Tierra y Tecnología

REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACIÓN GEOLÓGICA

NÚMERO 24

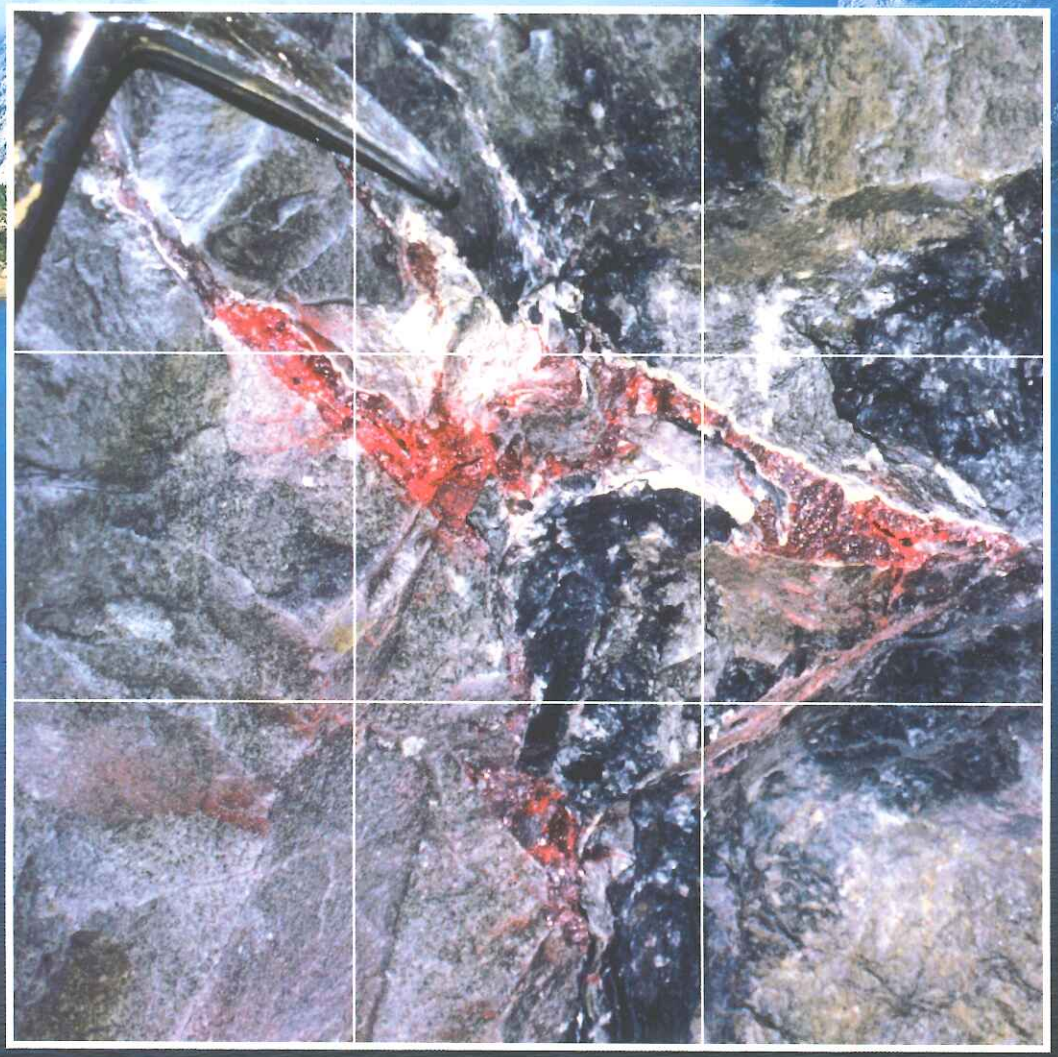
Navidad 2002

Hacia una nueva estrategia temática para la protección del suelo

Perímetros de protección de la calidad en captaciones de abastecimiento urbano

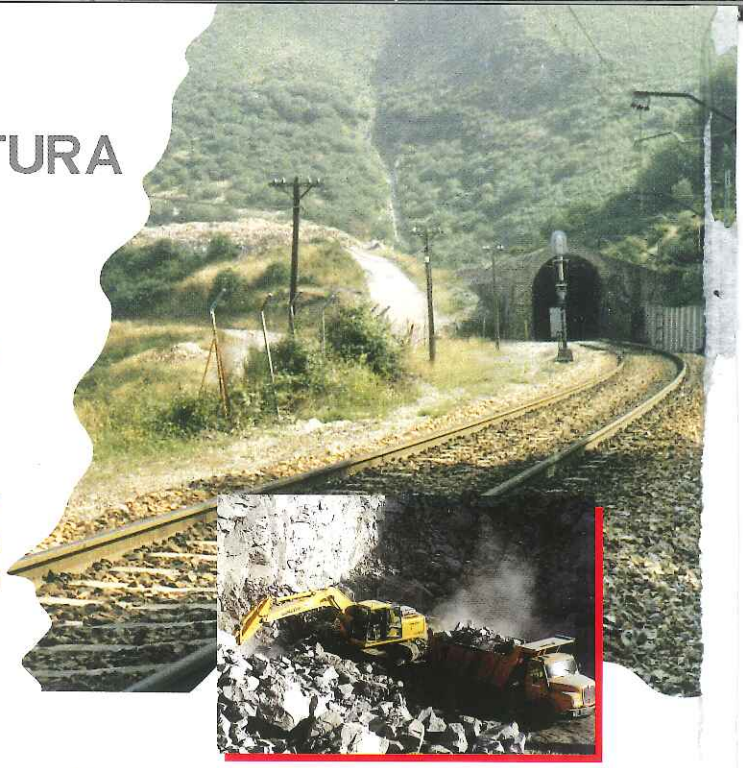
Geodiversidad y riqueza patrimonial de Castilla-León

Impacto geoambiental del *Prestige*



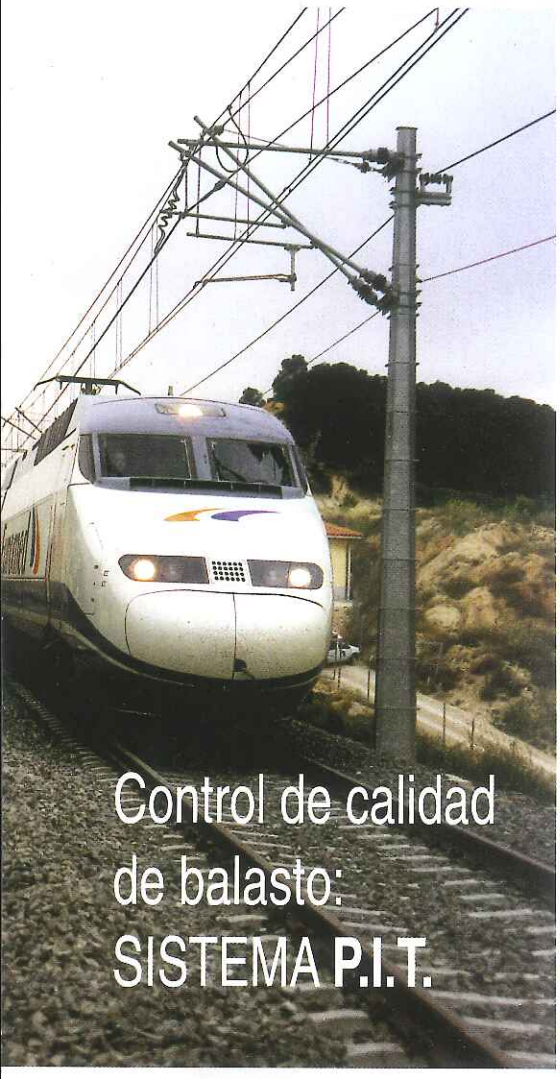
DICIEMBRE, 2002

MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE



Millones de metros cúbicos de balasto dan sujección y proporcionan estabilidad a los 15.661 km. de vía de RENFE para que nuestros clientes obtengan las máximas prestaciones de seguridad y confort.

Geotecnia y tecnología se dan la mano para conseguir que la infraestructura ferroviaria evolucione y permita mayor velocidad, mayor frecuencia y mayor calidad en la gestión del tráfico de trenes, con las garantías de seguridad, fiabilidad y disponibilidad necesarias .



- ✓ Adaptación de la Norma Europea de Balasto en España
- ✓ Informes geotécnicos de canteras de balasto
- ✓ Estudios de riesgos geológicos de la infraestructura (E.R.G.I.S.)
- ✓ Sistema de Información Geográfica
- ✓ Normativa geotécnica para el ferrocarril
- ✓ Estudios geotécnicos para proyectos de mantenimiento
- ✓ I+D en geotecnia
- ✓ Formación en Ingeniería Geológica y control de calidad de balasto
- ✓ Edición de vídeos técnicos



Mantenemos Vías de Futuro

UN de Mantenimiento de Infraestructura.
Edificio 22. Estación de Madrid Chamartín. 28036 Madrid.

Teléfono: (+34) 91 300 68 49
http: //www.renfe.es
e-mail: mtoinfra@renfe.es

● seguridad ● calidad ● fiabilidad ● disponibilidad

Tierra y Tecnología
REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACIÓN GEOLÓGICA

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

Administración y Redacción
Avda. de Reina Victoria, 8-4.° B
28003 MADRID
Teléfono: 915 532 403
icog@icog.es - www.icog.es

COMITÉ EDITORIAL
Editor Principal
J. L. Barrera Morate

Colaboradores
Julio Hernán Gómez
Marc Martínez Parra
Álvaro García García
Juan Pablo Pérez Sánchez
Carlos Martín Escorza

Corresponsales
Luis Alfonso Fernández Pérez (Asturias)
Andrés Pocovi Juan (Aragón)
Antonio Jesús García (Andalucía)

http://tierra.rediris.es/tt
webmaster-Enrique Pampliega

Diseño y Composición
TECNA, SL
Tel.: 915 780 226. Fax: 915 780 248
www.tecna.org

Imprenta
Grafistaff, SL

Fotos de Portada
Jaime Palacio Suárez-Valgrande. "Sin título"
Pablo Higueras. "Mineralizaciones de cinabrio en Las Cuevas (Almadén)"

ISSN: 1131-5016
Depósito 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.

