENTE. Ciencias Tierra (18), pp. 53-57.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1995): "La Era del Peladillo 4 (La Rioja. España)". En: Huellas fósiles de dinosaurios de La Rioja. Coord. F. PÉREZ-LORENTE. Ciencias Tierra (18), pp. 45-52.

CASANOVAS, M.L., SANTAFÉ, J.V. (1995): "Icnitas de La Rioja". Investigación y Ciencia, pp. 6-12.

PÉREZ-LORENTE, F. (1995): "Huellas de dinosaurio en La Rioja. Actividades del verano 1955". Estrato (7), pp. 119-122.

1996-2000

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1996): "Itinerario por pisadas de dinosaurio en los alrededores de Enciso". En: Excursiones Geológicas por La Rioja. Coord. F. PÉREZ-LORENTE. Ciencias Tierra (19), pp. 89-100.

CASAS, A., CASTILLO, E., GIL, J., MATA, M.P., MUÑOZ, A., PÉREZ-LORENTE, F. (1996): "Itinerario geológico por el valle del Cidacos". Ciencias Tierra (19), pp. 59-87.

MELÉNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F. (1996): "Comportamiento gregario aparente de dinosaurios condicionado por una deformación sinsedimentaria (Igea, La Rioja. España)". Estudios Geológicos (52), pp. 77-82

MORATALLA, J.J., SANZ, J.L., JIMÉNEZ, S. (1996): "Nuevos yacimientos en Aldeanueva de Cameros y en Trevijano". Estrato (7), pp. 111-113.

PÉREZ-LORENTE, F. (1996): "Pistas terópodas en cifras". Zubía (14), pp. 37-55.

PÉREZ-LORENTE, F. (1996): "Determinación y análisis de icnitas de dinosaurio". Enseñanza Cienc. Tierra (4, 2), pp. 100-106.

PÉREZ-LORENTE, F. (1996): "Huellas de dinosaurio de La Rioja. Actividades del verano 1995". Estrato (7), pp. 119-122.

TORCIDA, F. (1996): "Actividad didáctica de geología de campo. La Era del Peladillo (Igea)". En: Excursiones geológicas por La Rioja. Coord. F. PÉREZ-LORENTE. Ciencias Tierra (19), pp. 43-57.

VIERA, L.I., TORRES, J.A. (1996): "Nuevos datos paleontológicos en el área de Hornillos de Cameros. Estrato (7), pp. 114-118.

CARO, S., PAVÍA, S., PÉREZ-LORENTE, F. (1997): "Los yacimientos con huellas de dinosaurio de La Rioja". En: Patrimonio Geológico de España. L. Pallí y J. Carreras, pp. 15-18.

CARO, S., PÉREZ-LORENTE, F. (1997): "Concepto y valoración del patrimonio paleoicnológico de La Rioja". Zubía (15), pp. 35-38.

CARO, S., PÉREZ-LORENTE, F. (1997): "Definición de concepto y propuesta de valoración del patrimonio paleoicnológico (pisadas de dinosaurio) de La Rioja, España". Zubía (15), pp. 39-43.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1997): "Sauropod trackways from site El Sobaquillo (Munilla, La Rioja, Spain) indicate amble walking". Ichnos (5), pp. 101-107.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V., TORCIDA, F. (1997): "Pisadas de ornitópodos, terópodos y saurópodos en la Era del Peladillo, 5 (La Rioja. España)". Zubía (15), pp. 229-246.

MORATALLA, J.J., SANZ, J.L., JIMÉNEZ, S. (1997): "Acondicionamiento de los yacimientos paleoicnológicos riojanos". Estrato (8), pp. 98-102. MORATALLA, J., SANZ, J., JIMÉNEZ, S. (1997): "Dinosaurios en La Rioja. Guía de yacimientos paleoicnológicos". Gob. de La Rioja e Iberdrola., 175 pp.

PÉREZ-LORENTE, F. (1997): "Huellas de dinosaurio de La Rioia, Restauración de vacimientos", Estrato (8), pp. 103-106.

PÉREZ-LORENTE, F. (1997): "Restauración de yacimientos con huellas fósiles de dinosaurio". Estrato (9), pp. 100-104.

CARO, S. (1998): "Supervisión paleoicnológica de los trabajos en la obra de ensanche y mejora de la carretera LR-356 de la LR-115 a la LR-123 por Rincón de Olivedo. Tramo Enciso-Navalsaz (La Rioja)". Estrato (9), pp. 105-110.

CARO, S., PAVIA, S. (1998): "Alteración y conservación de los yacimientos de huellas de dinosaurio de La Rioja. 'La Virgen del Campo' (Enciso) y la 'Era del Peladillo' (Igea)". Zubía (16), pp. 199-232.

CARO, S., PÉREZ-LORENTE, F. (1998): "El patrimonio paleoicnológico de La Rioja. Propuesta de restauración". IV Congreso Internacional de rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. Cuba, pp. 224-226.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, J.V. (1998): "Ocho nuevos yacimientos de huellas de dinosaurio". Zubía (16), pp. 117-152.

PÉREZ-LORENTE, F. (1998): "Trabajos de restauración, mantenimiento y limpieza en los yacimientos de la Era del Peladillo 5, La Virgen del Campo y Las Losas". Estrato (10), pp. 85-90.

BLANCO, M.I., CARO, S., LÓPEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., REQUETA, E., ROMERO-MOLINA, M. (1999): "The Las Losas paleoichnological site". IV European worksh. vert. paleont. (Abstr.), pp. 26.

BLANCO, M.I., CARO, S., PÉREZ-LORENTE, F., REQUETA, E., ROMERO-MOLINA, M. (1999): "Paleo-ichnological sites in La Rioja: some examples in Enciso, Igea and Munilla". En: The Geological and Paleontological Heritage of Central end Eastern Iberia (Iberian Range, Spain). Seminario de Paleontología de Zaragoza (4), pp. 51-74.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., ROMERO-MOLINA, M.M., SANTAFÉ, J. (1999): "Empreintes de dinosaures dans la Rioja. Dinosaurs in the Mediterranean". Revue Editée par la Cité des Sciences à Tunis. Almadar (11), pp. 109-132.

MORATALLA, J.J., SANZ, J.L., JIMÉNEZ, S. (1999): "Nuevos hallazgos de pterosaurios y dinosaurios en el Cretácico inferior de La Rioja". Estrato (10), pp. 91-96.

PÉREZ-LORENTE, F. (1999): "Restauración, mantenimiento en los yacimientos de la Era del Peladillo 1 y 5 (Igea) La Virgen del Campo y Las Losas(Enciso) y Peñaportillo (Munilla). Prospección en la Escurquilla y en el camino de Hornillos a Larriba. Limpieza y estudio del yacimiento del Contadero (Torremuña)". Estrato (11), pp. 98-102.

PÉREZ-LORENTE, F. (1999): Il Cretácico di La Rioja. Storia naturale d'Europa. G. Pinna Jaca Book, pp. 161-165.

PÉREZ-LORENTE, F. (1999): "Patrimonio y valoración de yacimientos paleontológicos". IV Sesión científica de la Sociedad para la defensa de Patrimonio Geológico y Minero, pp. 5-18.

REQUETA, E. (1999): "Obtención y análisis de imágenes en tres dimensiones de huellas de dinosaurio". Temas Geológico Mineros (26), pp. 481-483.

BLANCO, M.I., CARO, S., PÉREZ-LORENTE, F., REQUETA, E., ROMERO-MOLINA, .M. (2000): "El yacimiento de icnitas de dinosaurio del cretácico inferior de Las Losas (Enciso, La Rioja. España)". Zubía (18), pp. 97-138.

CARO, S., PAVIA, S., PÉREZ-LORENTE, F., RORMEO-MOLINA, M. (2000): "Restauración y conservación de yacimientos de huellas de dinosaurio de La Rioja (España)". Método de trabajo. En Quarry-Laboratory-Monument. International Congress-Pavia 2000 (1), pp. 219-224. PÉREZ-LORENTE, F. (2000): "Experiencias de Geoconservación en La Rioja". En: Patrimonio Geológico y Gestión. BARETTINO, D.,

WIMBLEDON, W.A.P. Y GALLEGO, E. (EDS.) Instituto Tecnológico y Geominero de España, pp. 179-196.

PÉREZ-LORENTE, F., ROMERO-MOLINA, M., PEREDA, J.C. (2000): "Icnitas ornitópodas de El Contadero (Torremuña, La Rioja, España)". Tomo homenaje a J. L. Fernández Sevilla y M. Balmaseda Apóspide. IER, pp. 17-28.

ÁLVAREZ, S., ARAGÓN, E., AXOFRA, S., BARRAU, J., BENZAL, M.P., BERGER.S.J., CAMARÓN, J.M., CATALÁN, I., CODA, A., CLOMÉ, L., GALLEGO, E., GARRIDO, A., GONZALO, M., HERNÁEZ, A., DEL HOYO, P., LÓPEZ, S., LORENTE, N., MADARIGA, F.J., MARÍN, M.E.,

MARÍNEZ, D., MENÉNDEZ, J., MONEO, A., PÉREZ, J., RODRÍGUEZ, A., SÁENZ, V., SÁENZ, M.E., SÁENZ, M., TORRÓNTEGUI, I., YANGUAS, M., ZORZANO, C. 2000): "El yacimiento de huellas de dinosaurios de Hornillos de Cameros (La Rioja. España)". Zubía (18), pp. 73-95.

2001-2002

AGUIRRE, J., ARAMBURU, E., CAMPOS, E., GALLEGO, M., GARRITZ, A., GÓMEZ CUBILLO, I., GÓMEZ DÍEZ, R., GONZÁLEZ DÍAZ, A., GONZÁLEZ FERRERO, C., GONZÁLEZ MARTÍN, P., HERREROS, C., IZCO, M., JUANIZ, I., LÓPEZ, S., MARCA, C., MARÍN, M., MONREAL, J., OCHOA, M., OSÉS, E., RAMOS, A., RODRÍGUEZ, A., SÁNCHEZ, F., SUESCUN, C., VEGA, L., VITERI, I. (2001): "Las anomalías de una rastrillada terópoda (6bLT16). Afloramiento de La Torre 6, Igea (La Rioja. España)". Zubía (19), pp. 97-13.

MARTIN ESCORZA, C. (2001): "Orientación de las icnitas de dinosaurios en la Sierra de Cameros". Zubía (19), pp. 139-163. PÉREZ-LORENTE, F. (2001): "Buscando la protección de los yacimientos de huellas de dinosaurio. Proyecto Icnitas de dinosaurio

de la Península Ibérica". Tierra y tecnología (22), pp. 25-30. PÉREZ-LORENTE, F. (2001): "Paleoicnología. Los dinosaurios y sus huellas en La Rioja. Apuntes para los cursos y campos de trabajo de verano". Cultural joven, Gobierno de La Rioja y Fundación Caja Rioja. 227 pp.

PÉREZ-LORENTE, F. (2001): "Buscando la protección de los yacimientos de huellas de dinosaurio. Proyecto Icnitas de dinosaurio de la Península Ibérica (idpi)". Tierra y tecnología (22), pp. 25-30.

PÉREZ-LORENTE, F., ROMERO-MOLINA, M. (2001): "Problemática de una zona con yacimientos de interés. Las huellas de dinosaurio de La Rioja (España)". I Jornadas Internacionales sobre paleontología de Dinosaurios y su entorno, pp. 163-174.

PEREZ-LORENTE, F., ROMERO-MOLINA, M.M. (2001): "Nuevas icnitas de dinosaurios terópodos y saurópodos en Galve y Miravete de la Sierra (Teruel. España)". Geogaceta. (30), pp. 115-118.

PÉREZ-LORENTE, F., ROMERO-MOLINA, M.M. (2001): "Icnitas terópodas del Cretácico inferior de La Rioja (España)". Zubía (19), pp. 115-138. PÉREZ-LORENTE, F., ROMERO-MOLINA, M., REQUETA, E., BLANCO, M., CARO, S. (2001): "Dinosaurios. Introducción y análisis de algunos yacimientos de sus huellas en La Rioja". Ciencias de la Tierra (24), pp. 1-102.

ROMERO-MOLINA, M., PÉREZ-LORENTE, F., RIVAS, P. (2001): "Estructuras asociadas con huellas de dinosaurio en La Rioja (España)". Zubía (19), pp. 61-96.