SUMARIO / Nº 24 - diciembre 2002

Editorial. 4

Cena de Navidad 2002. J. L. Barrera Morate 6

Hacia una nueva estratégia temática para la protección del suelo.
La nueva política europea para la protección de la calidad de los suelos.
J. P. Pérez Sánchez 11

Geomorfológia climática. *Ángel Martín Serrano* 18

Mercurio en Almadén: del manto al medio ambiente.
Pablo Higeras Higueras 19

Zeolitas. Visión actual de unos productos multiusos.
Ángel La Iglesia, José P. Calvo, Michael G. Stamatakis 25

Perímetros de protección de la calidad en captaciones de abastecimiento urbano.
Carlos Martínez Navarrete, Álvaro García García 31

Minas de alumbre de Rodalquilar en el obispado de Almería: siglo XVI.
Francisco Hernández Ortíz 37

Aparición del libro 'La piedra en Castilla y León' 46

Geodiversidad y riqueza patrimonial de Castilla y León.
Jaime Palacio Suárez-Valgrande 47

Poesía. Cementerio de San Justo. Cochabamba. *Antonio Martínez Gómez* 56

El museo del departamento de geología de la Universidad de Oviedo.
Dámaso B. Moreiras Blanco, Luis M. Rodríguez Terente 57

Impacto geoambiental del Prestige.
Pedro Agustín Robledo Ardila, Inés Irribarren Campaña 63

El profesor García de Figuerola. Incursiones y excursiones en torno a la granitología Ibérica. *L.G. Corretgé* 69

Planificación de explotación de georrecursos:Afloramiento kárstico de Cerro del Hierro. *G. Aguirre Murúa* 75

Las Negras: Una víctima más de la anarquía desarrollista.
Carlos León Gómez 80

Helictitas en la región del Esla: Descubrimiento de un gran yacimiento.
J. A. Porres Benito, H. B. Gutierrez, M. van Heiningen, Sergio Ibáñez García 83

Caracterización mineralógica y evaluación medioambiental del material particulado en la atmósfera de Oviedo.
Irene Rodríguez Marcos, Celia Marcos Pascual 93

V Certamen Nacional de Fotografía Geológica. 98

Editorial

En el 2003, el colegio cumple sus 25 años de existencia. No son muchos si lo comparamos con los de otros colectivos que tiene más de cien años, pero ha sido, para los gestores que lo han regido en este periodo, un camino difícil aunque siempre ascendente.

En diciembre de 1978, después de un trabajo prolongado y tenaz de la Junta Gestora que propuso la creación del colegio, éste se creó por Ley 73/1978 de 26 de diciembre. Surgió para la defensa y apoyo de los intereses de los Geólogos, y eso es lo que ha estado haciendo desde sus inicios.

Como saben los colegiados de aquella primera época, la creación no estuvo exenta de oposición por parte de otros colectivos profesionales que veían amenazadas sus competencias laborales y protagonismo social pero, al final, la lógica de los hechos se impuso y el Colegio Oficial de Geólogos fue una realidad para el beneficio de la sociedad.

A los geólogos nadie nos ha regalado nada, todo nos lo hemos tenido que ganar a pulso. Para la historia quedará esa fecha de creación como el día en que la sociedad española comenzó a normalizar, después de años de retraso histórico, su relación con los profesionales de la Geología. Mucho se ha avanzado desde entonces y mucho se ha aprendido en el gobierno y gestión del colegio. Pero ese mucho nunca es suficiente y, por tanto, queda aun bastante por aprender y varios aspectos por normalizar.

Con la aprobación de los nuevos Estatutos del ICOG, publicados por el Real Decreto 1378/2001, de 7 de diciembre de 2001, se han abierto nuevas posibilidades de actuación que aumentan los campos de actividad, aunque, para ser sinceros, algunos de ellos no son nuevos sino la constatación pública de los que son propios de geólogos. Solo queda que varias de estas nuevas actividades tengan su reflejo en las famosas y controvertidas Relaciones de Puestos de Trabajo de las Administraciones (las RPTs) que, desgraciadamente siguen marginando, en bastantes ocasiones, a los Geólogos.

Todavía es grande el desconocimiento que muchos ciudadanos tienen, yo diría que la mayoría, de la existencia de la profesión de geólogo. Es sorprendente la cara que se les queda cuando le dices que eres geólogo. Claro que es más sorprendente la que se te queda a ti cuando afirman "¡Ah! Vosotros sois los que os metéis en las cuevas o realizáis excavaciones". Sin embargo, a pesar de estas manifestaciones casi surrealistas, algo se ha avanzado, pues hace años confundían al geólogo con el teólogo, supongo que por eso de que solo se diferenciaban en la primera letra, o por el recuerdo histórico de la teoría del Diluvio y el relato bíblico para explicar la formación y estructura de la tierra.

A pesar de nuestra juventud, hay indicios que apuntan a la madurez progresiva del colectivo. Ya es frecuente nuestra presencia en los medios de comunicación, bien porque requieren nuestras opiniones técnicas en diversos campos o porque acuden a nuestra solicitud de presencia en los diversos actos que organiza el colegio. Cada vez son más los sectores en los que la incorporación de los geólogos se considera indispensable, incluidos algunos de alta especialización. La participación en foros profesionales, docentes, sociales, políticos y culturales esta alcanzando cotas desconocidas hasta ahora. También el aumento de colegiados y delegaciones autonómicas se suma a la dinámica creciente de participación activa del colectivo en los diversos ámbitos sociales y laborales. Pero no todo es tan bonito como desearíamos. Aun son bastantes los aspectos en donde la teoría va por delante de la práctica, y queda mucho para normalizar la presencia del geólogo en la vida pública y profesional española. Solo tenemos que observar, por ejemplo, los cuadros directivos de los organismos del Estado o de las Autonomías con funciones o responsabilidades en Ciencias de la Tierra para sorprendernos por la ausencia de geólogos en la gestión de actividades fundamentales de contenido geológico. En algunos sectores se han quedado paralizados en los viejos tiempos, por no decir en el Antiguo Régimen, y siguen pensando que los geólogos son más unos científicos puros que unos profesionales de aplicación. Para muestra tenemos las recientes manifestaciones de un alto cargo de la administración cuando, a preguntas de los periodistas respecto a su opinión sobre unas declaraciones del Colegio de Geólogos, contestó que "no voy a discutir con instituciones científicas". Es esta situación la que convendría corregir desde su inicio, en los momentos que se diseñan las RPTs en las Administraciones, y no teniendo que recurrir al engorroso, lento y costoso proceso judicial.

También por nuestra parte, la toma de conciencia de que somos profesionales no es del todo plena. Así lo demuestra la irresponsabilidad de algunos que continúan sin visar proyectos, despreocupándose de las responsabilidades civiles y penales del ejercicio profesional, o no colegiarse, argumentando que no sirve de nada. Esto no es más que una actitud de ignorancia de quién no asume que su trabajo es una profesión o de quien adopta posiciones insolidarias con los geólogos más jóvenes que están empezando su carrera.

Por último hagamos una reflexión sobre la revista. Llevar una revista como Tierra y Tecnología es una tarea más compleja de lo que parece. Sobre todo si se quiere que salga bien y preste un buen servicio a los colegiados.

Recordemos que nuestra profesión es la de geólogo y no la de editores. Nuestros recursos no dan todavía para contratar a periodistas y una redacción de profesionales del periodismo que editen la revista. Por tanto, nosotros somos los que tenemos que hacerlo todo. La revista TyT ha alcanzado, como otros servicios colegiales, un nivel bastante digno. Así es al menos como lo manifiestan muchos de sus lectores. Sin duda, siempre se podrá hacer mejor, y en eso estamos. La calidad alcanzada se ha conseguido gracias al esfuerzo de los que han colaborado en su ejecución, principalmente a los directores que ha tenido. El último, Oswaldo García-Hernán, nos ha manifestado el deseo de dejar la dirección de la revista por decisión personal. Él ha contribuido, no solo a mantener el nivel que tenía cuando se hizo cargo de ella, sino a superarlo. La revista se ha publicado estos dos últimos años con mayor número de páginas, lo que ha contribuido a aumentar los artículos y la participación de autores. El contenido temático ha sido cada vez mejor y, durante su dirección, se han elaborado los índices temáticos y de autores que siempre son una buena herramienta para la consulta de hemeroteca. El colegiado se ha acostumbrado a ese nivel y no quiere renunciar a él, por lo que el siguiente responsable de la dirección tendrá que trabajar mucho si quiere continuar con ese alto grado de calidad. Reconozcamos pues, desde estas páginas, el esfuerzo que ha hecho Oswaldo García-Hernán por mantener dignamente el nivel de la revista, esperando que su colaboración externa continúe como expresión de su constante preocupación por la mejora de nuestra profesión.

NORMAS DE PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

- Para solicitar la publicación de artículos se enviará por fax, correo postal o correo electrónico (e-mail) a la dirección de la revista un breve resumen del contenido del mismo, con el título, nombre completo de autor/es con su dirección y puesto de trabajo. El resumen podrá estar escrito en cualquiera de las lenguas oficiales reconocidas en el estado español, o en inglés. El comité de redacción lo valorará y aceptará en su caso.
- El comité de redacción seleccionará los artículos en función de su temática, contenido y oportunidad a través de los resúmenes y lo comunicará a los autores.
- Los autores serán los únicos responsables de las opiniones de los mismos.
- Los artículos serán escritos exclusivamente en castellano. Serán inéditos, tendrán carácter divulgativo y versarán, preferentemente, sobre temas relacionados con las técnicas y ciencias de la tierra.
- El comité de redacción valorará el contenido de los artículos y comunicará a los autores su aceptación a denegación, en su caso.
- El comité de redacción comunicará la aceptación de los artículos a los autores, recomendando la extensión y orientación del tema, así como la fecha probable de publicación.
- El artículo se compondrá de los siguientes apartados: Título, Breve resumen (sólo en castellano), Texto con epígrafes y tablas y Referencias bibliográficas (no superar las 6 ó 7 referencias).
- Las referencias bibliográficas se referenciarán dentro del texto con un número (ejemplo, (1))
- La parte gráfica se referenciará dentro del texto, siendo recomendable una figura por cada dos páginas enviadas de texto.

Características del texto original

- El texto se escribirá en procesador de texto (Word), letra Arial o similar, tamaño 11, con un espaciado interlineal de 1,5 y márgenes estándar de Word. El tamaño de página será DIN-A4.
- El texto se enviará en disquete con dos copias en papel.
- La extensión máxima será de 10 páginas, catalogándose los artículos en cortos (hasta cuatro páginas) o largos (de cuatro a diez páginas)

Características de la parte gráfica

- Todo soporte gráfico que acompañe al artículo sera considerado como Figura. Podrán ser esquemas, gráficos o fotos (b/n o color). El soporte recomendable es la diapositiva, reservándose la redacción el derecho de rechazar fotos de mala calidad.
- Los pies de figura se adjuntarán en hoja independiente.

Envíos a: Tierra y Tecnología (ICOG); Av. Reina Victoria 8, 4B, 28003-Madrid;
Fax: 915 330 343 E-mail: icog@icog.es

Cena de Navidad 2002

J. L. Barrera Morate

Geólogo

Como es costumbre en la actividad social del colegio, el ICOG celebró su cena de Navidad el día 11 de diciembre, en el restaurante Samarkanda de Madrid, con la asistencia de colegiados e invitados. Con motivo de transmitir al colectivo un tema de tanto interés como es la situación del colectivo de geólogos en Europa, se invitó al Presidente de la Federación Europea de Geólogos, el geólogo sueco Christer Akerman, director del departamento de recursos minerales del Servicio Geológico de Suecia, acompañado de su esposa. En la mesa presidencial también estuvo el presidente del Colegio de Geólogos de Chile Anibal Gajardo que trabaja en el Servicio Nacional de Geología y Minas de Chile (SERNAGEOMIN).

A la cena acudieron cerca de 240 personas, entre colegiados e invitados especiales, que llenaron la sala completamente. Como ha ocurrido otros años, hubo colegiados que no pudieron asistir por falta de sitio, lo que no es una situación deseada por el colegio. Por tanto, el próximo año, se hará un esfuerzo por buscar una sala más grande, para evitar este contratiempo.

En la cena se entregaron las distinciones concedidas en el año 2002, con lo que la estructura del acto cambió respecto a la de años anteriores.

Palabras del Presidente e invitados

El presidente del ICOG, Luis E. Suárez, dirigió su habitual discurso sobre las principales actividades realizadas por el colegio en el año 2002, destacando la buena marcha del mismo y los objetivos que se tienen marcados para el año 2003. Suárez, primeramente hizo un repaso del primer año de vigencia de los Estatutos del ICOG y, en concreto, del articulo 21 que enumera las cuarenta funciones profesionales de los geólogos. El objetivo del ICOG es que estas funciones profesionales que desarrollan competitivamente los geólogos en el sector privado, sean extrapoladas al sector público mediante unas Relaciones de Puestos de Trabajo (RPTs), que recojan plazas para geólogos de manera análoga al sector privado.

Con el fin de formar a los profesionales en los nuevos campos de actividad que demanda el mercado, el Colegio ha habilitado la Escuela de Geología Profesional que tiene en marcha 16 cursos de formación en el año 2003, para hacer efectivo el lema colegial de "La competencia para el competente" y reivindicar la apertura de las RPTs de las administraciones a todos los titulados superiores sin exclusión.

Así mismo, el Presidente fijo como objetivo la consecución de una

nueva Sede Colegial en Madrid para el ICOG y el futuro Consejo Superior de Colegios Profesionales de Geólogos, con el fin de adecuar los servicios que se ofrecen a la demanda creciente de colegiados y actividades internas.

Por último, Suárez resaltó las incertidumbres y retos que plantea la creación del Consejo Superior de Colegios de España, institución necesaria, debido a la propuesta de segregación de la Delegación Andaluza del ICOG y su constitución como Colegio de Geólogos de Andalucía.

El Presidente del ICOG solicitó que se antepusieran los intereses de los colegiados a cualquier otro tipo de interés particular y que los Estatutos del Consejo Superior de Geólogos se realizaran de una forma consensuada, a fin de implementar una estructura colegial que diera el mejor servicio a los colegiados.

Posteriormente, intervino Anibal Gajardo, Presidente del Colegio de Geólogos de Chile, para exponer la situación que tienen los geólogos chilenos y las perspectivas de trabajo. Por último intervino el Presidente de la FEG, Christer Äkerman, que destacó los principios y organización de la Federación Europea de Geólogos, y la importancia que tiene esta organización para defender los intereses de los geólogos profesionales en Europa.

Durante la cena, el Vicepresidente 2º del ICOG, Oswaldo García-Hernán, entregó los premios de fotografía correspondientes al V Certamen de Fotografía Emilio Elízaga que contó este año con la presencia de más premiados que en otras convocatorias.

El Colegio ha habilitado la Escuela de Geología Profesional que tiene en marcha 16 cursos de formación en el año 2003



Mesa presidencial. Sentados (de izquierda a derecha) José Luis Barrera, Aníbal Gajardo, Luis Suárez, Christer Äkerman. De pie (de izquierda a derecha) Antonio Goy, Isabel Gómez, Joaquín Lahoz, Clemente Sanz, Cristina Sapalsky, Juan Carlos Trillo y David Navarro.

Entrega de las distinciones colegiales

Antes de cenar, y en aplicación de los artículos 90 y 91 de los Estatutos colegiales, el Presidente del ICOG, Luis Suárez, entregó las diferentes distinciones aprobadas por acuerdo unánime de la Junta de Gobierno y la Asamblea General. El Vicepresidente 1°, José Luis Barrera, hizo de moderador del acto y de introductor de los distinguidos.

Hacía tiempo que el ICOG no otorgaba distinciones a miembros destacados del colectivo u otras personas que, por su labor en defensa del geólogo, hubieran sido merecedoras de alguna distinción.

Como **Colegiados de Honor** fueron distinguidos D. Manuel Rolandi Sánchez-Solís (n° col. 1128) y D. Clemente Sanz Blanco (n° col. 959).

El primero, por su constante apoyo y dedicación al desarrollo del ICOG desde los cargos que ha ocupado en el mismo (Vicepresidente 1° y primer Director de la revista T&T), así como en otros foros en los que ha actuado representando al colegio. El moderador del acto, destacó que Rolandi siempre ha atendido solícito todas las



Luis Suárez entrega la distinción a Manuel Rolandi.

El Presidente fijo como objetivo la consecución de una nueva Sede Colegial en Madrid para el ICOG y el futuro Consejo Superior de Colegios Profesionales de Geólogos



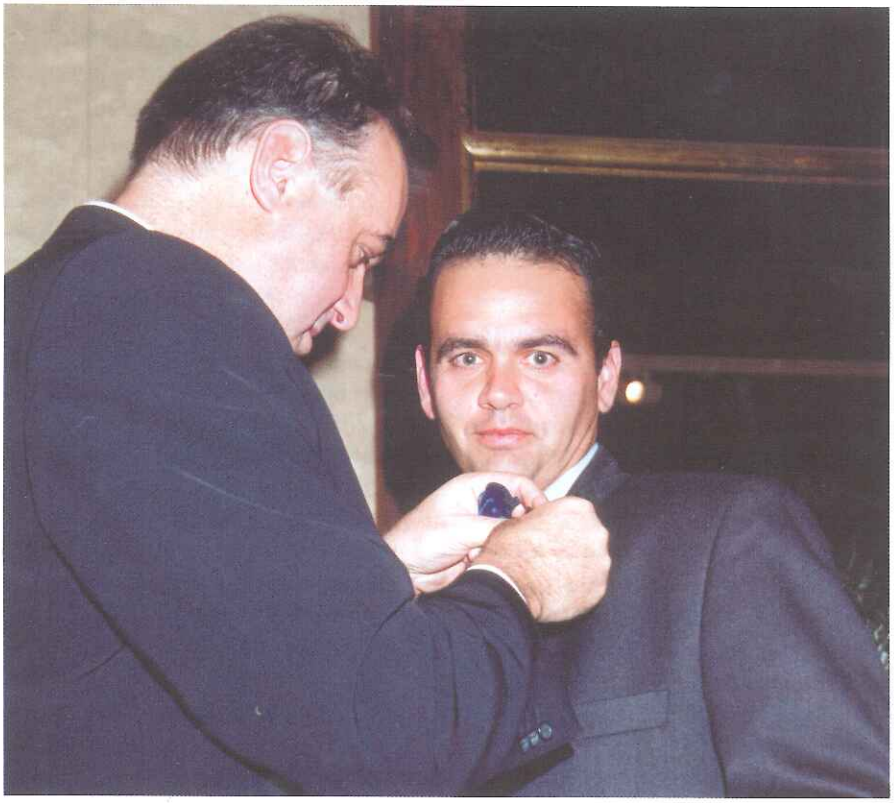
Luis Suárez entrega la distinción a César Cañedo-Argüelles.

colaboraciones que le ha pedido el colegio. En el ámbito profesional se le reconoce el prestigio que ha logrado como Hidrogeólogo y la constante preocupación por la presencia de los geólogos en todos los proyectos de hidrogeología. Esa labor en defensa de la profesión y del buen hacer le ha llevado a ganarse el prestigio profesional de las instituciones públicas y privadas españolas y a elevar a su equipo de trabajo de hidrogeólogos a cotas altas de valoración técnica.

De Clemente Sanz se destacó su permanente labor de apoyo y promoción de la Geología tanto en el ejercicio de la profesión, como en sus tareas ejecutivas en las Administraciones Públicas y en el Senado, a favor de la profesión de Geólogo. Es una tarea que la viene realizando sin complejos desde hace varios años. Al igual que Rolandi, Sanz siempre ha atendido,



Luis Suárez entrega la distinción a Juanita Sagredo, viuda de José Ramón Peláez.



Luis Suárez entrega la distinción al hijo de Manuel del Valle.

El Presidente del ICOG solicitó que se antepusieran los intereses de los colegiados a cualquier otro tipo de interés particular y que los Estatutos del Colegio Superior de Geólogos se realizaran de una forma consensuada

orientado y guiado varias de las actuaciones políticas que le ha consultado la Junta de Gobierno del ICOG, lo que ha facilitado el acercamiento a los estamentos de gobierno de España en beneficio del colectivo de geólogos.

Como **Miembros de Honor,** el ICOG distinguió a dos ingenieros de caminos, D. César Cañedo-Argüelles Torrejón y D. Rafael Pérez Arenas.



Luis Suárez entrega la distinción a Juan Carlos Trillo.

El primero es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Presidente de la Empresa PROINTEC y Vicepresidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. El moderador justificó la distinción por el constante reconocimiento que ha hecho Cañedo-Argüelles de la importancia de la actividad profesional del geólogo en el desarrollo social. Esta preocupación no ha sido solo de palabra pues los hechos avalan que su empresa fue una de las primeras en contar en su plantilla, hace 30 años, con titulados en Ciencias Geológicas. Desde esa fecha no ha parado de contratar nuevos geólogos hasta convertirse en una de las empresas de consultoría en la que más geólogos trabajan. Igualmente, su empresa PROINTEC es la compañía que mayor número de peticiones realiza a la bolsa de empleo del ICOG. Pero por encima de todo esto, el moderador del acto destacó de Cañedo-Argüelles su carácter, un hombre negociador, bueno y generoso, cualidades muy destacables en el mundo que vivimos.