CARO, S., PAVIA, S., PÉREZ-LORENTE, F. (2002): "La intervención en la conservación de las huellas de dinosaurio de La Rioja (España)". Congreso internacional sobre dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España, PÉREZ-LORENTE, F. (COORD.). Resúmenes, p. 14. CARO, S., PÉREZ-LORENTE, F., REQUETA, E. (2002): "Estudio y restauración de yacimientos paleoicnológicos en Villoslada de Cameros (La Rioja, España)". Geogaceta (30), pp. 27-31.

EZQUERRA, R., PÉREZ-LORENTE, F. (2002): "Reptiles nadadores en el sector oeste del yacimiento 4LVC. La virgen del Campo (Enciso. La Rioja. España)". Congreso internacional sobre dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España, PÉREZ-LORENTE, F. (COORD.). Resúmenes, p. 16.

HERNÁNDEZ-MEDRANO, N., PÉREZ-LORENTE, F. (2002): "Un nuevo yacimiento de icnitas. La Ilaga (Terroba, La Rioja. España). Suelo flexible y rastrilladas paralelas". Congreso Internacional sobre Dinosaurios y otros Reptiles Mesozoicos en España, PÉREZ-LORENTE, F. (COORD.). Resúmenes, p. 27.

MORATALLA, J.J., SANZ, J.L., JIMÉNEZ, S., HERNÁN, J. (2002): "Icnitas de dinosaurios titanosáuridos en el Cretácico inferior de Los Cayos (Cornago, La Rioja. España)". Congreso internacional sobre dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España, PÉREZ-LORENTE, F. (COORD.). Resúmenes, p. 36.

PÉREZ-LORENTE, F. (2002): "Huellas de dinosaurio en el Cretácico de España. Congreso internacional sobre dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España", PÉREZ-LORENTE, F. (COORD.). Resúmenes, p. 41.

PÉREZ-LORENTE, F. (2002): "Aportaciones de los yacimientos de La Barguilla, Santisol y Santa Juliana (Hornillos de Cameros, La Rioja. España)". Congreso internacional sobre dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España, PÉREZ-LORENTE, F. (COORD.). Resúmenes,

PÉREZ-LORENTE, F., ROMERO-MOLINA, M., TORCIDA, F. (2002): "Spanish dinosaur footprints". DinoPress (7), pp. 106-115 (en japonés). ROMERO-MOLINA, M.M., PÉREZ-LORENTE, F., RIVAS, P. (2002): "Análisis de la parataxonomía utilizada con las huellas de dinosaurio". Congreso internacional sobre dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España, PÉREZ-LORENTE, F. (COORD.). Resúmenes. 52-53. SARJEANT, W.A.S, ROMERO-MOLINA, M.M., LÓPEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., REQUETA, E. (2002): "Algunas implicaciones de la orientación y características de las huellas terópodas digitígradas, semiplantígradas irregulares y con marcas de uña del yacimiento de Las Losas (La Rioja. España)". Congreso internacional sobre dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España, PÉREZ-LORENTE, F. (COORD.). Resúmenes, p. 63.

Otras

BLANCO ROCANDIO, B. (2003): "Los espántagos de Canales". Piedra de rayo (9), pp. 76-77.

Año	Esquema de actividades en el inte Actividades	ervalo 1960-2003
1960-1970		Noticias en periódicos.
1971		Primer estudio científico.
1976	Vallado alrededor de VA4 (Barranco de Valdecevillo).	
1978-1979		Inicio trabajo de campo por dos equipos.
1980		Inicio campos de trabajo en Enciso.
1981	Construcción de un dinosaurio de yeso en Poyales.	Campo de trabajo en Enciso.
1982-1983		Campo de trabajo en Enciso.
1984		Campos en Enciso y Cornago.
 1985	Colección de fósiles en Igea promovida desde la escuela.	Campos en Enciso y Cornago.
1986-1989		Campos en Enciso y Cornago.
1989	Colocación de una tejavana y vallado en Los Cayos A.	Campo de trabajo en Cornago.
1990	Obligatoriedad de solicitar permisos de investigación o de trabajo.	Campos en Enciso, Cornago e Igea.
1991	Instalación de un dinosaurio (Tarbosaurio) en el Barranco de Valdecevillo.	Campos en Enciso, Cornago e Igea. Inicio de los cursos universitarios
1001		verano en Enciso e Igea. Inicio de los ciclos de conferencias de Enciso
1992-1993		Campos en Enciso, Cornago e Igea. Siguen los cursos de verano y
1332-1333		las conferencias de Enciso.
 1994	Aprobación del Plan Especial de Protección de icnitas de La Rioja.	Campos en Enciso, Cornago e Igea. Duplicación del campo de Igea
1334	Aprobación del Fian Especial de Fretección de fontace de La moja.	Siguen los cursos de verano y las conferencias de Enciso.
1995		Campos en Enciso, Cornago e Igea. Duplicación del campo de Igea
		Siguen los cursos de verano y las conferencias de Enciso.
1996	Finalización del inventario de yacimientos de icnitas de La Rioja.	•
1330	i inalización del inventano de yacinhentos de icintas de La moja.	Campos en Enciso, Cornago e Igea. Duplicación del campo de Igea
		Siguen los cursos de verano y las conferencias de Enciso. Inicio de
1007	Aportura dal Cantra Palaontalágica da Engias, Asfaltado dal travasta	los trabajos de restauración de yacimientos.
1997	Apertura del Centro Paleontológico de Enciso. Asfaltado del trayecto Enciso-Navalsaz.	Campos en Enciso, Cornago e Igea. Duplicación del campo de Igea
1998	Tejavana sobre VA4 (Barranco de Valdecevillo), sobre 3l (El Villar-Poyales)	Siguen los cursos de verano y las conferencias de Enciso.
1990		Campos en Enciso, Cornago e Igea. Duplicación del campo de Igea
	y sobre un tronco fósil en Igea. Construcción de una vereda lateral en el	Siguen los cursos de verano y las conferencias de Enciso.
	Barranco de Valdecevillo. Inclusión del idpi en la lista indicativa de la	
1000	UNESCO. Creación de la Fundación Patrimonio Paleontológico de La Rioja.	
1999	Barandilla en el yacimientos del Barranco de Valdecevillo. Colocación de la	Campos en Enciso, Cornago e Igea. Duplicación del campo de Igea
	cubierta del yacimiento de Peñaportillo. Catalogación de los yacimientos	Siguen los cursos de verano y las conferencias de Enciso.
	inventariados. Incoación de expedientes de declaración de BIC de los	
2000	yacimientos de icnitas de dinosaurio de La Rioja. Creación de DINATUR.	
2000	Declaración de BIC con la denominación de Sitio Histórico de los yacimientos	Campos en Enciso, Cornago e Igea. Duplicación del campo de Igea
	de icnitas de dinosaurio de La Rioja. Inclusión de los yacimientos en el	Siguen los cursos de verano y las conferencias de Enciso.
	proyecto GEOSITES. Colocación de la familia de iguanodones del Barranco de	
	Valdecevillo.	
2001	Inicio de la elaboración de expediente para la solicitud de declaración de	Campos en Enciso, Cornago e Igea. Duplicación del campo de Igea
	Patrimonio Mundial del idpi. Colocación del dinosaurio de Igea y del	Siguen los cursos de verano y las conferencias de Enciso.
	Braquiosaurio e Iguanodon del Barranco de Valdecevillo. Colocación de	Prohibición de trabajos de excavación en yacimientos de icnitas de
	pasarela en La Virgen del Campo.	dinosaurio.
2002	Colocación de los dinosaurios de La Virgen del Campo (allosaurio e iguanodon),	Campos en Enciso, Cornago e Igea (2). Inicio de dos nuevos campo
	del estegosaurio de Peñaportillo y del iguanodon del Barranco de la Canal.	de trabajo en Hornillos de Cameros. Siguen los cursos de verano
		ampliados con el de Hornillos Siguen las conferencias de Enciso.
2003	Nuevo tramo de pasarela en La Virgen del Campo. Admisión de la candidatura	Campos en Enciso, Igea (2), Hornillos de Cameros (2). Cursos de
	y documentación del idpi a Patrimonio Mundial por la Comisión de Patrimonio	verano en Enciso, Hornillos de Cameros e Igea.
	Histórico Artístico.	

Aspectos singulares que aportan las huellas de dinosaurios de **La Rioja**

La Cuenca de Cameros es un lugar privilegiado en lo que respecta al contenido de huellas de dinosaurios. La Rioja tiene en la actualidad más de 130 yacimientos estudiados, con un número de icnitas superior a 9.000. Los vacimientos descubiertos destacan tanto en cantidad como en calidad y variedad, y su estudio, además de aportar datos de gran interés científico al registro icnológico mundial, ha permitido deducir formas del comportamiento de estos animales extintos que sólo a través de sus huellas ha sido posible conocer. Algunos de estos aspectos son a los que nos referimos en este artículo.

TEXTO I Nieves Hernández Medrano, geóloga.

Palabras clave Huellas de dinosaurio, La Rioja

Los dinosaurios formaron el grupo de vertebrados continentales más importante que vivió en el Mesozoico (230-65 m.a.). Los primeros restos datan del Triásico medio. Posteriormente, durante el Jurásico y Cretácico, evolucionaron y se diversificaron, se extendieron y finalmente se extinguieron al final del Cretácico superior. Sus restos han aparecido en todos los continentes con amplia distribución en todo tipo de ambientes, ocupando gran variedad de nichos ecológicos. Estos animales alcanzaron una elevada heterogeneidad en cuanto a formas, tamaños, estructuras y adaptaciones...

Los restos directos como huesos o dientes, nos muestran exclusivamente rasgos anatómicos del animal. Los restos indirectos: huellas de pisadas (icnitas) e impresiones de otras partes del cuerpo, marcas de dentelladas o de cornadas en huesos, nidos y huevos, gastrolitos (piedras ingeridas para ayudar en la digestión) y coprolitos (heces fecales fósiles), no forman parte del cuerpo del dinosaurio pero son vestigios de su actividad vital.

A partir de ellos se puede deducir cómo fue su respuesta ante ciertos estímulos, algunos aspectos de su conducta, costumbres, si eran solitarios o gregarios etc. La información que nos proporcionan es una importante ayuda complementaria para el estudio de los dinosaurios, pues suministra datos sobre aspectos biológicos (membranas, almohadillas, uñas...) o sobre la forma de alimentación y reproducción, detalles que serían imposibles de conocer a partir de los restos directos.

Cada huella fósil estudiada de forma individualizada, aporta información sobre la anatomía del pie que la originó (garras, impresiones tegumentarias, almohadillas digitales, forma del talón...), sin embargo, el estudio del conjunto de huellas del rastro de un solo individuo suministra datos sobre la locomoción, altura de la cadera, velocidad de desplazamiento, etc., y la asociación de rastros nos dan idea del comportamiento de varios individuos y sus relaciones entre sí.

Del estudio de los niveles estratigráficos que contienen a las icnitas, podemos



Figura 1. Yacimiento de Valdecevillo (Enciso). Rastro de tres icnitas terópodas bien marcadas

inferir información paleogeográfica y paleoambiental, o si existieron condicionantes del relieve que obligaban al paso de los animales por determinados lugares.



Figura 2. Esculturas de un grupo familiar situado en el barranco de Valdecevillo (Enciso).

El área geográfica en la que aparecen los yacimientos de icnitas en La Rioja se encuentra dentro de la Cuenca de Cameros, que comprende una vasta región que se extiende por las provincias de Burgos, Soria y La Rioja. Toda la cuenca está formada por enormes cantidades de sedimentos en facies Weald, en su mayor parte detríticos, que alternan con niveles calcáreos, que, con potencia en torno a 9.000 m, se acumularon desde el Jurásico superior (Titónico) hasta el Cretácico inferior (Albiense).

Toda la zona estaba formada por una extensa llanura deltaica donde se sucedían etapas de grandes inundaciones con otras épocas de sequía (Tischer, G. 1966).

El ambiente era calido y húmedo, propio de aguas quietas y pantanosas con una energía mecánica muy baja, que proporcionaba las condiciones propicias para que las huellas de dinosaurios y de otros animales no se erosionaran y quedaran permanentemente registradas.

Como es sabido, para que se conserven las huellas de un organismo vivo, todo lo que se deposita encima ha de ser en forma muy tranquila, de manera que no se borren las marcas. El agua apenas se debe de mover. Esto explica por qué aunque no existen restos directos importantes, sí aparecen una enorme cantidad de icnitas de dinosaurio en esta parte de la sierra Camerana.