Por su parte, Pérez Arenas es Presidente de la Asociación de Ingeniería Geológica Española (AIGE) e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. La distinción se le concede por su apoyo y colaboración continuos en muchas de las actividades que realiza el ICOG, como cursos y jornadas de Ingeniería Geológica; Bolsa de Trabajo y Desarrollo Profesional. Es esta última actividad es muy conocido su apoyo por la colocación de los geólogos en diversas empresas (puestos para realizar prácticas en empresa). También se le reconoce su labor de interlocución a favor de los Geólogos ante altos cargos de las Administraciones Públicas y Privadas, cuando el ICOG demanda su colaboración. Si hay alguna persona que conjuga su condición de ingeniero con la de geólogo honorífico es Pérez Arenas.

En la ceremonia de las distinciones, el ICOG distinguió este año a tres geólogos con la **Insignia de Oro** a título póstumo: D. Ramón Peláez Pruneda (nº col. 73), D. Horacio Abril y D. Manuel del Valle.

Del primero, el moderador destacó la abnegada y constante dedicación pedagógica que ejerció a la formación de los geólogos españoles en la materia de cartografía, y por su apoyo sistemático al desarrollo y dirección del curso de Hidrogeología Noel Llopis, que ha servido para formar a muchos hidrogeólogos españoles. Recogió la distinción su viuda, la también geóloga Dña. Juana Sagredo.

La distinción a Horacio Abril se hizo a propuesta de la Delegación de Aragón y, por tal motivo, se entregó en la Delegación de Aragón unos días más tarde.

A propuesta de la Delegación de Andalucía, el Colegio distinguió a Manuel del Valle por su trayectoria profesional en el campo de la Hidrogeología. Recogió la distinción su hijo.

Para finalizar se entregaron dos **Menciones de Honor.** La primera fue al Excmo. Sr. D. José Ángel Biel Rivera, Vicepresidente del Gobierno de Aragón. La distinción, concedida a propuesta de la Delegación de Aragón, se justifica por el interés demostrado por Biel en poner de manifiesto los importantes recursos geológicos de las comarcas aragonesas. En su nombre, recogió la distinción Juan Carlos Trillo Baigorri, Director General de Comercio.

La segunda mención fue para D. Valeriano Perianes (nº col. 1412) por su apoyo a la Junta de Gobierno del ICOG en los últimos años, en todo aquello que ésta le ha solicitado. Especialmente hay que mencionar el éxito de su gestión para conseguir la asistencia de D. José Luis Rodríguez Zapatero, Secretario General del Partido Socialista Español, como invitado principal a la cena de Navidad del ICOG celebrada en diciembre de 2001. Perianes no pudo asistir a la entrega, por motivos personales, y, en su nombre, la distinción la recogió el colegiado Carlos Duch.

Hacia una nueva estrategia temática para la protección del suelo. La nueva política europea para la protección de la calidad de los suelos

Juan Pablo Pérez Sánchez

Geólogo
Jefe de Equipo
Garrigues Medio Ambiente

El Consejo de Ministros de Medio Ambiente de la Unión Europea, reunido en Luxemburgo el 25 de junio de 2002, dio luz verde a las primeras "Conclusiones del Consejo para la Protección Integrada del Suelo", que servirán de embrión para la futura política y legislación comunitaria en materia de protección de la calidad del suelo europeo.

Con anterioridad, la Comisión Europea había publicado con fecha 16 de abril de 2002, la Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, "*Hacia una estrategia temática para la protección del suelo*" (COM2002 179 final). Este documento proporciona una perspectiva global, amplio punto de vista de los elementos y factores relativos a los procesos de degradación y a la protección del suelo y ha servido de base para un adecuado debate en el seno del Consejo, con el fin de poder definir las futuras acciones comunitarias en esta materia.

Esta nueva actuación dentro de la Unión Europea para el desarrollo de elementos de protección del suelo ha surgido a iniciativa del Ministerio de Medio Ambiente español, que identificó como área de actuación prioritaria la ausencia de una política y una legislación específica de salvaguarda de los suelos dentro de la política ambiental europea. Durante la Presidencia Española de la UE, en el primer semestre del año 2002, España ha impulsado esta iniciativa y ha hecho de la promoción y desarrollo de una política común de protección del suelo en la UE, uno de los ejes principales de su período de mandato político medioambiental.

Situación política y legislativa en la Unión Europea

En el ámbito de la Comunidad, la Unión Europea ya cuenta con políticas efectivas y legislación ambiental específica para la protección de la atmósfera y del agua. No obstante, el suelo carece de una política y de una legislación concreta. La propia Comisión reconoce este hecho tal y como se recoge en su Comunicación de abril de 2002, anteriormente mencionada, donde expresa lo siguiente: "*A pesar de que en algunos ámbitos de actuación específicos se han adoptado medidas relacionadas con la protección del suelo, por el momento, no existe una*

estrategia comunitaria global al respecto. Es por tanto necesario, aplicar una estrategia temática a fin de apoyar un esfuerzo integrado y orientado a favor de una gestión sostenible del suelo en la UE".

De hecho, la estrecha vinculación existente entre el suelo y los otros grandes compartimentos ambientales se refleja en la legislación ambiental comunitaria que, aun siendo específica de otros aspectos, contribuye, aunque de forma muy general y de manera insuficiente, a la protección del suelo. Entre otros ejemplos, cabe mencionar:

- La Directiva de Nitratos 91/676/CEE del Consejo, que establece normas que previenen la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, e indirectamente la contaminación de los suelos, tales como la aplicación de buenas prácticas agrícolas y programas de acción en las zonas vulnerables a la acción de los nitratos.
- La Directiva Marco de las Política de Agua 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, que promueve garantizar las funciones ecológicas del agua, exigiendo que se analicen todos los efectos y se tomen medidas dentro de los planes de gestión de las cuencas que comprendan la reducción de la erosión, del exceso de abonos en el suelo y la recuperación de terrenos contaminados.
- Las Directivas destinadas a reducir y evaluar el grado de contaminación atmosférica, tales como la Directiva Marco de Evaluación y Gestión de la Calidad del Aire 96/92/CE y Directivas derivadas 1999/3/CE y 2000/69/CE del Consejo, y Directiva sobre límites nacionales de emisiones 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, que establece medidas que indirectamente reducen la aparición de efectos adversos como la lluvia ácida y la llegada al suelo de metales pesados.
- Las Directivas desarrolladas para la correcta gestión de los residuos, entre las que se destacan la Directiva Marco sobre Residuos (75/442/CEE del Consejo y desarrollos sucesivos); la Directiva 86/278/CEE del Consejo sobre Lodos de Depuradora; la Directiva de Vertido de Residuos (1999/31/CE del Consejo), la de Incineración de Residuos (2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo), y la Directiva sobre Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas (91/271/CEE del Consejo), constituyen un elemento clave en la prevención de la contaminación y en la reducción de las amenazas del suelo.
- La Directiva 97/11/CE del Consejo sobre el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, que establece la necesidad de acometer medidas de minimización del impacto ambiental, incluido el suelo y las aguas subterráneas, en la mayoría de las actividades industriales y de construcción antes de que estas se ejecuten.
- De gran importancia es la Directiva sobre Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC - 96/61/CE del Consejo), transpuesta a la legislación nacional a través de la Ley 16/2002 de 1 de julio y que regula todo el sistema administrativo de otorgamiento de licencias ambientales.
- La Directiva de Control de Riesgos Inherentes a los Accidentes Graves en los que Intervengan Sustancias Peligrosas, 96/82/CE, que establece una serie de medidas preventivas y de actuación ante accidentes graves en que intervengan sustancias peligrosas con el fin de limitar el daño a la población y al medio ambiente.

En la **tabla 1** se muestra una relación de las principales Directivas Medioambientales Comunitarias y sus implicaciones, directas o indirectas, en la protección del subsuelo.

Así mismo, el Sexto Programa comunitario de Acción en materia de Medio Ambiente (COM –2001- 31 Final) publicado el 24 de enero de 2001, establece las prioridades y objetivos principales medioambientales que van a formar parte de la estrategia medioambiental de la Comunidad Europea en el futuro inmediato. Entre otras cosas, ya establece como uno de sus objetivos prioritarios "proteger y restaurar el funcionamiento de los sistemas naturales y detener la pérdida de biodiversidad en la Unión Europea y en el mundo; proteger los suelos contra la erosión y la contaminación". Entre las iniciativas que se proponen para lograr este objetivo se establece la creación de una estrategia para la protección del suelo en Europa.

Pero quizás, una de las políticas que más haya afectado, afecte y pueda afectar a la protección del suelo europeo, tanto positiva como negativamente, es la Política Agrícola Común (PAC), la cual presenta una escasa integración de las cuestiones medioambientales.

En concreto, el 77% de la tierra de la UE se destina a la agricultura y la silvicultura, por lo tanto, la política agrícola tiene un efecto enorme en el suelo (**figura 1**). La aplicación de la nueva PAC, en pleno debate en estos momentos, debería servir para que los responsables de las administraciones públicas potencien los mecanismos que la propia PAC establece, para el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan las amenazas para el suelo derivadas de la agricultura y favorezcan aquellas que sirvan para su protección.

En el año 2000 se aprobaron nuevos planes de desarrollo rural que incluyen una definición de buenas prácticas agrícolas (BPA), en las que la protección del suelo recibe una atención considerable. Entre estas medidas, cabe destacar por su ayuda a la protección del suelo: laboreo de tierras siguiendo las curvas de nivel en zonas de vulnerabilidad a la erosión; definición



Figura 1.- El 77% del suelo de la UE se destina a la agricultura y la silvicultura.

Tabla 1.- Principales Directivas medioambientales de la Unión Europea vinculadas con la Protección del Suelo.

Documento/Directiva	Sector	Vinculación en la protección del subsuelo
Directiva de Residuos 75/442/CEE; 91/156/CEE y sus desarrollos	Residuos	Prevención indirecta de la contaminación de suelos y aguas subterráneas.
Directiva de Lodos de Depuradora 86/278/CEE	Residuos	Prevención de la contaminación directa de suelos y aguas subterráneas.
Directiva sobre Aceites Usados 75/439/CEE, modificada por las Directivas 87/101/CEE y 91/692/CEE	Industria	Prevención de la contaminación del suelo por vertido directolas de aceites usados.
Directiva 91/157/CEE relativa a pilas y acumuladores, modificada por las Directivas 93/86/CEE y 98/101/CE	Residuos	Se establecen medidas de gestión y eliminación de determinadas materias peligrosas que contengan pilas y acumuladores.
Directiva de Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas 91/271/CEE, modificada por la Directiva 98/15/CE	Aguas	Prevención de contaminación directa de aguas superficiales e indirecta de suelos y aguas subterráneas.
Directiva de Nitratos 91/676/CEE	Agrícola	Prevención de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.
Directiva 96/59/CE de Eliminación de PCB/PCT	Residuos	Estableciendo medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos y de los policloroterfenilos y aparatos que los contengan.
Directiva sobre Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC) - 96/61/CE	Industria	Establecimiento de medidas preventivas a las industrias para reducir el impacto de estas en el medio, incluyendo los suelos.
Directiva de Control de Riesgos Inherentes a los Accidentes Graves en los que Intervengan Sustancias Peligrosas 96/82/CE	Residuos	Establecimiento de medidas preventivas, tanto para la seguridad de los trabajadores y población vecina como del medio ambiente, de accidentes graves en que intervengan sustancias peligrosas.
Directiva Marco de Evaluación y Gestión de la Calidad del Aire Ambiente 96/62/CE	Aire/Industria	Establecimiento de medidas que reducen la aparición de lluvia ácida y la llegada al suelo de metales pesados.
Directiva de Impacto Ambiental 97/11/CE	Industria/ Construcción	Establecimiento de medidas directas para la prevención de la contaminación de suelos y aguas.
Directiva de Vertido de Residuos 1999/31/CE	Residuos	Gestión correcta de residuos que evita la contaminación directa de suelos y aguas subterráneas.
Directiva de Vehículos al Final de su Vida Útil 2000/53/CE	Residuos	Medidas de prevención de los residuos procedentes de vehículos y, adicionalmente, a la reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los vehículos al final de su vida útil y sus componentes.
Directiva Marco de la Política de Aguas 2000/60/CE	Agua	Medidas para la reducción de la erosión, del exceso de abonos en el suelo y la recuperación de terrenos contaminados.
Directiva sobre Incineración de Residuos 2000/76/CE	Residuos	Establece medidas para impedir ó limitar los efectos negativos sobre el medio ambiente derivados de la incineración y coincineración de residuos.
Directiva de Evaluación de Efectos de Determinados Planes y Programas en el Medio Ambiente 2001/42/CE	Industria/ Construcción	Establecimiento de un elevado nivel de protección del medio ambiente realizando Evaluaciones Medioambientales de Planes y Proyectos de utilización del suelo.

Tabla 2.- Media de los volúmenes de suelo perdidos por hectárea y año en tres países europeos, en el periodo comprendido entre 1990 y 1995. Fuente. Agencia Europea de Medio Ambiente. Environment in the European Union at the turn of the Century, 1998.
*** El valor para Austria se refiere a una pérdida media de suelo en terreno agrícola cubierto por plantaciones de maíz, patatas, remolacha y cebada.**

País	Media de la pérdida total de suelo (t/ha/año)	Pérdida de suelo en terreno agrícola	Pérdida de suelo en bosques	Pérdida de suelo terreno seco con vegetación	Pérdida de suelo en terreno seco sin vegetación
Alemania	2	2	0,4	0,4	-
Austria	9*	9*	-	-	-
España	27	29	18	23	41

de cargas máximas de ganado para evitar la degradación por pastoreo; regulación del uso del compost; reducción del uso de plaguicidas; técnicas de rotación de cultivos, entre otros.

Comunicación de la Comisión

En cuanto a la citada Comunicación de la Comisión "Hacia una estrategia temática para la protección del suelo" (COM2002 179final) recientemente adoptada, proporciona una perspectiva global, amplio punto de vista de los elementos y factores relativos a los procesos de degradación y a la protección del suelo. Establece las bases para un adecuado debate y para la definición que permita definir las futuras acciones comunitarias. En este sentido, la Comunicación citada insiste en que se debe prestar particular atención a la complejidad y a la diversidad del problema, a las medidas ya adoptadas por los Estados Miembros y a la escala en que se deben desarrollar tales acciones.

La Comunicación de la Comisión va más allá del concepto estrictamente edafológico de los suelos y considera suelo a "la capa física superior" de la corteza, también definida por el vasto término de "terreno".

Así mismo, indica de manera muy sucinta un factor que se estima ha podido ser limitante a la hora de desarrollar políticas y legislación respecto a la protección del suelo. El suelo, al contrario que el aire y el agua, está sujeto a derechos de propiedad, con todas las consecuencias de este hecho.

La Comunicación de la Comisión es un documento fundamentalmente descriptivo de lo que es un suelo, lo que constituye y comporta como recurso no renovable (esta frase no se entiende), así como cuales son sus principales amenazas en la actualidad a escala europea. Tiene como misión servir de documento inicial divulgativo en el ámbito de la política europea; es decir, el instrumento justificativo para que los Estados Miembros inicien, en el ámbito de la Comisión, el proceso de elaboración de una política común europea en la protección del suelo.

La Comunicación de la Comisión atribuye al suelo cinco funciones fundamentales, todas ellas interdependientes:

- Producción de alimentos y biomasa.
- Almacenamiento, filtración y transformación.
- Soporte del hábitat y reserva genética.
- Entorno físico y cultural para la humanidad.
- Fuente de materias primas.

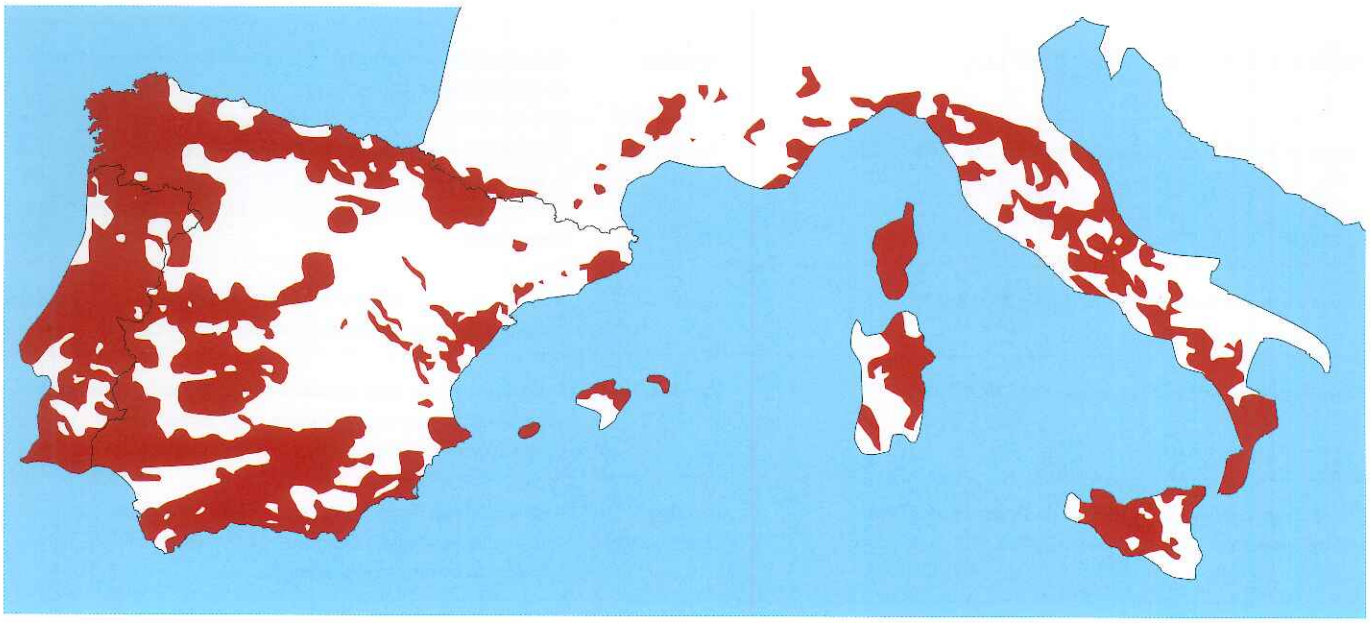


Figura 2.- Áreas con elevado riesgo de erosión del suelo en los países mediterráneos europeos (tomado de CORINE, 1994. "Soil erosion risk and important land resources").

Tabla 3. Relación de las inversiones (en millones de euros) realizadas en descontaminación de suelos en algunos países de la Unión Europea en el año 2000. Fuente: Informe de la AEMA, Eionet technical workshop on indicators for soil contamination.

País	Inversión total en descontaminación	Número de habitantes	Ratio Euros per cápita
España	14	38,9	0,4
Alemania	57	79,4	0,7
Suecia	23	8,8	2,6
Austria	67	7,7	8,7
Bélgica	78,6	5,8	13,6
Holanda	550	14,9	36,9

E identifica las principales amenazas:

- La erosión; sirva como dato que en más de un tercio del total del territorio de la cuenca mediterránea, las pérdidas de suelo por erosión superan las 15 t/ha al año (fuente: AEMA). En la **figura 2** se muestra gráficamente el riesgo de erosión del suelo en los países mediterráneos, mientras que en la **tabla 2** se muestra un comparativo de los volúmenes medios de suelo perdidos en tres países europeos en el periodo comprendido entre 1990 y 1995.



Figura 3. Los vertederos de residuos constituyen una fuente importante de contaminación puntual de un suelo.

- Pérdida de materia orgánica; determinante para la resistencia a la erosión y para la fertilidad del suelo. Según datos del JRCCCI (Joint Research Center. IspraCentro Común de Investigación), casi el 75% de la superficie muestreada del Sur de Europa tiene un contenido bajo o muy bajo en materia orgánica (entre el 3,4% y el 1,7%).
- La contaminación:
  - *Puntual*: unida a actividades humanas como la minería, la industria, los vertederos (**figura 3**). Sus consecuencias son la inutilización de un suelo para otros fines, problemas para la salud pública, elevados costes sociales y económicos. Se estima que los terrenos contaminados en la UE oscilan entre los 300.000 y los 1.500.000, de acuerdo con el informe de 1999 "Management of contaminated sites in Europe" producido por la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA). La disparidad del dato se debe a la falta de acuerdo sobre los criterios para definir un suelo como contaminado, así como la dificultad de establecer los niveles aceptables de riesgo, los objetivos de protección y los parámetros de exposición. En el año 2000, los Países Bajos invirtieron 550 millones de euros en trabajos de descontaminación, Austria 67 y España 14 (fuente: AEMA). Estas disparidades reflejan las diferentes percepciones de la gravedad de la contaminación, las diferentes políticas y objetivos de recuperación. En la **tabla 3** se muestra una relación de las inversiones realizadas por algunos de los Países Miembros de la UE en descontaminación de suelos y el ratio entre inversión y población.