Los dinosaurios en La Rioja

Del examen de un yacimiento de icnitas se pueden deducir numerosos datos, podemos saber si se trata de dinosaurios bípedos o cuadrúpedos, si sus hábitos alimentarios eran carnívoros (terópodos) o herbívoros (ornitópodos o saurópodos), el tamaño, la velocidad del desplazamiento, modo de andar, a qué grupo pertenecían, etc. Pero hay otras aportaciones más singulares que sólo en muy pocos yacimientos se pueden encontrar. Es a esos aspectos a los que nos vamos a referir en este artículo.

Comportamiento familiar

En el yacimiento de Valdecevillo (Enciso) (figura 1) (Casanovas et al. 1989), hay tres rastrilladas de ornitópodos paralelas, con idéntico sentido. En los tres casos las huellas son morfológicamente iguales, con dedos anchos y pequeños terminados de forma roma, típicas de iguanodóntido. Sin embargo, tanto la longitud y anchura del pie y de los dedos, como las longitudes del paso y de la zancada, son claramente menores en la rastrillada central. Lo más probable es que se tratara de una familia de herbívoros, dos adultos a ambos lados

y en el centro otro más pequeño, que se han representado con tres esculturas situadas en el mismo barranco y realizadas con las proporciones deducidas a partir de las huellas (figura 2).

Pero este caso de Valdecevillo no es el único. También en Peñaportillo (Munilla) (Casanovas et al. 1993) se encuentran cinco rastros paralelos similares entre sí, pero la longitud de las huellas diferente. De las relaciones numéricas se deduce la presencia de dos adultos y tres crías.

En La Era del Peladillo 5 (Igea), aparecen numerosas huellas aisladas de ornitópodos agrupados. Entre ellas la longitud es variable pero destacan unas icnitas menores de 10 cm (las icnitas ornitópodas más pequeñas de La Rioja) que permiten imaginar que estos dinosaurios herbívoros cuidaban a sus crías.

Comportamiento gregario

Aunque en Bélgica fueron encontrados 23 esqueletos de iguanodón juntos, demostrando que estos dinosaurios eran gregarios, la evidencia más notoria de este comportamiento se deduce de las icnitas. Hay abundante literatura sobre el tema. Muchos rastros orientados de la misma forma, no siempre son indicativos de gregarismo, pues puede tratarse de una vía de paso preferente. Pero si estos rastros son atravesados por otros, significa que esta vía no es la única, y si la profundidad de las huellas es la misma, quiere decir que las condiciones físicas del suelo eran idénticas, con lo cual el paso se produjo en el mismo momento. Si además el espacio lateral entre rastros es semejante, cabe pensar que los dinosaurios que dejaron estas pistas caminaban juntos.

En La Rioja, existen numerosos ejemplos. En la mayoría de los yacimientos estudiados predominan el mismo tipo de pisadas sobre las demás (Casanovas et al. 1993). Dentro de cada grupo las medidas de las huellas coinciden corroborando las posibles relaciones de parentesco entre los individuos. Hay yacimientos donde todas las icnitas son terópodas, como en Las Mortajeras (Munilla), La llaga (Terroba) (figura 3), Las Losas (Enciso), Los Cayos

A (Cornago), etc. Otros casos donde todas son de ornitópodos, como en La Canal (Munilla), Los Cayos D (Cornago), El Contadero (Torremuña), etc. Un yacimiento exclusivamente de saurópodos es Soto 2, y estas huellas son mayoría en Trevijano 2, y en La Era del Peladillo 2, 3, 4, 5 y 6 (Igea).

Estas agrupaciones no parecen casuales sino que se debían a hábitos de los propios individuos, bien porque vivían en el mismo sitio o se desplazaban juntos, o por condicionantes ambientales y/o geográficos. La colectividad con mayor número de individuos es la manada. En La Rioja, aparecen varios ejemplos documentados (Pérez-Lorente et al. 2001). En La Era del Peladillo 1 hay una franja de huellas de ornitópodo (Hadrosaurichnoides igeensis) (Casanovas et al. 1993) que se orientan en todas direcciones en número muy elevado, a veces se superponen como si el grupo se hubiera detenido en ese punto. En los sectores siguientes de este mismo yacimiento encontramos huellas de saurópodos en gran cantidad, son icnitas dirigidas también en todas direcciones.

En el caso de carnívoros no se encuentran agrupaciones de huellas que indiquen gran número de individuos, pero sí colectivos más pequeños de dinosaurios que caminaban iuntos. Quizás se tratara de conjuntos familiares, camadas o de grupos de caza. En La Era del Peladillo 1 hay tres pistas terópodas paralelas separadas entre 3 y 7 m. En el sector 3 de este mismo yacimiento, hay una franja estrecha en medio de la manada de saurópodos, por donde pasaron terópodos pequeños, todos en direcciones paralelas pero con sentidos opuestos, sin poder determinar si pasaban primero hacia un lado y luego al otro, o bien, pasaron a la vez cruzando sus caminos.

Existen otros ejemplos similares como en La llaga (Terroba) donde hay 10 rastrilladas terópodas similares que se dirigen hacia el este (figura 3). En La Senoba (Enciso), hay otros 15 rastros terópodos paralelos pero, en este caso, orientados en ambos sentidos. En los Cayos, el 86% de los rastros terópodos se dirigen hacia el oeste y el resto al este (Moratalla et al. 1997). Este patrón bidireccional se repite en otros muchos

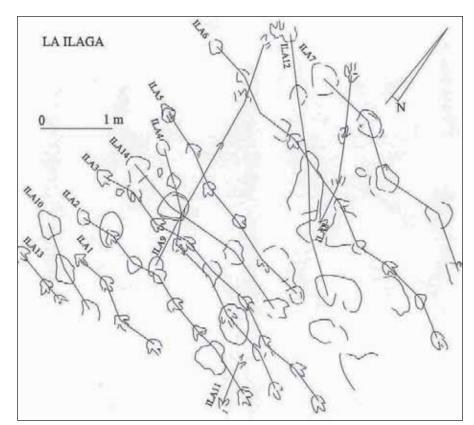


Figura 3. Yacimiento de La llaga (Terroba), rastrilladas terópodas paralelas orientadas hacia el Este.



Figura 4. Yacimiento de La Virgen del Campo (Enciso). Reproducción de la lucha entre un terópodo y un ornitópodo.

casos, quizás relacionados con condicionantes geográficos. Por ejemplo, está comprobado que acostumbraban a caminar paralelos a los márgenes fluviales o marítimos.

Escenas de caza

El yacimiento de La Virgen del Campo (Enciso) (figura 4) (Pérez-Lorente 2001) es

de los que suministra mayor información al registro icnológico. Una de sus aportaciones más espectaculares es un rastro terópodo (carnívoro) formado por 12 icnitas con dedos terminados en potentes garfas, con zancada larga, que al final se entremezclan formando un caos y pisando varias veces en el mismo sitio, con otras huellas redondeadas y anchas de dedos cortos, típicas de un herbívoro. Es probable

que el carnívoro alterara su marcha para atacar al herbívoro, produciéndose una lucha entre ambos.

En La Canal IX (Munilla) hay un rastro de Iguanodón, herbívoro, paralelo a una pista carnívora de Megalosauripus. Por la disposición de ambos rastros se puede deducir una secuencia de caza, en la que el carnívoro persigue al herbívoro, posiblemente se tratara de un individuo solitario y adulto, aunque esto hay que considerarlo con reservas, por ser una mera conjetura.

Dinosaurios nadando

En el sector 3 y 4 de La Virgen del Campo (Enciso) (Pérez-Lorente et al. 2001) se ven

estrías paralelas de longitud variable, con la particularidad que acaban en unos montículos de barro. La explicación es que son marcas de uñas producidas porque el dinosaurio no apoyaba el pie en el suelo sino que sólo lo rozaba. Puesto que precisaba un soporte, forzosamente tenía que flotar, es decir, iba nadando. Estas uñadas en el suelo no se pueden asociar con otras marcas de pies y su disposición en general es muy variable.

Otro rastro muy llamativo es el encontrado en El Villar-Poyales (Enciso) (figura 5) (Casanovas et al. 1993). Entre varias marcas de arañazos destaca una rastrillada de cinco huellas: la primera bien formada, la segunda con una

elongación de los dedos III y IV que indica que el dinosaurio se resbaló, de la tercera sólo se ven las marcas de las tres uñas aunque apoyando las puntas de los dedos, la cuarta deja un montoncito de barro de 7 cm de altura en la parte trasera, donde debería encontrarse el talón, y, por último, de la guinta sólo quedan señales de dos dedos con otro montón de barro detrás. La explicación es que, a medida que el nivel del agua iba aumentando, el dinosaurio pasó de andar por el fondo a nadar rozando el suelo. Después desaparecen las marcas.

Dinosaurios cojos

Cuando en una pista se produce una alternancia sustancial entre pasos cortos y largos del mismo individuo, se puede pensar en una cojera. De estos casos hay muy pocos descritos en la literatura mundial.

En el yacimiento de La Canal (Munilla), la rastrillada 1 está formada por 31 icnitas muy bien conservadas de un iguanodóntido que caminaba muy lentamente, la longitud de los pasos derecho-izquierdo es siempre mayor que la de los pasos izquierdo-derecho.

Este fenómeno también lo encontramos en Valdeté (Préiano) (Moratalla et al. 1997) en una pista bien conservada de 11 huellas, en la cual los valores de los pasos derecho-izquierdo son el 13% más cortos que los del pie contrario.

En el yacimiento de La Torre 6-B hay una rastrillada formada por 22 icnitas, en la que la longitud de los pasos indica, sin lugar a dudas, que el dinosaurio tenía lateralidad apreciable (cojera). Si se compara la relación entre le paso izquierdo y el derecho, se comprueba que el izquierdo es menor en la mayor parte de los casos.

En Valdecevillo y en La Virgen del Campo también hay otros dos rastros donde se reproduce una pequeña diferencia entre los pasos pero no tan patente.

Marcas de cola

No es frecuente encontrar marcas de arrastre de cola por el suelo. En



Figura 5. Yacimiento de El Villar-Poyales (Enciso). Marcas de uñas con barro acumulado en la parte posterior.



Figura 6. Yacimiento de Peñaportillo (Munilla). Marcas de arrastre de cola. Se observan también dos rastros correspondientes a un adulto y una cría que se dirigen de forma paralela hacia la parte superior del yacimiento.

Peñaportillo (Munilla) (Casanovas et al. 1993) hay un rastro de siete icnitas redondeadas sin marcas de dedos ni almohadillas, con una acanaladura alternante entre ellas producida por la cola que describe una trayectoria ondulada (figura 6). En este rastro no se aprecian señales de estrías o barro acumulado que indique el sentido de la marcha, sólo por el mayor encaje de la acanaladura en alguna de las huellas podemos deducirlo. Se ha calculado que la cola mediría 470 cm hasta su apoyo en el suelo, y que la forma de andar del dinosaurio era sauriforme. Probablemente era un ornitópodo que caminaba muy lentamente.

Existen más ejemplos de impresiones de cola, aunque no tan llamativos. En Los Cayos B hay dos rastros con sendos surcos sinusoidales de poca profundidad que recorren cada una de las pistas. En La Virgen del Campo hay una banda de unos 15 cm de anchura con estrías paralelas en un trayecto interrumpido periódicamente por la alternancia en el movimiento de avance del dinosaurio.

Ornitópodo de andar cuadrúpedo

Los ornitópodos habitualmente eran bípedos, pero ocasionalmente apoyaban las manos o caminaban en forma cuadrúpeda. En el rastro encontrado en Valdemayor (Cabezón de Cameros) (Moratalla et al. 1997) además de cinco



Figura 7. Yacimiento de La Virgen del Campo (Enciso). Lenguas de barro que fluyen por efecto de un terremoto.

icnitas tridáctilas de pies aparecen otras cuatro de manos, más pequeñas y bilobuladas. Seguramente se trata de un iguanodóntido. La profundidad de las huellas es grande (11 cm), lo que implica que el barro estaba muy blando, quizás esto explique por qué el dinosaurio caminaba apoyando sus manos.

En el yacimiento de La Pellejera (Hornillos de Cameros) existen varios rastros de huellas plantígradas muy grandes de dinosaurios bípedos, que alguna de sus huellas está acompañada de la marca de la mano correspondiente.