  En la **figura 4** se muestra un ejemplo de un suelo contaminado, donde se puede observar el cambio de tonalidad entre la parte inferior de la zanja, más oscura y contaminada, y la parte superior que se encuentra limpia.
  - *Difusa*: debida a la deposición atmosférica, ciertas prácticas agrícolas (exceso de nutrientes, uso de plaguicidas) y el uso incorrecto de lodos de depuración como abono de terrenos agrícolas (aportación en exceso de metales pesados y compuestos orgánicos). Las consecuencias son la reducción de la fertilidad del suelo por acidificación y pérdida de nutrientes y la contaminación de las aguas residuales.
- El sellado, producido por la cubrición del suelo para la construcción de infraestructuras y edificaciones civil. Como dato, la AEMA indica que, en 1996, el 43% de la superficie de las regiones costeras italiana, constituida en su mayoría por suelos fértiles, estaba completamente construida (**figura 5**).
- La compactación, consecuencia de una presión mecánica del suelo que



Figura 4. Contaminación puntual de un suelo por hidrocarburos. Obsérvese el cambio de color del suelo, más oscuro al fondo de la zanja.

limita el crecimiento de las raíces; reduce la fertilidad y la actividad biológica.
- La reducción de la biodiversidad.
- La salinización por acumulación de sales solubles provocando una importante reducción de su fertilidad. Se estima que en la UE la salinización del suelo afecta a 1 millón de hectáreas, principalmente en los países mediterráneos. En España, concretamente, un 3% de los 3,5 millones de hectáreas de regadío se halla gravemente afectado.
- Inundaciones y deslizamientos de tierra: relacionado con los procesos de erosión pero que merecen una mención aparte por las grandes cantidades de suelo que pueden llegar a perderse por estos fenómenos en escasos periodos de tiempo.

La Comunicación de la Comisión refleja que el 16% de todo el territorio de la Comunidad Europea (52 millones de hectáreas) se encuentra afectado por algún tipo de proceso de degradación. Esta cifra asciende al 35% en los países europeos candidatos a entrar a formar parte de la Unión Europea.

En su Comunicación, la Comisión establece cuáles son sus principales objetivos, programa de trabajo y calendario para la elaboración de la Estrategia Temática para la Protección del Suelo.

Parte de los objetivos planteados se concretan en el futuro desarrollo de una serie de iniciativas legislativas de adecuación de la normativa comunitaria vigente, para que incluya, en sus diferentes vertientes (aire, agua, agraria, transportes,...), la protección del suelo.



Figura 5. La continua construcción de viales implica la pérdida de suelo por compactación y sellado.

Así mismo, la Comisión preparará una propuesta legislativa sobre vigilancia de suelos para junio de 2004, con el fin de establecer un sistema de vigilancia y control para la realización, en las zonas pertinentes, de una serie de mediciones de los procesos de degradación del suelo cuyos resultados permitan a las autoridades tomar decisiones, tanto para situaciones de alerta en las que haya que actuar con urgencia, como para la elaboración de políticas preventivas y de actuación.

La Comisión también tiene previsto preparar una Comunicación sobre la erosión, la disminución de la materia orgánica y la contaminación del suelo que incluirá recomendaciones detalladas en relación con futuras medidas y acciones, y otra sobre Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, en 2003.

En este sentido, el primer paso firme emprendido para la elaboración de la Estrategia Temática para la Protección del Suelo, pasó por la aprobación el 25 de junio de 2002 por parte del Consejo de Ministros de Medio Ambiente de la Unión Europea, de las conclusiones sobre la protección integrada del suelo, que se describe e interpretan a continuación.

Conclusiones del Consejo

Las conclusiones del Consejo de Ministros de Luxemburgo se reafirman en lo ya expresado por la Comunicación de la Comisión sobre la importancia del suelo como uno de los tres elementos naturales esenciales para la vida, junto con el agua y la atmósfera, sobre las amenazas que se ciernen sobre él y la necesidad del desarrollo de una política específica de protección del suelo que lleve acompañada una normativa comunitaria.

Cabe destacar entre las conclusiones del Consejo la consideración del suelo como recurso no renovable, así como el reconocimiento de la enorme variabilidad de suelos existente en la Unión Europea y que, por lo tanto, a la hora de desarrollar políticas e iniciativas legislativas, deberá tenerse en consideración las particularidades regionales y locales. En este sentido, es de importancia vital la aplicación de los principios vigentes en la Unión Europea de "cautela y acción preventiva", de "corrección de los atentados al medio ambiente en la fuente misma" y de "quien contamina paga", ya que los daños al suelo tienen con frecuencia carácter irreversible.

Cabe destacar entre las conclusiones del Consejo la consideración del suelo como recurso no renovable, así como el reconocimiento de la enorme variabilidad de suelos existente en la Unión Europea

Así mismo, se apela a la responsabilidad medioambiental como un medio útil para prevenir y hacer frente a los procesos de degradación del suelo y para remediar casos locales de contaminación; en este sentido se está preparando en el seno de la Unión Europea una Directiva sobre Responsabilidad Ambiental con relación a la Prevención y Restauración del daño medioambiental.

Se reconoce desde el Consejo que aunque la información disponible sobre las amenazas identificadas no está completa, sí existen suficientes evidencias científicas para asegurar que los procesos de degradación del suelo están teniendo lugar en muchas zonas de la Unión Europea y de los Países Candidatos.

También se reconoce desde el Consejo la necesidad de que la Unión Europea tome medidas de protección del suelo, tal y como se estipula en el Sexto Programa Medioambiental Comunitario, ya que el funcionamiento del Mercado Único exige una aproximación común hacia las políticas de

protección del suelo, dado que su protección y remediación, a cualquier nivel, puede afectar a la competitividad.

Así, el Consejo insta a la Comisión a desarrollar antes de julio de 2004 la Estrategia Temática para la Protección del Suelo, que deberá estar basada en un acercamiento integrado de las principales políticas comunitarias y que deberá incluir objetivos cualitativos y cuantitativos relevantes y calendarios tentativos, con los que se podrá hacer un seguimiento de la estrategia en el futuro, así como identificar las acciones a aplicar y las medidas de protección a tomar. En este sentido el Consejo considera fundamental el desarrollo de un sistema de indicadores de control y evaluación del suelo que proporcione información precisa, compatible y comparable.

Lo más relevante de esta decisión es conseguir la integración de los objetivos de protección del suelo en las diferentes políticas comunitarias afectadas, tales como la de Investigación, Transporte, pero sobre todo, la de Agricultura. En este sentido, las reticencias de algunos Estados Miembros a modificar los objetivos de la Política Agraria Común pueden ser importantes, ya que ésta es uno de los pilares internos de la política europea, y que moviliza la mayor cantidad de recursos.

Así mismo, el Consejo reconoce que otras iniciativas legislativas europeas en curso, como son las futuras Directivas sobre compost, residuos mineros y lodos, contribuirán, de manera significativa, a la protección del suelo.

Finalmente el Consejo enfatiza la importancia de la protección del suelo y que las acciones futuras consideren su uso y gestión sostenible dado su valor como base para la reducción de la pobreza en el mundo.

Conclusiones

A pesar de que en algunos ámbitos de actuación específicos se han adoptado medidas relacionadas con la protección del suelo, por el momento, no existe una estrategia comunitaria global al respecto. Es por tanto necesario, aplicar una estrategia temática a fin de apoyar un esfuerzo integrado y orientado a favor de una gestión sostenible del suelo en la UE.

La Comunidad Europea debe desempeñar un papel líder en el desarrollo de un marco político y legislativo en materia de protección de suelos, que deberá aportar un valor añadido frente a la actuación de cada Estado miembro por separado.

El Consejo insta a la Comisión a desarrollar antes de julio de 2004 la Estrategia Temática para la Protección del Suelo

Este reto no estará exento de dificultades internas en la UE, entre ellas la introducción de los objetivos de la protección del suelo en otras políticas comunitarias ya existentes como la Política Agrícola Común que debería favorecer el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan las amenazas para el suelo derivadas de la agricultura y favorezcan aquellas que sirvan para su protección.

En este sentido, se entiende que los pasos futuros de la UE para la elaboración de una política y legislación europea para la protección de los suelos deberían ser, a juicio del autor:

- la elaboración de una Directiva Marco del Suelo
- la integración de los objetivos de protección del suelo en el resto de Directivas comunitarias relacionadas,
- el establecimiento de indicadores de la calidad del suelo y de un sistema de control de los mismos que proporcione datos fiables y comparables,
- el establecimiento de unos criterios básicos europeos de calidad del suelo, que sean flexibles y que contemplen las especificidades de las diferentes regiones europeas,
- el desarrollo de manuales y metodologías estandarizadas para la investigación de los suelos europeos en función de las amenazas existentes,
- elaboración de manuales con las Mejores Técnicas Disponibles (BAT) y las Mejores Prácticas Medioambientales (BEP) en función de los usos que se le puedan dar al suelo.

Por lo tanto, como se ha expuesto en este artículo, Europa dispone en la actualidad de políticas y legislación específica para la protección y gestión adecuada de la calidad de la atmósfera y del agua, dos de los tres pilares sobre los que se asienta el bienestar medioambiental de la sociedad. Sin embargo, hasta el momento, Europa ha carecido, no sólo de iniciativas legales, sino de algo más básico como unas pautas políticas sobre cómo afrontar una gestión correcta del tercer pilar medioambiental, el suelo; el lugar sobre el que todos los europeos desarrollamos nuestras actividades.

Referencias bibliográficas

Consejo Europeo (2002). Conclusiones del Consejo de Ministros de Medio Ambiente de la Unión Europea para la Protección Integrada del Suelo, Luxemburgo, 25 de junio de 2002.

Comisión Europea. Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones (2002). Hacia una estrategia temática para la protección del suelo" (COM2002 179 final), 16 de abril de 2002.

Agencia Europea de Medio Ambiente (2002). Technical Report 80. Proceedings of the Technical Workshop on Indicators for Soil Sealing.

Agencia Europea de Medio Ambiente (2002). Technical Report 78. Eionet technical workshop on indicators for soil contamination. Vienna, 18-19 January 2001.

Agencia Europea de Medio Ambiente (2001). Technical Report 67. European Soil Monitoring and Assessment Framework.

Comisión Europea (2001). Sexto Programa comunitario de Acción en materia de Medio Ambiente (COM –2001- 31 Final), 24 de enero de 2001.

Agencia Europea de Medio Ambiente (2000). Topic report. Management of Contaminated Sites in Western Europe.

Agencia Europea de Medio Ambiente (1998). Environment in the European Union at the turn of the Century.

CORINE (1994). Soil Erosion Risk and Important Land Resources.

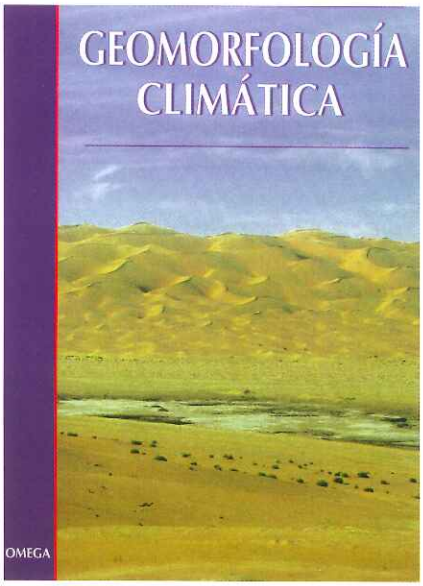
CORINE. Soil Erosion Risk in Southern Europe.