Otras marcas de interés

Además de huellas de dinosaurio, en algunos yacimientos se pueden encontrar vestigios de hechos acaecidos en el pasado. Es el caso de La Virgen del Campo, donde han quedado registrados los efectos de un terremoto (figura 7). El suelo se rompió partiendo algunas de las huellas que se observan en ambos límites de la fractura. Por efecto de la ondulación en el terreno, el barro, no del todo consolidado, fluyó por las fisuras produciendo unas lenguas de lodo que han quedado fosilizadas. Posteriormente continuó la sedimentación, pues una de las fracturas se prolonga por debajo del estrato superior.

En La Era del Peladillo 3, en medio de una manada de saurópodos, por deslizamiento de varias capas de barro, se debió de formar un canal con un talud, por el que discurrían un grupo de carnívoros pequeños que probablemente no podían superar la altura de los márgenes.

Estas son algunas curiosidades que se pueden contemplar en los yacimientos icnológicos de La Rioja. Las aportaciones de carácter científico al registro mundial son innumerables. Las aquí descritas son sólo algunas consideraciones anecdóticas que difícilmente se encuentran en otros lugares del mundo en un espacio tan reducido.

Bibliografía

CASANOVAS, M.L.; FERNÁNDEZ-ORTEGA, A.; PÉREZ-LORENTE, F.; SANTAFÉ, J.V. (1989): Huellas fósiles de dinosaurios de La Rioja. Yacimientos de Valdecevillo, La Senoba y de La Virgen del Campo. Ciencias de la Tierra 12. Gobierno de La Rioja. Instituto

CASANOVAS, M.L.; EZQUERRA, R.; FERNÁNDEZ, A.; PÉREZ-LORENTE, F.; SANTAFÉ, J.V.; TORCIDA, F. (1993): Icnitas de dinosaurios. Yacimientos de Navalsaz, Las Mortajeras, Peñaportillo, Malvaciervo y La Era del Peladillo. Zubía 5. Instituto de estudios Riojanos.

HERNÁNDEZ, N., PÉREZ-LORENTE, F. (2003): Un nuevo yacimiento de icnitas de dinosaurio. La Ilaga (Terroba, La Rioja. España). Suelo flexible y rastrilladas paralelas. *Ciencias de la tierra 26.* Instituto de estudios Riojanos.

MORATALLA, J.; SANZ, J.L.; JIMÉNEZ, S. (1997): Dinosaurios en La Rioja. Guía de yacimientos Paleoicnológicos. Gobierno de La Rioja. Iberdrola.

PÉREZ-LORENTE, F.; ROMERO-MOLINA, M.M.; REQUETA, E.; BLANCO, M.; CARO, S. (2001): Dinosaurios. Introducción y análisis de algunos yacimientos de sus huellas en La Rioja. Ciencias de la Tierra 24. Instituto de Estudios Riojanos.

PÉREZ-LORENTE, F. (2001): Excursiones Geológicas por La Rioja. Ciencias de la Tierra 19. Instituto de Estudios Riojanos.

Nueva Junta de Gobierno del ICOG

ACTA ELECTORAL

En Madrid, a 21 de abril de 2006

Se da por constituida la mesa electoral, estando compuesta por el presidente, D. Luis Eugenio Suárez; la Secretaría, D. Benito E. Rivera Prieto; dos miembros de la Junta de Gobierno designados por esta, D. Valeriano Perianes Jiménez, D. José Luis Almazán González; y los colegiados, D. Santiago Leguey Jiménez v D. Bruno Fernández Gallego, colegiado más antiguo v más moderno respectivamente. A las 14:30 h. comienza la votación presencial, cesándose el plazo a las 18:00 h. Votos emitidos: 73 - Votos nulos: 15 - Votos válidos: 58 - Votos totales: 73. Los resultados electorales son los siguientes:

Votos				
• Vicepresidente 1º: Barrera Morate, José Luis	55	Vocales:	Capote Villar, Ramón	52
• Secretario: Regueiro y González-Barros, Manue	l 55		De Tena-Dávila Ruiz, Manuel	50
 Vicesecretaria: Gómez García, Mª Isabel 	54		González García, José Luis	51
			Martínez Navarrete, Carlos	49
			Martínez Parra, Marc	51



De pie, de izquierda a derecha: José Luis Barrera, Cristina Sapalski, José Luis Almazán, Ángel Carbayo, José Luis González, María Isabel Gómez, Marc Martínez, Juan Pablo Pérez y Manuel Tena-Dávila. Sentados, de izquierda a derecha: Roberto Rodríguez, Luis Eugenio Suárez, Carlos Duch, Benito Eladio Rivera, Ramón Capote y Manuel Regueiro. (Ausentes: Valeriano Perianes y Carlos Martínez.)

Como resultado de las elecciones, la nueva Junta ha quedado constituida por los siguientes miembros:

Presidente

Luis Eugenio Suárez Ordóñez Vicepresidente primero José Luis Barrera Morate Vicepresidente segundo

Roberto Rodríguez Fernández Secretario

Manuel Requeiro y González Barros

Vicesecretaria

María Isabel Gómez García

Tesorero

Carlos Duch Martínez Vocales

José Luis Almazán González Ramón Capote del Villar

Ángel Carbayo Olivares

Carlos Martínez Navarrete Marc Martínez Parra Juan Pablo Pérez Sánchez Valeriano Perianes Jiménez Benito Eladio Rivera Prieto Cristina Sapalski Roselló Manuel Tena-Dávila

José Luis González García

Luis E. Suárez Ordóñez

Licenciado en CC. Geológicas por la Universidad de Oviedo, en 1977. Licenciado en Derecho por la UNED. Diplomado en Ingeniería Geológica y Máster en Ingeniería Geológica, por la UCM. Eurogeólogo. Jefe de Geotecnia de la Dirección Ejecutiva de Mantenimiento del Administrador de Infraestructura Ferroviaria (ADIF), donde ha dirigido los programas de Estudios de Riesgos Geológicos de la Infraestructura (ERGI), de Avenidas (ERA) y de Riesgos Sísmicos (ERSI).

Situación actual: Director de Calidad, Medio Ambiente y Sistemas de Información de la Dirección General de Desarrollo de la Infraestructura del ADIF.

José Luis Barrera Morate

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1972. Profesor de Petrología ígnea y metamórfica en la facultad de CC. Geológicas de la UCM, desde 1973 hasta 1982. Jefe de proyecto en Geoprín, S.A., desde 1982 hasta 1987. Director Gerente de Geoprín, S.A., desde 1982 hasta 1994. Consultor de petrología y cartografía geológica desde 1994. Colaborador desde hace varios años con el IGME, en temas de cartografía geológica del Plan MAGNA, petrología, Patrimonio Geológico v Divulgación Geológica. En el ICOG ocupa la presidencia de las Tertulias del Geoforo y es el Editor de la revista Tierra&Tecnología. Consejero del Consejo Nacional de Bosques del Ministerio de Medio Ambiente. Vocal de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas (SEHCYT) desde el año 2002.

Situación actual: Consultor.

Luis Roberto Rodríguez Fernández

Licenciado en CC. Geológicas por la Universidad de Oviedo, en 1975, con la calificación de Sobresaliente y Premio extraordinario de Licenciatura, en 1977. Dr. en CC. Geológicas por la Universidad de Oviedo, en 1992, con la calificación de Apto "Cum Laude". Premio extraordinario de Doctorado de la Universidad de Oviedo. Director del Plan MAGNA, del IGME, desde 1999 hasta su finalización en 2004. Investigador principal de proyectos de la

CICYT y de la AECI en Argentina. Consultor del BIRD (Banco Mundial) en el Proyecto PASMA (Argentina) de 1995-2000.

Situación actual: Director de Geología y Geofísica del IGME.

Manuel Regueiro y González-Barros

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1979. Especialista en rocas y minerales industriales del Área de Rocas y Minerales Industriales del IGME. Ha trabajado en la industria del cemento, el petróleo, la minería y la ingeniería geológica. Miembro de los comités editoriales del Boletín Geológico y Minero del IGME (Editor Adjunto), de la revista Environment. Development and Sustainability de Kluwer Academic Publishers (Holanda), de la edición española del National Geographic, de la revista Piedra Natural, de la revista Roc Maquina, de Elsevier y del Boletín de Geología de la Universidad Industrial de Santander (Colombia). Ex presidente de la Federación Europea de Geólogos. Miembro fundador y secretario de la ONG Geólogos del Mundo.

Situación actual: Responsable de Relaciones Externas del IGME. Profesor Asociado del Departamento de Cristalografía y Mineralogía de la UCM.

Mª Isabel Gómez García

Licenciada en CC. Geológicas por la UCM, en 1990. Máster Business in Administration (MBA). Instituto de Empresa. Madrid, 1992-93. Máster en Dirección de Empresas y Recursos Humanos por la UCM, en 1996. En el año 2005 realiza dos cursos de "Gestión Contable" "Gestión Económico-Fiscal" en el ESIC. Ha sido profesora contratada por el Consejo Social de la UCM para la realización del Taller de Busqueda De Empleo en la Facultad de Ciencias Geológicas los años 1998, 2000 y 2002. Ha sido profesora contratada para el Máster de Medio Ambiente en la facultad de Ciencias Geológicas de la UCM los años 1998 y 1999. Ha trabajado en el Gabinete Técnico de la Dirección General de Organización y Recursos Humanos de RENFE, entre 1990 y 1994. En la Unidad de Apoyo de la Dirección del Gabinete de Presidencia de RENFE, entre 1994 y 2004,

siendo la responsable de las modificaciones técnicas y normativas del RACE. En la Dirección del Gabinete Técnico de la Presidencia de ADIF, en 2005, siendo la responsable de normas, formación y funcionamiento del Registro de Auditorías, Consultorías y Estudios y Proyectos (RACE).

Situación actual: ADIF. Mantenimiento de Infraestructura de Alta Velocidad. Técnico de Contratación.

José Luis Almazán González

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1982. Graduado en hidrogeología por la UCM en el Curso "Noel LLopis" de Hidrogeología, en 1994. Máster en Ingeniería Geológica por la UCM en 2000. Ha trabajado durante 20 años en la empresa consultora de ingeniería Prointec, realizando trabajos de ingeniería geológica en proyectos de infraestructura lineal (carreteras, autovías y alta velocidad ferroviaria), edificación y media ambiente y trabajos de asistencia técnica y control de calidad en obras de infraestructura lineal (tramos de autovía y tramos de alta velocidad ferroviaria).

Situación actual: desde hace 4 años es director técnico de Geoprín, S.A., empresa dedicada a la geología, ingeniería geológica y control de calidad.

Ramón Capote del Villar

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1967. Dr. en CC. Geológicas por la UCM, en 1973. Desde esa fecha es profesor de Geodinámica en la facultad de CC. Geológicas de la UCM. Académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ha sido miembro, en dos ocasiones, del jurado del premio Príncipe de Asturias en la categoría de Investigación Científica y Técnica. Especialista en Geología Estructural y Sismotectónica. Consultor en Ingeniería Geológica.

Situación actual: Catedrático del área de Geodinámica en la facultad de CC. Geológicas de la UCM.

Ángel Carbayo Olivares

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1965. Durante 25 años prestó sus

servicios en Repsol Exploración como Geólogo, realizando diversas actividades exploratorias en Guatemala, Argelia, etc.

Situación actual: jubilado, ocupa el cargo de Presidente en la ONG "Geólogos del Mundo".

Carlos Duch Martínez

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1985. Geólogo especialista en Ingeniería Geológica, con 20 años de experiencia profesional.

Situación actual: Gerente de la empresa TISER, S.L., y profesor del Máster en Ingeniería Geológica en la UCM.

José Luis González García

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1983. Ha sido director de Programas de la Dirección General de Protección Civil y Consejero Técnico del Gabinete del ministro de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. En 2003, el Rey de España le otorgó la Encomienda de la Orden del Mérito Civil.

Situación actual: Desde el año 2004 es Vocal Asesor de la Presidencia del Gobierno.

Carlos Martínez Navarrete

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM. en 1986. Máster en Tecnología Hidrogeológica organizado por el IGME y la Escuela Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, en 1992. Dr. en CC. Geológicas por la UCM, en 2002. Sus trabajos se han centrado básicamente en la protección del agua subterránea empleada para consumo humano y en la caracterización de masas de agua. Desde 1988 trabaja en el IGME en la Dirección de Aguas Subterráneas. Miembro de la representación española del WG-C para asesoramiento en la implementación de la DMA y de su grupo de trabajo "Áreas protegidas" y del panel de expertos en protección de aguas subterránea de la Federación Europea de Geólogos. Autor de diversas guías metodológicas y artículos sobre perímetros de protección ha impartido clases sobre este tema en diversos Máster y cursos de especialización.