Agradecimientos

A José López de Velasco y María Dolores Moreno por su labor de revisión y apoyo, y a Leticia Carrero Rial por su colaboración.

Geomorfología Climática

La obra, que obviamente se limita al campo de la Geomorfología zonal, constituye una magnífica puesta al día en el conocimiento de esta disciplina de las Ciencias de la Tierra que explica la incidencia de los diferentes tipos de clima sobre el relieve terrestre. Es un libro denso, por extenso y por contenido, pero no resulta un ladrillo enciclopédico. Nada más lejos de ello. Por su organización, estructura y su impresionante material gráfico adicional, tiene una lectura muy fácil, por lo que no tardará en convertirse en un texto imprescindible para estudiantes, estudiosos y profesionales de la Geomorfología. Son más de seiscientas páginas bien organizadas y llenas de ejemplos ilustrados por seiscientas diez figuras, la mitad magníficas fotografías a color. Este es un aspecto muy destacable, por su profusión, por su calidad y por su variedad, pues incluye referencias tanto de España como distintos puntos del mundo. Cualquier contexto, elemento o proceso geomorfológico tiene su representación gráfica.



Tras el capítulo inicial e introductorio, de carácter conceptual e histórico, se desarrolla un exhaustivo relato referido a todas las zonas morfoclimáticas: glaciares, periglaciares, áridas y tropicales. Los procesos de erosión, transporte y sedimentación, sus peculiaridades zonales, se describen con minuciosidad, y por supuesto también sus formas resultantes. Se hace hincapié en las formas o elementos geomofológicos principales de cada parte y del modelado de conjunto resultante. Destaca especialmente la parte dedicada a zonas áridas que incluye numerosos ejemplos de la Depresión del Ebro. Es una especialidad que el autor domina con brillantez, pues ha sido el centro de su actividad investigadora durante muchos años.

Resulta innovadora y muy interesante la idea de incluir en cada zona morfogenética una extensa referencia dedicada a geomorfología aplicada que pretende, como dice el propio autor, acercarnos a los problemas planteados en cada uno de esos lugares. Complicaciones de ingeniería, aplicaciones prácticas, y sobre todo los riesgos naturales ligados a la actividad de los procesos geomorfológicos: icebergs, avalanchas de hielo, lagos por obturación, volcanes en áreas con hielo (regiones glaciares), avalanchas de nieve y movimientos en masa (regiones periglaciares), erosión, inundaciones y, sobre todo desertización (regiones áridas) y pérdidas de suelo, deslizamientos y grandes inundaciones (regiones tropicales).

Otra aportación práctica y oportuna se recoge en el capítulo final que trata sobre Geomorfología y Cambio Climático: el clima futuro, el efecto invernadero y sus consecuencias en el relieve que se manifiestan de forma diferente en función de las diferentes zonas morfoclimáticas. Estas consecuencias serían especialmente graves en las zonas áridas y semiáridas por los problemas conocidos ya apuntados en el párrafo anterior. Por ese motivo, en este mismo capítulo se destaca la importancia del estudio del pasado en los elementos del relieve, pues puede proporcionarnos datos valiosos sobre el panorama que se nos avecina.

Como no podía ser de otra manera, la bibliografía de la obra es también extensa, pero su organización por capítulos la hace manejable y asequible. Incluye a todos los clásicos, desde los inicios de esta disciplina a finales del siglo diecinueve y principios del veinte, hasta los más recientes trabajos actuales, pero lo que es más importante para nosotros son, obviamente, las referencias a trabajos que sobre este tipo de geomorfología se han realizado en nuestro país.

La aparición de este volumen se suma a algunas publicaciones generales sobre geomorfología relativamente recientes en España, manuales teóricos (Pedraza, 1996), prácticos (Centeno, 1997), cartográficos (Peña,1998) y, anteriormente, regionales, coordinado por el propio autor de esta obra (Gutiérrez Elorza, 1994). Es un hecho que refuerza cada vez mas la creciente importancia que está tomando la geología de superficie en relación con otras materias antaño más consideradas, sin duda por que los problemas relacionados con la ocupación del territorio preocupan hoy día más que nada. Es una satisfacción por eso, pero creo que la satisfacción es además entrañable por su autor, maestro de muchos de nosotros e impulsor de la Geomorfología durante el último cuarto de siglo en este país.

Ángel Martín Serrano
Geólogo

GUTIÉRREZ ELORZA, M. (2001)
Geomorfología Climática. 642 págs. PVP: 72.15 euros
Ediciones Omega. Plató, 16. 08006 Barcelona
www.ediciones @ omega.es
ISBN 84-282-1209-0

Mercurio en Almadén: del manto al medio ambiente

Pablo Higueras Higueras

Dr. en Ciencias Geológicas
Escuela Universitaria
Politécnica de Almadén – UCLM

La vastísima riqueza y variedad del Patrimonio Geológico Castellano-Leonés ha sido tradicionalmente conocida y explotada desde la antigüedad hasta nuestros días. Sus afloramientos abarcan prácticamente la totalidad del registro geológico desde el Precámbrico al Cuaternario, el espectro petrológico y litológico es así mismo muy amplio y los ambientes de formación y génesis de todos estos materiales constituye un complejo abanico de medios que incluye desde fondos marinos, plataformas someras, playas o lagos entre otros, de origen sedimentario.

El mercurio es un elemento metálico perteneciente al grupo IIB de la tabla periódica, y presenta la singularidad de ser el único metal líquido a temperatura ambiente.

Desde el punto de vista geoquímico es un metal escaso, con una concentración promedio (*Clarke*) de 80 ppb (mg/t) en las rocas de la corteza terrestre. Presenta carácter calcófilo, es decir que suele presentarse formando sulfuros: en concreto, el cinabrio (HgS) es el principal mineral que encontramos en la naturaleza conteniendo este elemento. Por su afinidad geoquímica con otros elementos, suele encontrarse asociado a otros sulfuros metálicos, sobre todo con la esfalerita o blenda (ZnS), y a otros metales escasos como Au, Ag, As, Sb o elementos del grupo del platino. Es especialmente significativa la asociación entre mercurio y oro, que hace que la mayor parte de los yacimientos del segundo contengan cantidades variables de mercurio, lo que incluso permite utilizar a éste como guía para localizar yacimientos de oro (el mercurio sería un *pathfinder* o elemento indicador para oro).

Ahora bien ¿qué es un yacimiento? Los elementos químicos en nuestro planeta tienen una distribución que está controlada por dos factores principales: su abundancia media, y su afinidad geoquímica. En definitiva, en la corteza terrestre, que es donde podemos desarrollar nuestra actividad minera, los elementos tienen una concentración media determinada, que es lo que se conoce como *Clarke*. Esta concentración no es homogénea, ya que en algunos puntos los elementos se concentran como consecuencia de procesos geológicos concretos, y cuando esa concentración es suficiente para que sea rentable la explotación minera del mineral correspondiente para, posteriormente, mediante metalurgia obtener el elemento de nuestro interés, tendremos un *yacimiento mineral metálico.*

Así pues, un yacimiento es una concentración de un mineral que contiene un elemento químico de interés para el hombre, que se ha formado como consecuencia de algún proceso geológico determinado, y en el que la concentración del elemento es suficiente como para que su explotación y metalurgia resulten rentables económicamente. Eso nos lleva al concepto de *factor de concentración*, que es la razón entre el contenido explotable y el contenido medio del elemento en la corteza, y que varía en función de

muchos factores, siendo los más importantes la rareza del elemento, puesto que esto suele condicionar su valor económico. En el caso concreto del mercurio, y como se puede observar en la **figura 1**, este factor es de los más altos, del orden de 10.000, debido a la escasez del elemento y no tanto a su precio, inferior al de otros elementos, como puede ser el oro, que precisan factores más bajos.

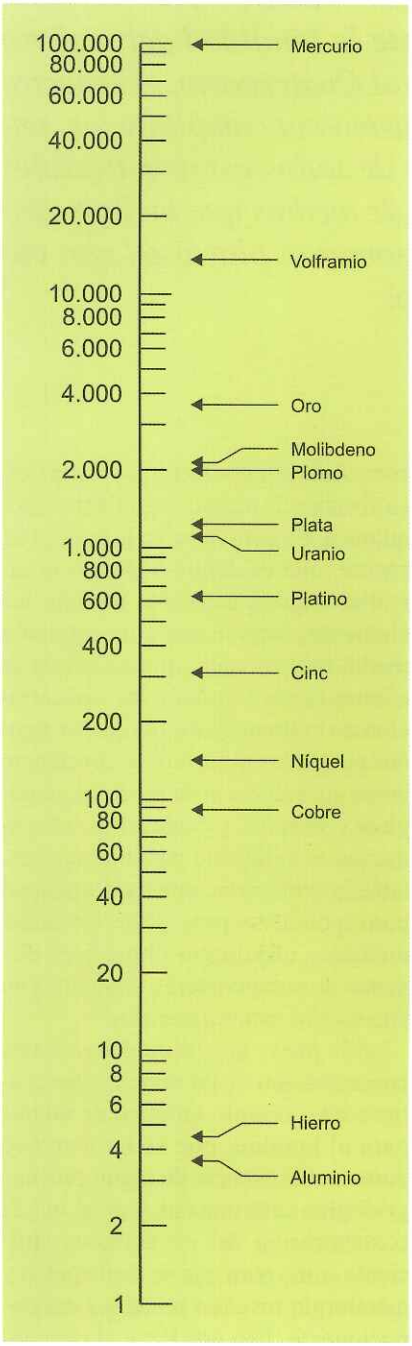


Figura 1.- Factores de concentración necesarios para que determinados elementos metálicos lleguen a constituir yacimientos de interés minero.

Los yacimientos de mercurio

El mercurio que se emplea en la industria puede proceder de yacimientos "naturales" o de reciclado. En la naturaleza, y debido a lo antes dicho, aparece o bien como elemento minoritario en yacimientos de otros elementos (Zn, Au), o formado yacimientos propios, explotados exclusivamente para recuperar este metal.

En lo que se refiere a los primeros, es especialmente abundante en los yacimientos de esfalerita, que a su vez suele encontrarse asociada a pirita en grandes yacimientos de sulfuros masivos, como los existentes en las provincias de Huelva y Sevilla y sur de Portugal (Faja Pirítica Ibérica). De esta forma, estos yacimientos obtienen mercurio "como subproducto", es decir, como elemento no buscado en la explotación, pero que llega a comercializarse.