Situación actual: Investigador titular del IGME ocupando el puesto de investigador titular.

Marc Martínez Parra

Licenciado en CC. Geológicas por la Universitat de Barcelona, en 1989. Diplomado en Hidrología Subterránea por la FCIHS, Geólogo Profesional y Eurogeólogo. Su labor profesional la desarrolla en la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME desde 1990. Además, es un aficionado a las películas, novelas, cómics y series de TV relacionadas con la Ciencia Ficción, escribe artículos sobre cine y geología en la revista del Colegio Tierra&Tecnología.

Situación actual: Técnico en Hidrogeología del IGME.

Juan Pablo Pérez Sánchez

Licenciado en CC Geológicas por la UCM, en 1995. Especialista en Hidrogeología, en 1996, por la UCM. Así mismo es magíster en Dirección y Administración de Empresas (1999) por el Instituto de Empresa de Madrid.

Situación actual: Asociado del departamento de medioambiente de la oficina de Garrigues Medio Ambiente, en Madrid, del que es responsable del área de aguas y suelos contaminados.

Valeriano Perianes

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1987. Tiene 20 años de experiencia profesional. En Besel, S.A., desde el año 1987 hasta el año 1994, desarrolla labores de técnico, en los campos de Medio Ambiente, Minería y Geotecnia. Desde 1994 a 2002 dirige el Departamento de Medio Ambiente de Besland Consultores, en el que realiza diversos estudios en el campo de la geología y medioambientales, tanto en el ámbito nacional como internacional. Desde 2002 hasta la actualidad, desarrolla labores de Director Técnico de Besland Consultores, desde donde, además de dirigir los departamentos de Geología, Geotecnia y Medio Ambiente, promueve el desarrollo de iniciativas y proyectos para el aprovechamiento de los Recursos Naturales

Situación actual: Director Técnico de Besland Consultores

Benito E. Rivera Prieto

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1991. Desde 1990 hasta 1996, participa como geólogo de campo en diferentes proyectos hidrogeológicos en las empresas EPTISA e INGENIERÍA 75. En 1997 dirige y coordina programas formativos de medio ambiente en diferentes municipios de la Comunidad de Madrid. En los años 1999. 2000 y 2001, dirige programas de Escuelas Taller de Medio Ambiente y restauración paisajista para el Instituto Nacional de Empleo.

Situación actual: Desde 2002 es Gerente de la empresa Desarrollo y Gestión del Medio Riarga, dedicada a proyectos y estudios de Impacto Ambiental, Contaminación del Suelo, Ordenación del Territorio e Hidrogeología.

Cristina Sapalski Roselló

Licenciada en CC. Geológicas por la UCM, en 1980. Gemóloga por el Instituto Gemológico Español (IGE), en 1982. Especialista en diamante. Gemóloga por la Federación Inglesa de Gemología, en 1997. Geólogo Europeo, en 1997. Profesora del curso de diamante. Directora de la revista del IGE y encargada de Relaciones Internacionales de dicho instituto desde 1985 hasta 2005. Vicepresidenta de LIGE desde 1997 hasta 2000. Presidenta del IGE desde 2000 hasta 2005.

Situación actual: Directora de Gemas 1000 consultina.

Manuel Tena-Dávila

Licenciado en CC. Geológicas por la UCM, en 1971. Tiene más de 30 años de experiencia en Cartografía Geológica, Recuperación de Área Mineras degradadas e Estudios Geotécnicos. Ha trabajado en seis países de Asia, África y América, en Geología, Minería e Hidrogeología. Es autor de más de treinta publicaciones de Geología y Medioambiente y es profesor del Master de Residuos de la UAM.

Situación actual: Consultor de Medio Ambiente en Suelos Contaminados, Gestión de Residuos y Proyectos de Vertederos.

Los árabes y las **estrellas**

La astronomía tuvo un papel muy importante en los países islámicos durante los siglos IX-XIII, debido al contacto de varias culturas en los territorios conquistados por el Islam. Este conjunto de conocimientos contribuyó al interés hacia la astronomía de muchos clérigos y líderes musulmanes, deseosos de precisar el calendario lunar o las orientaciones de mezquitas y otros edificios con la Meca. Gracias a esta labor, hoy en día casi todas las estrellas brillantes tienen nombres árabes, derivados de los nombres griegos que aparecían en el *Almagesto* de Ptolomeo.

TEXTO I Alicia González Martínez

Palabras clave **Árabes, estrellas**

El propósito de este artículo es exponer una pequeña investigación sobre el origen del nombre común que reciben las estrellas más brillantes del firmamento. De este modo, podremos determinar qué porcentaje de estos términos provienen de la lengua árabe y qué significaban en origen. Utilizaremos para ello la lista de las 86 estrellas más brillantes, entre las que distinguiremos cuatro tipos de estrellas:

- Estrellas que poseen un nombre común de origen árabe.
- Estrellas que poseen un nombre común de origen latino.
- Estrellas que poseen un nombre común formado por la mezcla de un término latino y otro árabe.
- Estrellas que no poseen un nombre común.



Rigil Kent (*Alpha Centauri*), de Rigil Kentaurus, deriva de la frase árabe Kentaurus, deriva de la frase árabe , *riŷl qantūris*, que significa "el pie del Centauro".

Vega (Alpha Lyrae) واقع , viene de النسر الواقع an-nasr al-wāqi', que significa



Constelación de Albireo.

"el águila (o buitre) que desciende en picado (que cae)". Es la estrella más brillante de la constelación Lira (en árabe القيثارة).

Rigel (Beta Orionis) بيا. Es la estrella más brillante de la constelación de Orión. También ha sido denominada tradicionalmente Algebar o Elgebar, pero estos nombres no se usan prácticamente. El nombre de esta estrella viene de su localización en el "pie izquierdo" de Orión. Es una contracción de la frase ربال الموزا اليسرى riŷl al-ŷawzā al-yusrā, "el pie izquierdo de El del centro". Otro nombre por el que también se conoce a esta estrella en árabe es الرجل الجبار ar-riŷl al-ŷabbār, "el pie del gigante", de donde proviene la variante Algebar. Tanto la palabra al-ŷawzā como el

término *al-ŷabbār* hacen referencia a Orión

Achernar (Alpha Eridani) آخر النهر (el final del río), ājir an-nahr. Es la estrella más brillante de la constelación de Eridano (an-nahr) y la novena estrella más brillante de todo el cielo. La situación de esta estrella, en el extremo más austral del celeste río, justifica su nombre. Debemos resaltar que la estrella Theta de la misma constelación recibió en árabe el mismo nombre.

Hadar (Beta Cantauri), es la segunda estrella más brillante de la constelación del Centauro. Según la enciclopedia Wikipedia este término proviene de la palabra árabe para "suelo, tierra" y el origen de este nombre es incierto. Por otro lado, la Sociedad Jordana de Astronomía registra el término como intraducible. Por nuestra parte, no hemos podido encontrar un término en árabe que responda claramente al nombre de esta estrella.

Altair (*Alpha Aquilae*), es la estrella más brillante de la constelación del Águila. Viene del árabe الطائر النسر an-nasr at-tá'ir, esto es, "el águila (o buitre) voladora".

Betelgeuse (Alpha Orionis), es la segunda estrella más brillante de la constelación de Orión. El nombre es una corrupción del árabe עַ וּלְּפָנָן yad al-ŷauzā, "la mano del del centro", refiriéndose en un principio a Géminis, pero en un determinado momento pasando a referirse a Orión, mediante el nombre al-ŷawzā. Durante la Edad Media el primer carácter del término (±) fue erróneamente entendido como la letra b (±) al traducirlo al latín, pues la



Constelación de Orión.

diferencia entre ambas radica en tan solo un punto. Así, yad al-ŷauzā se convirtió en Bedalgeuze. Más adelante, durante el renacimiento, se llegó a la conclusión de que el nombre originalmente debió de ser bait al-ŷawzā, de tal forma que significase en árabe "la axila o el sobaco de El del centro", lo cual condujo a la trascripción moderna "Betelgeuse". Sin embargo, la palabra que en árabe significa axila o sobaco, ابرا debería transcribirse lbt.

Aldebaran (Alpha Taurus), es la estrella más brillante de la Constelación de Tauro. Debido a su situación en la cabeza de Tauro, históricamente se la ha venido llamando "el ojo del toro". Su nombre deriva del árabe الديران ad-dabarān, que significa "la que sigue". Esta denominación hace referencia a la forma en que esta estrella sigue al conjunto estelar de las Pléyades en su viaje nocturno a través del cielo.

Fomalhaut (Alpha Piscis Austrini), es la estrella más brillante de la constelación del Pez del Sur. Su nombre significa "boca de la ballena" y proviene del árabe fum al-ħūt.

Deneb (Alpha Cygni), es la estrella más brillante de la constelación del Cisne. También se la conocía tradicionalmente con los nombres Arided y Aridif, pero hoy en día están casi olvidados. Su actual nombre proviene del árabe con los deneb ad-daŷaŷa, "la cola de la gallina".

Adhara (Epsilon Canis Majoris), es la segunda estrella más brillante de la constelación del Can Mayor (الكلب الأكبر). Su nombre viene de la palabra árabe عذارى 'adārā, que significa "vírgenes".

Alioth (Epsilon Ursae Majoris), es la estrella más brillante de la Osa Mayor. Su nombre en árabe اليت al-yāt, es el plural de الية al-ya, "rabo gordo (de ovino)".

Shaula (Lambda Scorpii), es el segundo sistema estelar más brillante de la constelación de Escorpio. Viene del árabe الشولة aš-šawla, "la parte levantada de la cola del alacrán".

Alnilam (*Epsilon Orionis*), estrella de la constelación de Orión. Viene del árabe النظام *an-nizām*, "el collar o la sarta de perlas".

"El significado del nombre de las estrellas de origen árabe responde en algunos casos a referencias zodiacales con un gran trasfondo legendario-mitológico, en parte heredado del legado helenístico"

Alnath o Elnath (Beta Tauri), es la segunda estrella más brillante de la constelación del toro. Proviene de la palabra النطح an-Nath, que significa "el cuerno del toro". Por otro lado, García Campos propone como origen el esquema del participio activo de la raíz نطح , es decir الناطح. Sin embargo, es el único de entre las fuentes utilizadas que presenta esta variante.

Se hace notar que en la trascripción el nombre árabe conserve la letra "/" del artículo, a pesar de que la nūn que le sigue es una letra solar. Esto nos hace ver que se ha llevado a cabo una trascripción gráfica y no fonética. lo que nos indica que el intercambio de este tipo de conocimientos entre la cultura arabo-islámica y la cultura europea se produjo a través del papel.

Miaplacidus (Beta Carinae), es la segunda estrella más brillante de la constelación Quilla del Navío. El origen de este nombre es un compuesto de la palabra árabe میاه miyāh, "aguas", y la palabra latina placidus.

Mirfak (Alfa Persei), es la estrella más brillante de la constelación de Perseo. Viene de la palabra árabe مرفق mirfaq, que significa "codo".

Alkaid (Eta Ursae Majoris), estrella de la constelación de la Osa Mayor. Su nombre proviene de la frase árabe القلد البنات النص al-qā'id al-banāt an-na'š, "jefe de las doncellas de luto", refiriéndose a las estrellas Alkaid, Mizar.

Alhena (Gamma Geminorum), estrella de la constelación de los Gemelos. Su nombre viene de الهنعة al-han'a, "la marca (en el cuello de los camellos)", refiriéndose a la marca de fuego que los árabes ponen en el cuello de los camellos y otras bestias para imposibilitar su robo.

Kaus Australis (Epsilon Sagittarii), estrella binaria de la constelación de Sagitario. Su nombre proviene de la unión entre de la palabra árabe قوس gaws, "arco", y la palabra latina australis, que corresponde con el nombre

"Encontramos frecuentes términos relacionados con elementos y animales de la naturaleza, pero quizá, lo que más resalte sea la frecuentísima presencia de referencias a las partes del cuerpo"

completo que recibía en árabe: . "el arco del sur" فوس الجنوبي

Dubhe (Alpha Ursae Majoris), es la segunda estrella más brillante de la constelación de la Osa Mayor. Su nombre tradicional viene de la palabra árabe para decir "oso", y está tomada de la frase: ظهر الدبّ الاكبر zahr ad-dubb al-akbar, "la espalda del oso más grande".

Al Wazor (Delta Canis Majoris), estrella de la constelación del Can Mayor. Su nombre tradicional viene del árabe الوزن al-wazn, "el peso".

Murzim (Beta Canis Majoris), estrella de la constelación del Can Mayor. Según la enciclopedia Wikipedia significa "el heraldo", v se refiere probablemente a su posición, anunciando a la estrella Sirio en el oscuro firmamento, es decir, apareciendo antes que ella. Según la Sociedad Jordana de Astronomía viene del árabe منه murzim, "el que brame". Por último, según García Campos, viene también de la palabra anterior, pero con una trascripción mirzam, y significa "lazo, atadura, nudo".

Alnitak (Zeta Orionis), estrella de la constelación de Orión. Viene de la palabra النتاق *an-nitāq*, "el cinturón".

Menkalinan (Beta Aurigae), segunda estrella más brillante de la constelación de Auriga. Viene de la frase منكب ذي العنان mankib dī-l-'inān, "hombro del de las riendas".

Rasalhague (Alpha Ophiuchi), estrella más brillante de la constelación de Ofiuco Este término viene del árabe

ra's al-hāwdī, "la cabeza del رأس الحاوي encantador de serpientes".

Alpheratz (Alpha Andromedae), es la estrella más brillante de la constelación de Andrómeda. Este término deriva de la voz árabe سرة الفرس surrat al-faras, "el ombligo del corcel".

Mizar (Zeta Ursae Majoris), estrella de la constelación de la Osa Mayor. Según la enciclopedia Wikipedia proviene de la palabra árabe ميند *mīzar*, "pretina, faja", aunque nos ha sido imposible encontrar tal término en ningún diccionario.

Alphard (Alpha Hydrae), es la estrella más brillante de la constelación de Hidra. Viene del árabe الفرد al-fard, "el solitario".

Al Na'ir (Alpha Gruis), es la estrella más brillante de la constelación de la Grulla. waistband or girdleiene del árabe an´nā'ir, "la que brilla". Es importante resaltar que la estrella Zeta Centauro también recibe el nombre de Alnair

Saiph (Kappa Orionis), es la sexta estrella más brillante de la constelación de Orión. Proviene del árabe سيف الجبّار sayf al-ŷabbār, "la espada del gigante (Orión)".

estrella سهيل , **Suhail** de la constelación de Velas. Confusamente, este nombre también hace referencia a la estrella de la misma constelación Gamma Velorum, y por otro lado es igualmente el nombre tradicional que recibía la estrella Canopus (Alpha Carinae), la segunda estrella más brillante del firmamento), por lo que a Canopus se la conoce en árabe

simplemente como سييل suhayl. La forma de la palabra parece responder al esquema del diminutivo en árabe, por lo que de سيل "fácil", podríamos decir que سييل significa facilillo.

Por otro lado, la Wikipedia nos dice que proviene de la frase عبيل المحلف suhayl al-muhlif, que significa según esta enciclopedia "la gloriosa (estrella) del juramento", y puntualiza que el término gloriosa es un nombre común para las estrellas brillantes. García Campos, por su parte, nos asegura que significa "desconocido".

Algol (*Beta Persei*), es la estrella más brillante de la constelación de Perseo. Viene del árabe الغول al-gūl, que quiere decir algo así como "demonio".

Denebola (Beta Leonis), es la segunda estrella más brillante de la constelación del León Mayor. Su nombre es un acortamiento de la frase ننب الأسد danab al-asad, "la cola del león".

Hamal (Alpha Arietes), es la estrella más brillante de la constelación de Aries. El nombre عن hamal deriva del nombre que se utiliza en árabe para designar a la constelación (Aries), y que significa "cordero".

Diphda (Beta Ceti), es la estrella más brillante de la constelación de la Ballena. Viene del árabe مندع الثاني difdi' o dafda', que a su vez deriva de la frase "la segunda rana", puesto que parece ser que algún tiempo otra estrella llevó el mismo nombre.

Kochab (Beta Ursae Minoris), es la segunda estrella más brillante en la constelación de la Osa Menor. Deriva de la palabra árabe عرعب kawkab, que significa simplemente "estrella".

Menkent (Theta Centauri), estrella de la constelación del Centauro. Viene de la palabra árabe منكب mankib mezclada con la palabra latina (tomada del griego) Kentaurus, de tal forma que unidas forman la voz Menkent, "el hombro del Centauro".

Almach (*Gamma Andromedae*), sistema de cuatro estrellas de la constelación de

Andrómeda. También puede escribirse Almaach, Almak o Alamak. Este término proviene del árabe عناى الأرض 'anāq al-ard, "caracal, lince de las estepas".

Alphecca (Alpha Coronae Borealis), estrella binaria de la constelación de la Corona Boreal. Según la enciclopedia Wikipedia y la Sociedad Jordana de Astronomía su nombre proviene del árabe al al-fakka, que significa "el roto" (refiriéndose al anillo de estrellas), lo que a su vez proviene de según García Campos al-fakka quiere significa "la Corona".

Sadr (Gamma Cygni), estrella de la constelación del Cisne. También conocida como Sadir o Sador. Estos nombres vienen del árabe صدر sadr, "pecho". Éste es el mismo nombre con el que se conocía a la estrella Alpha Cassiopeiae, como se verá más adelante, aunque su trascripción a caracteres latinos es distinta.

Mirach (Beta Andromedae), estrella de la constelación de Andrómeda. También se la conoce con los nombres: Mirach, Merach, Mirac, Mirak, Mirakh, Merak, Mirar, Mirath, Mirax, Mizar o Al Mizar. Según la Sociedad Jordana de Astronomía viene de la palabra al-maragq, "los leones", sin embargo, nos ha sido imposible encontrar tal vocablo en ningún diccionario árabe. Por otro lado, la enciclopedia Wikipedia nos da como origen al-mi'zar, "la 'ropa' del león". Quizá se refiera a la palabra árabe مئزر *mi'zar*, "velo", entendido como algo que cubre; pero no hemos llegado a ninguna conclusión clara.

Eltanin (*Gamma Draconis*), estrella de la constelación del Dragón. Proviene de la palabra árabe التثنين at-tinnîn, que significa "dragón, serpiente marina".

Caph (*Beta Cassiopeise*), estrella de la constelación de Casiopea. Deriva de la voz árabe نعد *kaff*, que significa "palma (de la mano)".

Aludra (Eta Canis Majoris), estrella de la constelación de la Osa Mayor. Su origen se encuentra en el término árabe العذراء al-'udrā', esto es, "la virgen.

Merak (Beta Ursae Majoris), estrella de la constelación de la Osa Mayor. El origen de este nombre parece ser el mismo que el de la estrella Beta Andromedae, por lo que la confusión con respecto a su correspondiente palabra en árabe y a su significado es la misma.

Ankaa (*Alpha phoenicis*), es la estrella más brillante de la constelación del Fénix. Proviene del árabe عنقاء 'anqā', que significa "fénix".

Schedar (*Alpha Cassiopeiae*), es la segunda estrella más brillante de la constelación de Casiopea. Viene de la palabra árabe صدر sadr, que quiere decir "pecho".

Mintaka (*Delta Orionis*), es una de las tres estrellas del cinturón de la constelación de Orión. Proviene del árabe منطنة mintaga, que significa "cinturón".

Enif (Epsilon Pegasi), estrella de la constelación de Pegaso. Viene del árabe anf, "nariz". Se denominó asó por estar situada en el hocico de Pegaso.

Phecda, Phekda o Phad (*Gamma Ursae Majoris*), es una estrella de la constelación de la Osa Mayor. Viene del árabe فغذ الدب *fajd*, de la frase فغذ الدب *fajd ad-dubb*, "el muslo del oso".

Markab (Alpha Pegasi), es la tercera estrella más brillante de la constelación de Pegaso. Según la Wikipedia la palabra Markab proviene del árabe مركب الفرس markab al-faras, "la montura del caballo". Por otro lado, el nombre alternativo Mankib, vendría de la frase منكب الفرس markab al-faras, "el hombro del caballo". La sociedad jordana de astronomía como origen de Markab nos da mankib al-faras. García Campos, sin embargo, propone la frase markaba al-faras.

Sabik (*Eta Ophiuchi*), estrella de la constelación Ofiuco, proviene de مسابق sābiq, "precedente".

Gienah (Gamma Corvi), es la estrella más brillante de la constelación del Cuervo. No debe confundirse con la estrella *epsilon Cygni*, de idéntico nombre tradicional. El nombre Gienah proviene del árabe الغراب الجناع al-ŷanāh al-gurāb, esto es, "el ala del cuervo".

Menkar (Alpha Ceti), estrella de la constelación de la Ballena. La enciclopedia Wikipedia ofrece también las variantes Menkab y Monkar. Como origen de estos términos nos da tres posibilidades:

- منخر minjar: orificio nasal
- منګب *minkab:* hombro
- منقار mingār: pico (de ave)

Por otro lado, la Sociedad Jordana de Astronomía apunta como origen la primera posibilidad, es decir, *minjar*. Por último, García Campos da como válida la tercera opción, esto es, mingār. Zuben'ubi o Zubenelgenubi (Alpha Librae), es la segunda estrella más brillante de la constelación de Libra, Viene del árabe الزبن الجنوبي az-zuban al-ŷanūbiyy, que significa "la garra del sur". Este vocablo fue acuñado antes de que libra fuera reconocida como una constelación distinta de Escorpio, de ahí la denominación que recibió.

Acamar (Theta Eridani), estrella de la constelación de Eridano (o El Río), proviene de la frase آخر النهر ājir an-nahr, "el final del río". La enciclopedia de la Wikipedia nos advierte de que esta estrella fue nombrada antes que la estrella Achernar, de homólogo significado, pero sufrió un error de escritura, en vez de rn se leyó m. García Campos, sin embargo, nos propone como origen el peculiar término

de azar".

Conclusión

En resumen, podemos observar que, del mismo modo que ocurre en la cultura latina, el significado del nombre de las estrellas de origen árabe responde en algunos casos a referencias zodiacales (por ejemplo "el peso": libra), con un gran trasfondo legendario-mitológico, en parte heredado del legado helenístico. Encontramos frecuentes términos relacionados con elementos y animales de la naturaleza, como pueden ser "río", "oso", "caballo", "águila". Pero quizá lo que más resalte sea la frecuentísima presencia de referencias a las partes del cuerpo, como "codo", "hombro", "cabeza" o "boca".

Lista de estrellas según el brillo (de mayor a menor)

- 1. Sirius (α CMa)
- 2. Canopus (α Car)
- 3. Rigil Kentaurus (α Cen)
- 4. Arcturus (α Boo)
- 5. Vega (α Lyr)
- 6. Capella (α Aur)
- 7. Rigel (β Ori)
- 8. Procyon (α CMi)
- 9. Achernar (α Eri)
- 10. Hadar (β Cen)
- 11. Altair (α Aql)
- 12. Betelgeuse (α Ori)
- 13. Aldebaran (α Tau)
- 14. Acrux (α Cru)
- 15. Spica (α Vir)
- 16. Antares (α Sco)
- 17. Pollux (β Gem)
- 18. Fomalhaut (α PsA)
- 19. Deneb (α Cyg)
- 20. Becrux (β Cru)
- 21. Regulus (α Leo)
- 22. Castor (α Gem)

- 23. Gacrux (γ Cru)
- 24. Adhara (ε CMa)
- 25. Alioth (ε UMa)
- 26. Bellatrix (y Ori)
- 27. Shaula (λ Sco)
- 28. Avior (ε Car)
- 29. Alnilam (ε Ori)
- 30. El Nath (β Tau)
- 31. Miaplacidus (β Car)
- 32. Atria (α TrA)
- 33. Mirfak (α Per)
- 34. Alkaid (n UMa)
- 35. (γ *Vel*)
- 36. Alhena (y Gem)
- 37. Kaus Australis (ε Sgr)
- 38. Dubhe (α UMa)
- 39. Alwazor (δ CMa)
- 40. Murzim (β CMa)
- 41. (δ Vel)
- 42. (θSco)
- 43. Alnitak (ζ Ori)
- 44. Menkalinan (β Aur)

- 45. Peacock (α Pav)
- 46. Polais (α UMi)
- 47. Rasalhague (α Oph)
- 48. Nunki (σ Sqr)
- 49. Alpheratz (α And)
- 50. Mizar (ζ UMa)
- 51. Alphard (α Hya)
- 52. Al Na'ir (α Gru)
- 53. Saiph (κ Ori)
- 54. Suhail (λ Vel)
- 55. Algol (β Per)
- 56. Denebola (β Leo)
- 57. Hamal (α Ari)
- 58. Diphda (β Cet)
- 59. (β Gru)
- 60. Kochab (β UMi)
- 61. (λ *Cas*)
- 62. (*i Car*)
- 63. Menkent (θ Cen)
- 64. (*ζ Pup*)
- 65. Almach (γ And)
- 66. Alphecca (α CrB)

- 67. Sadr (γ Cyg)
- 68. (ε Sco)
- 69. Mirach (β And)
- 70. (y Cen)
- 71. Eltanin (γ Dra)
- 72. Caph (β Cas)
- 73. Aludra (n CMa)
- 74. Merak (β UMa)
- 75. Ankaa (α Phe)
- 76. Schedar (α Cas)
- 77. Mintaka (δ Ori)
- 78. (K Sco)
- 79. Enif (ε Peg)
- 80. Phecda (y UMa)
- 81. Markab (α Peg)
- 82. Sabik (η Oph)
- 83. Gienah (y Cor)
- 84. Menkar (α Cet)
- 85. Zuben'ubi (α Lib)
- 86. Acamar (θ Eri)

- Las estrellas en cursiva (10) no poseen un nombre común. Representan el 11,63%.
- Las estrellas en negrita (19) poseen un nombre común de origen latino. Representan el 22,09%
- Las estrellas subrayadas (3) poseen un nombre común que es una mezcla entre una palabra latina y otra árabe. Representan el 3,49%.
- Y las estrellas sin marcar de ninguna manera (54) poseen un nombre común de origen árabe. Representan el 62,79%.

Walter Álvarez,

Colegiado de Honor del ICOG

En la Asamblea General del año 2003, el llustre Colegio Oficial de Geólogos acordó, por unanimidad, nombrar al Dr. Walter Álvarez, catedrático de la Universidad californiana de Berkeley, Colegiado de Honor. A la entrega de estas distinciones, que se celebró en la cena de Navidad de ese año, Álvarez no pudo asistir y quedó pendiente su recogida. Por fin, en el mes de octubre de 2005, Álvarez viajó a Asturias para impartir, el día 5 de octubre, la clase inaugural del curso académico en la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo. Llevaba casi 30 años sin pisar el Principado. Ante un público expectante, que llenó el aula A, expuso la conferencia titulada "Hacia una síntesis de la historia de la Tierra y de la historia humana". Aprovechando la visita, se expuso en el vestíbulo de la Facultad parte de la muestra "La ciencia y la saga de los Álvarez".

Después del acto, el presidente v secretario de la Delegación del ICOG en Asturias, César Casero y Juan Zubieta, respectivamente, entregaron a Walter Álvarez la placa de Colegiado de Honor.

Datos biográficos

Walter Álvarez nació en Berkeley, California, en 1940. Es hijo del Dr. Luis Álvarez, un físico galardonado con el premio Nobel en 1968, y descendiente de asturianos. Sus antepasados han sido hombres muy destacados en sus trabajos y profesiones. Ya su tatarabuelo, Eugenio Fernández, trabajó en la casa real española junto al Príncipe Francisco de Paula. Su bisabuelo asturiano Luis emigró a América, donde llegó a ser un médico famoso y cónsul de España en Hawaii y Los Ángeles. Su abuelo Walter fue un gran especialista en medicina y un pionero de la comunicación médica. Su padre Luis ha sido un físico notable que obtuvo el Premio Nobel de Física en 1968, por sus



César Casero entrega a Walter Álvarez la placa de Colegiado de Honor del ICOG. A la izquierda, Juan Zubieta.

contribuciones decisivas en el estudio de las partículas de la materia.

En un viaje juvenil a Holanda, Walter Álvarez fue invitado por un profesor para hacer trabajos arqueológicos en Roma. Allí, según sus palabras, se entusiasmó por la Geología: "Los volcanes romanos fueron mi primer amor geológico". Obtuvo su grado de B.A. en 1962, en Northfield, Minnesota, y se doctoró en Geología en la Universidad de Princeton, New Jersey, en 1967. Desde Princeton, Álvarez ha tenido muchos puestos postdoctorales en todo el mundo, Italia, Libia, Holanda y Sudamérica. Actualmente es profesor en el Departamento de Geología y Geofísica en la Universidad de California, Berkeley, donde ingresó en 1977. Ha publicado en las revistas científicas más prestigiosas como Nature, Geological Society America Bulletin, Geophysical Journal, Science o Earth and Planetary Science Letters.

Su gran descubrimiento

Álvarez, junto a su padre, descubrieron la razón de la extinción del 85 por ciento de las especies animales y vegetales del planeta en el cretácico-terciario, entre ellas, los dinosaurios. Cerca de la ciudad italiana de Gubbio, Walter Álvarez observó que en determinado estrato todas las especies de

microorganismos, excepto una, desaparecían de modo repentino. Aquellos estratos correspondían al límite del fin del cretáceo y el terciario. La época de la gran extinción de los dinosaurios. En este límite, la caliza estaba cubierta por un nivel arcilloso de uno o dos centímetros de grosor, casi desprovista de fósiles. Álvarez se interesó en dicha arcilla v. en 1977, tomó muestras para encontrar algún dato que pudiera aclarar las razones de la extinción a finales del cretáceo. Las muestras no presentaban ninguna inversión del campo magnético, pero una de ellas presentaba una cantidad de iridio mayor a lo esperado por cualquier proceso normal de la Tierra. El iridio es un metal muy raro en la corteza terrestre. Los resultados del análisis revelaron que la capa de arcilla presentaba treinta veces más iridio que los sedimentos que se hallaban directamente por debajo o por encima de ella. El equipo de Álvarez publicó su primer informe completo en la edición del 6 de junio de 1980 de la revista Science bajo el titulo: "Extraterrestrial Cause of the Cretaceous Tertiary Extintion". "Al formular nuestra teoría –dijo Álvarez en su conferencia de Oviedo -cambió la forma de pensar de los geólogos: en vez de mirar siempre para abajo, empezaron a mirar para

I Barrera

arriba", concluyó.

Facilitando las **cosas** 1

Exactitud de las medidas de planos y líneas realizadas con brújula de geólogo

Existen bastantes modelos de brújulas de geólogo. Su construcción es relativamente diferente de unos modelos a otros, en tamaño y diseño de sus dos componentes básicos: la aquia magnética y el clinómetro; por lo que la exactitud de las medidas que con cada modelo se realiza es también bastante diferente.

TEXTO I Carlos Manera Bassa, geólogo. MMinstrumentos, S.L.

Palabras clave

Brújula de geólogo, exactitud de medidas, ángulo entre planos y líneas

La exactitud con la que se define en el campo una estructura geológica, plano o línea, con una brújula de geólogo es muy variable, y en la mayoría de los casos totalmente desconocida.

Las brújulas de geólogo son instrumentos portátiles robustos y de tamaño pequeño. Habitualmente, están graduadas en grados sexagesimales. El instrumento consta de una "aguja magnética", brújula, para medir rumbos en un plano horizontal, y un "clinómetro" para medir ángulos en planos verticales. Las medidas de datos geológicos (planos o líneas) se hacen todas con dos valores "Dirección" (rumbo de una línea medida

con la brújula en un plano horizontal de 0º a 360º) y "Buzamiento" o inclinación (ángulo vertical de máxima pendiente del plano o línea). Es muy común en la actualidad definir los planos y líneas por su "Dirección de buzamiento", dirección de la línea de máxima pendiente de 0º a 360°, en lugar de por su "Dirección".

Las brújulas de geólogo profesionales tienen escalas gráficas tanto en el limbo de la aguja como en el clinómetro. Las graduaciones habituales de las escalas -condicionadas por el tamaño del instrumento— varían en los diferentes modelos entre 1º, 2º y 5º en el limbo de la aguja y clinómetro; algunos instrumentos

disponen de un nonius en el clinómetro que permite apreciar 0,1°.

La exactitud de cualquier magnitud física que midamos con un instrumento determinado depende, lógicamente, de la concepción y construcción de cada instrumento. Por ejemplo, si medimos una distancia en el terreno entre dos puntos A y B con una cinta métrica con una graduación en cm, y decimos que la distancia entre A y B es de 16,32 m, la exactitud de ese valor medido con esa cinta métrica concreta es de ±0,005 m, es decir, de ±0,5 cm. La distancia real A-B se encuentra entre 16,315 m y 16,325 m. Con esa cinta métrica no se puede apreciar mas de 0,5 cm; entendiendo por el término "apreciar" que no hay forma de dar mas exactitud a la medida que la que permite la escala. La distancia real se encontrará entre el valor leído mas menos la exactitud en la medida que permite el instrumento: ±0,5 cm en este ejemplo.

La exactitud de un dato medido con un instrumento es como máximo, ±1/2 de la

"Las brújulas de geólogo son instrumentos portátiles robustos y de tamaño pequeño. Habitualmente, están graduadas en grados sexagesimales"

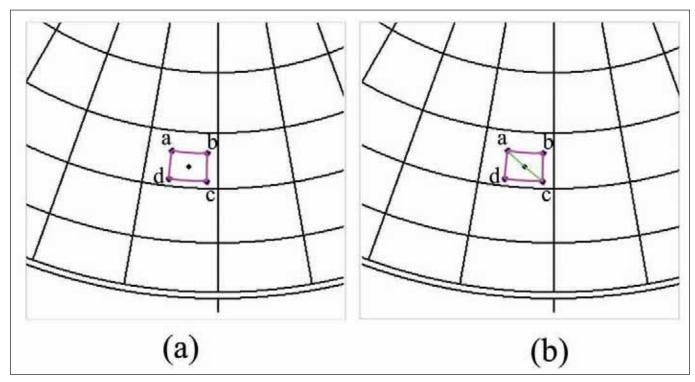


Figura 1. Proyección estereográfica. (a) "Trapecio de exactitud" a, b, c, d en el que se encuentra el polo de un plano. (b) Ángulo mayor entorno al plano, a-c, dentro del "trapecio de exactitud".

separación menor de la escala del instrumento o ±1/2 unidad del último dígito de su salida numérica.

Si medimos cualquier magnitud física con un instrumento y anotamos su valor, la exactitud del dato que referimos tiene una exactitud condicionada por la forma como expresamos dicho dato. Una persona diferente a la que hizo la medida, generalmente si no se indica otra cosa, interpretará que su exactitud es la que indica el último dígito: 16,32 m expresa, realmente, un valor entre 16,315 m y 16,325 m, su exactitud es de $\pm 0,005 \text{ m}$;

para expresar un valor más "exacto" habría que haber escrito 16,320 m, que es un valor entre 16,3195 m y 16,3205 m exactitud de ±0,0005 m.

Como ya hemos indicado, una medida geológica con la brújula consta de dos valores, ángulos, dirección de buzamiento y buzamiento (DB. B). Si un instrumento tiene divisiones de 5º en la escala de la brújula $E_{DB}=5^{\circ}$ y 5° en el clinómetro $E_{B}=5^{\circ}$, un plano medido con este instrumento, por ejemplo (4º, 66º) es un plano del que podemos decir que se encuentra entre $1,5^{\circ}$ y $6,5^{\circ}$ [4 - 5*1/2 = 1.5° y 4 + $5*1/2 = 6.5^{\circ}$] en dirección de

buzamiento y 63.5° y 68.5° [$16 - 5*1/2 = 63.5^{\circ}$ y 16 + 5*1/2 = 68,5°] en buzamiento. Gráficamente se puede ver en la representación estereográfica de la figura 1 que dicho plano, como consecuencia de la exactitud del instrumento, se encuentra realmente en cualquier punto del trapecio a, b, c, d de la figura 1 (a).

Las notaciones geológicas (DB, B) equivalen a unas coordenadas esféricas con radio 1, (1, DB, B). Las medidas son similares a las coordenadas terrestres: DB = longitud (ángulo en el ecuador de una esfera de radio 1, o medido en los paralelos, desde el Norte a derechas); B = latitud (ángulo medido en los meridianos desde el ecuador). Ello introduce algunas particularidades. El ángulo medido en un meridiano, es decir en nuestro caso el buzamiento B, se mide siempre sobre un círculo máximo de la esfera de proyección y, por tanto, es un ángulo esférico; ángulo medido entre dos radios de la esfera de provección en el plano que definen esos radios. La latitud, dirección de buzamiento, se mide sobre los paralelos y ecuador de la esfera de proyección, que son circunferencias de radios diferentes: menores en los paralelos de valores de buzamiento más bajos y de radio mayor los de mayor buzamiento; con radio máximo en

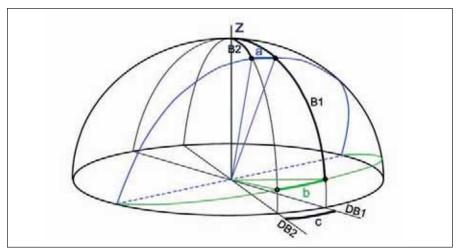


Figura 2. Los ángulos "a" y "b" se miden sobre círculos máximos: a < b < c.

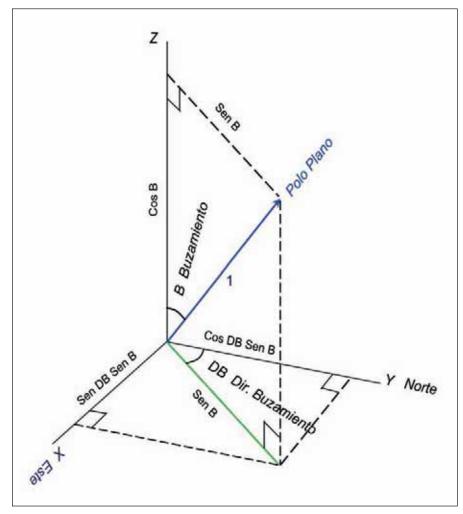


Figura 3. Paso de (DB, B) a coordenadas cartesianas (x, y, z)

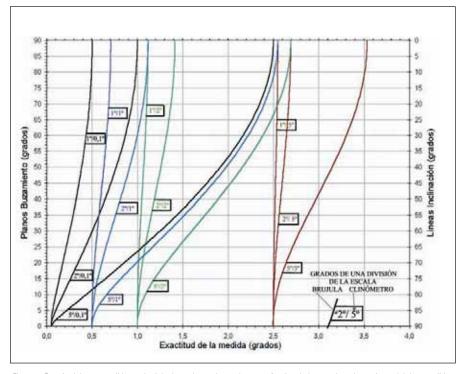


Figura 4. Exactitud de una medida con brújula de geólogo, plano o línea, en función de las escalas y buzamiento del dato medido. Exactitud = ±el valor indicado en la escala, eje de abscisas

el ecuador, buzamiento 90º. Luego el ángulo "a" entre los polos de dos planos de dirección de buzamiento DB1 y DB2 con el mismo valor de buzamiento B2, figura 2, es diferente y menor con buzamientos bajos que con buzamientos altos B1, "b", teniendo DB1 y DB2 el mismo valor; dado que el ángulo esférico real se mide sobre círculos máximos. En las medidas que realizamos la dirección está, pues, influida por el buzamiento.

Considerando que trabajamos con un instrumento "preciso" —es decir, siempre da el mismo valor cuando mide la misma magnitud—, ¿qué exactitud tiene entonces la brújula con la que trabajamos en función del tipo de divisiones de las escalas del limbo de la aguja magnética y clinómetro?

En notaciones (DB, B) la exactitud de una medida es ±1/2 de la división menor en grados de las escalas EDB y EB. Para definir la exactitud de una medida s preciso medir el ángulo esférico real mayor dentro del área de "exactitud" el dato, figura 1 (a). Dicho ángulo es la diagonal del trapecio de la exactitud figura 1 (b), ángulo entre [DB-1/2E_{DB}, B-1/2E_B] y [DB+1/2 E_{DB} , B+1/2 E_{B}]. Ese ángulo define un cono, con esa apertura, dentro del cual se encuentra el plano o línea medido.

Se precisa, pues, medir el ángulo entre dos planos (sus polos) o dos líneas. Esto se hace de forma sencilla transformando las medidas tomadas con brújula en vectores unitarios en coordenadas cartesianas, un plano (DB, B) = vector unitario (X, Y, Z), y midiendo el ángulo entre esos dos vectores en el plano que definen y los contiene: mediante su producto escalar.

Medida con la brújula (DB, B) Paso a vector unitario, modulo 1 (X, Y, Z), figura 3.

X = Seno(DB) * seno(B)

Y = Cos(DB) * seno(B)

Z = Coseno(B)

El ángulo "C" entre dos vectores se calcula de su producto escalar:

Vector A (Xa, Ya, Za), plano A Vector B (X_b, Y_b, Z_b), plano B

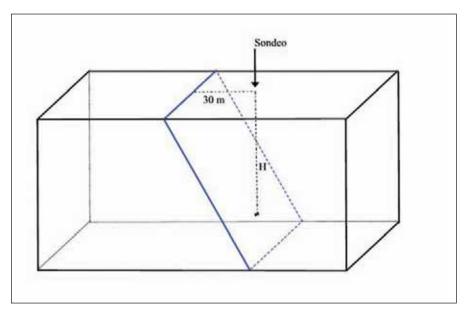


Figura 5.

Producto escalar A.B

 $A.B = M\'odulo A*Modulo B*cos(AB) = X_a*X_{h+}$ $Y_a * Y_b + Z_a * Z_b$

Como A y B son vectores unitarios su modulo es 1 luego

 $Cos(C) = X_a * X_{b+} Y_a * Y_b + Z_a * Z_b$ $C=\operatorname{arcocoseno}(X_a * X_b + Y_a * Y_b + Z_a * Z_b)$

De la forma anterior se han calculado los ángulos entre planos separados media división de cada una de las escalas para buzamientos de grado en grado. Con esos valores se ha construido la figura 4, en la que se indica la exactitud del dato en función del tipo de divisiones de las escalas de la brújula y del buzamiento del plano o línea medido.

Puede apreciarse con claridad que para un mismo instrumento (cualquier línea del grafico de la figura 4) la exactitud es variable y función del buzamiento. En cualquier instrumento son más exactas las medidas de planos con buzamientos bajos que con buzamientos altos; con las medidas de líneas sucede lo contrario, son más exactas las medidas con buzamientos altos que con buzamientos bajos.

Con divisiones de 1º en brújula y clinómetro la exactitud varía entre ±0,5° y ±0,7°, es decir, el plano o línea medida se encuentra dentro de un cono de ±1º a ±1.4º de apertura, en función de su buzamiento. Con 2º en ambas escalas se pasa a exactitud de 1º a 1,4º; la medida se encuentra dentro de un cono de 2º a 2,8º de apertura.

Con buzamiento "0°" en planos y "90°" en líneas la exactitud la marca el clinómetro: dado que el rumbo no existe en un plano horizontal o una línea vertical, la exactitud sólo se ve condicionada por una escala, la del clinómetro. Según aumenta el buzamiento en planos o disminuye en líneas,

"Son más exactas las medidas realizadas con una brújula con 20 en las divisiones del limbo de la aguja y 10 en el clinómetro que las realizadas con otro instrumento con divisiones de 10 en la aguja y 20 en el clinómetro"

el dato que medimos se hace menos exacto al empezar a incidir en la medida tanto la escala del clinómetro como la de la brújula; influencia que es máxima con buzamiento 90º en planos y 0º en líneas, que es cuando la exactitud es menor (cuando su valor numérico es más alto); ojo que los planos horizontales o líneas verticales *medidos* también tienen exactitud.

Un aspecto interesante e importante que se deduce de la figura 4 es la importancia del clinómetro. Son más exactas las medidas realizadas con una brújula con 2º en las divisiones del limbo de la aguja y 1º en el clinómetro que las realizadas con otro instrumento con divisiones de 1º en la aguja y 2º en el clinómetro.

Un ejemplo sencillo ilustra la incidencia de la exactitud de nuestra brújula, tal como se ha definido en esta nota. Supongamos que nuestro instrumento de trabajo tiene divisiones de 2º en la brújula y clinómetro. Medimos en la superficie del terreno el plano de techo de un dique D (12°, 70°). Si se emplaza un sondeo vertical a 30 m del dique, ¿a qué profundidad lo cortaremos con la perforación? Figura 5.

Un observador imparcial dirá la profundidad H es:

H = 30 * tan(70) = 82,42 m

Pero, si le decimos que se midió el dique con una brújula de geólogo con divisiones de 2º en el limbo de la aguja y en el clinómetro, un plano con buzamiento de 70º tiene una exactitud de ±1,4°, figura 4. La profundidad H a la que el sondeo cortará el techo del dique estará comprendida entre los siguientes valores:

 $H_1 = 30 * tan(70 - 1.4) = 76,55 m$ $H_2 = 30 * tan(70+1,4) = 89,14 m$

El sondeo debe cortar al dique entre 76.55 m y 89,14 m de profundidad. Con el dato empleado, medido con la brújula citada, existe una incertidumbre en la posición del punto de corte del dique de 12,59 m. La previsión que hay que hacer es de un sondeo, como mínimo, de 90 m de profundidad.

Fallo del Jurado del VIII Certamen Nacional de Fotografía

Reunidos en la Sede Central del ICOG, en Madrid, los miembros del Jurado del VIII Certamen Nacional de Fotografía "Emilio Elízaga", formado por las siguientes personas:

D. Luis E. Suárez Ordóñez. Presidente del ICOG

D. José Luis Barrera. Vicepresidente del ICOG

D. Manuel Regueiro y González-Barros. Secretario General del ICOG

D. Diego Caballo Ardila. Presidente de la Asociación Nacional de Informadores Gráficos de Prensa y Televisión (ANIGP-TV).
Redactor Jefe de Edición Gráfica de la Agencia EFE
D. Javier Ceballos Aranda. Geólogo y fotógrafo. Miembro Fundador de la Asociación Española de fotógrafos de la Naturaleza

Acuerdan otorgar los siguientes premios:

APARTADO COLEGIADOS

1er PREMIO

Desierto

A - 2º PREMIO

Obra: Lava

Autor: Joaquín Souto Soubrier

Por su fuerza visual y dinamismo
geológico, buen encuadre y composición

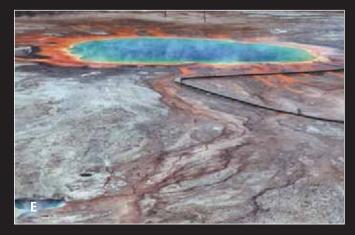
B - 3er PREMIO

Obra: El Cilindro de Marboré Autor: Juan Carlos Salamanca Mateos Por su contraste de formaciones geológicas y el elemento humano, logro del tono correcto fotográfico











APARTADO DE NO COLEGIADOS

C - 1er PREMIO

Obra: Orígenes inciertos

Autor: José Miguel Fernández Portal

Por su creatividad, composición y ángulo de toma. Foto sugerente del trabajo del geólogo de campo

D - 2º PREMIO

Obra: Fumarola

Autor: Asier Castro de la Fuente

Por la plasmación realista de un proceso volcánico con extraordinaria definición fotográfica

E - 3er PREMIO

Obra: Grand Prismatic Spring Autor: José Ignacio Ortega Santos

Por el excelente encuadre, medición de luz y elemento humano ante un proceso geológico

G - Mención especial

Obra: Clase sobre el terreno Autor: Santiago Chóliz Polo

Por la imaginativa al plasmar de modo creativo una clase sobre

paleontología

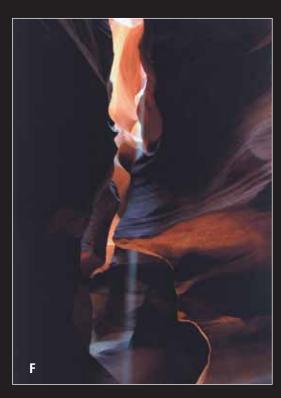
F - ACCÉSIT

1º y único. Obra: Antelope Canyon

Autora: María Garrido Gil

Por la delicada estética geológica y el buen empleo de la luz para destacar una formación geológica

En Madrid, a 16 de diciembre de 2005



Colegio Oficial de Geólogos

Creando contigo la Geología Profesional

Colegiación **ess** Visado

Asesoría

1000 Títulos profesionales

Formación

Bolsa de empleo

Tertulias

Revista Tierra y Tecnología

Es miembro de

-N N

Federación Europea de Geólogos

Unión Profesional

Unión Interprofesional de Madrid

Asoc. Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra

icog@icog.es - 915 532 403