Los auténticos *yacimientos de mercurio* corresponden a concentraciones de cinabrio, a menudo junto con otros sulfuros, y con otros elementos metálicos. Su origen más común se relaciona con los denominados procesos hidrotermales, es decir, procesos por los cuales los gases y fluidos residuales de la cristalización de un magma, que contienen determinados elementos, entre ellos azufre y metales pesados, se enfrían progresivamente y dan lugar a la cristalización de minerales de interés económico en fisuras de las rocas, dando origen a los llamados filones. Otra posibilidad es que estos fluidos lleguen a descargar en un fondo marino, a través de las llamadas "chimeneas negras" o *black smokers* que existen en algunas regiones abisales; en estas condiciones se suele producir la precipitación de sulfuros metálicos dando origen a los denominados yacimientos exhalativos-sedimentarios. Veremos que en Almadén existen ambos tipos.

A escala mundial los yacimientos de mercurio no son numerosos, puesto que, como hemos visto, requieren concentraciones muy altas para ser explotables. En concreto, seis yacimientos concentran las fl partes de la producción mundial del metal (**figura 2**):

Almadén (España)	$8 \cdot 10^6$ frascos
Idria (Eslovenia)	$3 \cdot 10^6$ frascos
Monte Amiata (Italia)	$2 \cdot 10^6$ frascos
Huancavelica (Perú)	$1{,}5 \cdot 10^6$ frascos
Nuevo Almadén (California, USA)	$1{,}1 \cdot 10^6$ frascos
Nueva Idria (California, USA)	$0{,}6 \cdot 10^6$ frascos

Cada uno presenta sus peculiaridades geológicas, que son descritas por Hernández (1992). Aquí nos vamos a centrar en los yacimientos de Almadén, no solo por su gran importancia en el ámbito mundial, sino por su proximidad geográfica.

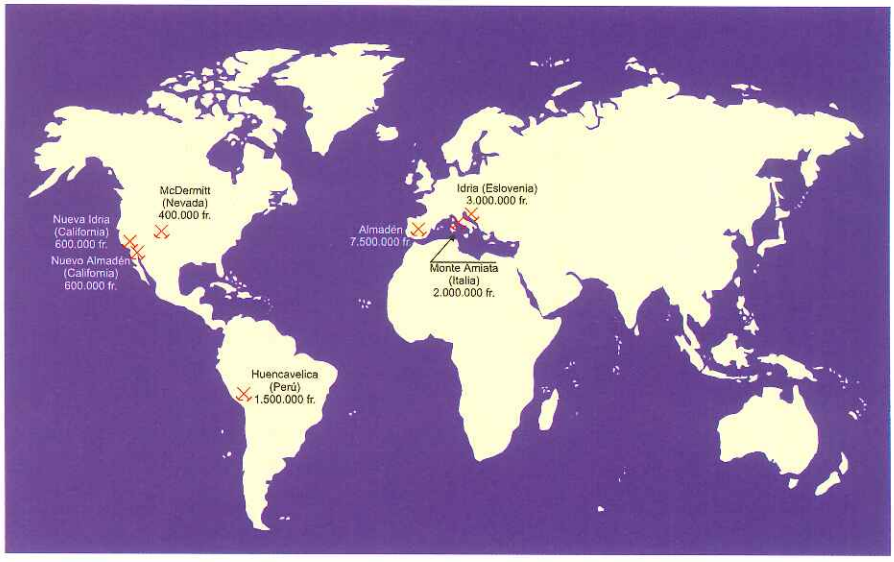


Figura 2.- Mapa con la distribución de los principales yacimientos de mercurio del mundo.

Los yacimientos de mercurio de Almadén

Almadén, a su vez, concentra casi un tercio del mercurio total producido por la humanidad. Se trata, por tanto, de una enorme acumulación de mercurio, caso único tanto para este elemento como para cualquier otro: no existen otras concentraciones de ningún otro metal de tal entidad.

El caso de Almadén es también único por otros motivos:

- Se trata de un distrito minero, en el que existen distintos yacimientos, con diferentes características de unos a otros.
- El mercurio es el único metal que aparece concentrado, sin que exista ningún otro elemento de los que habitualmente se asocian con él.
- Los yacimientos existentes se han formado por procesos diferentes, y en distintos momentos a lo largo del Paleozoico.

De entre los distintos yacimientos del distrito destaca el de Almadén, por su tamaño y por su historia, prácticamente continua a lo largo de todas las épocas: las primeras referencias a su existencia son del historiador griego Estrabón (27 BC–AD 14), y salvo periodos concretos, y debido a causas circunstanciales, se ha mantenido en actividad hasta el momento actual (se encuentra también circunstancialmente cerrada debido a un derrumbe ocurrido en junio de este año). La **tabla 1** muestra los datos principales referidos a los diferentes yacimientos del distrito.

Aparte de estos yacimientos principales, existen por todo el distrito un gran número de labores mineras menores, o puntos en los que en algún momento se ha detectado la presencia de cinabrio, sin que se haya llegado a producir explotación minera, debido a la pobreza de la mineralización descubierta. El mapa de la **figura 3** muestra la distribución de todas estas minas, labores menores, y puntos en que se ha observado el mineral.

Desde el punto de vista geológico, los yacimientos pertenecen a diferentes tipos, que se traducen también en diferente morfología y en el tipo de rocas en las que aparecen encajados. En concreto, se pueden diferenciar dos grandes grupos:

- Yacimientos estratoligados, que aparecen como diseminaciones de cinabrio en la roca denominada "Cuarcita del Criadero", de edad Silúrico Inferior (430 millones de años).

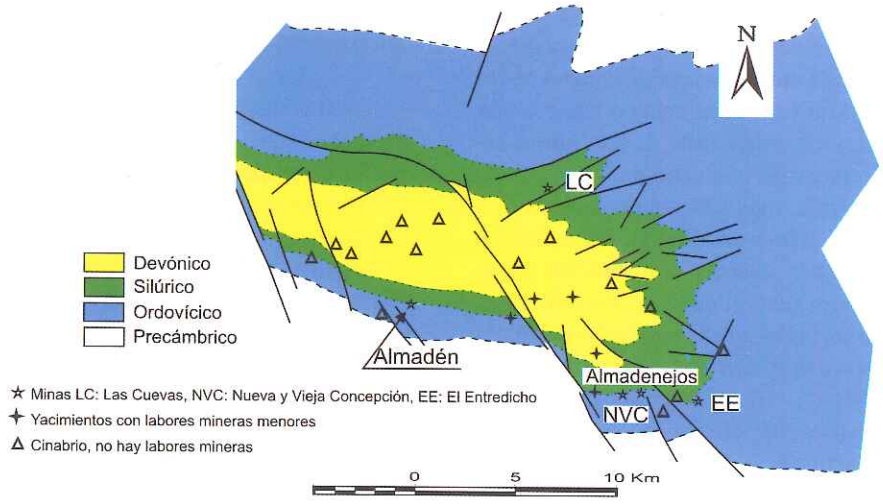


Figura 3.- Esquema geológico del sinclinal de Almadén.

- Yacimientos no estratoligados, que a su vez pueden ser de diferentes subtipos, destacando dos: los que constituyen auténticos filones en rocas cuarcíticas, y los que constituyen cuerpos o masas de morfologías más o menos irregulares, encajados en rocas volcánicas.

A continuación se describen los principales rasgos geológicos de cada uno de estos grupos. Para más información al respecto, ver:
http://www.uclm.es/users/higueras/Tema/Almaden/Almaden.htm
y la bibliografía ahí recogida.

Tabla 1.- Principales características geológico-mineras de los yacimientos de mercurio del distrito de Almadén.

Mina	Reservas	Descubierta en	Explotada por	Cerrada en
Almadén	$7{,}5 \cdot 10^6$ frascos	?	Iberos?, romanos, árabes, castellanos	(Activa)
El Entredicho	350.000 frascos	Redescubierta en 1974	Árabes y castellanos	Sept. 1997
Nueva Concepción	185.000 frascos	1779	Castellanos	1861
Las Cuevas	150.000 frascos	Redescubierta en 1982	Romanos y castellanos	Sept. 2000
Vieja Concepción	100.000 frascos	?	Castellanos	1800

Yacimientos estratoligados

Los de este tipo constituyen las mineralizaciones que alcanzan mayores volúmenes: en concreto, Almadén y El Entredicho son los más importantes dentro de este grupo. Aparecen siempre encajados en la misma formación, la Cuarcita de Criadero, unidad cuarcítica de unos 60 metros de espesor (en la zona de nuestro interés), que constituye el límite entre el Ordovícico y el Silúrico. Otra roca que aparece

sistemáticamente en este tipo de yacimientos es la roca volcánica piroclástica denominada *Frailesca*, que aparece constituyendo cráteres volcánicos que cortan a la Cuarcita de Criadero, y que controlan los contenidos de mercurio en ésta: los contenidos son máximos en proximidad de estos cráteres, y decrecen al alejarnos de ellos. Esto hace que la interpretación geológica sobre su génesis considere que el mineral se introdujo en la roca cuando aún era una arenisca, procedente de los fluidos hidrotermales que acompañaban al volcanismo, mediante un proceso de tipo exhalativo-sedimentario. Estos fluidos producen, además, la sustitución más o menos generalizada de los minerales de las rocas ígneas originales por otros minerales: carbonatos de Ca-Mg-Fe (calcita, dolomita, ankerita, siderita, magnesita), clorita y sílice, lo que constituye la denominada alteración regional, de carácter propilítico.

El cinabrio dentro de la roca cuarcítica aparece diseminado y rellenando filoncillos, y en concreto lo encontramos concentrado en determinados horizontes dentro de la formación cuarcítica: en Almadén aparece en tres niveles, de unos 5-10 m. de espesor cada uno, que reciben los nombre locales de "Banco de San Pedro" (el situado más bajo en la serie estratigráfica), Banco de San Francisco y Banco de San Nicolás. En El Entredicho se explotaron dos bancos, el Inferior (equivalente al de San Pedro) y el Superior.

La **figura 4** muestra el aspecto del banco inferior mineralizado de este yacimiento.

La mineralización está formada casi exclusivamente por cinabrio, si bien suele existir algo de pirita diseminada en la roca, en proporción muy baja, casi siempre.

Yacimientos no estratoligados

Dentro de este grupo los más importantes son los yacimientos de La Nueva Concepción y Las Cuevas. Ambos pertenecen al subtipo de yacimientos en masa.

Dentro de este grupo, la posición estratigráfica que ocupan las rocas encajantes de las mineralizaciones puede ser muy variada, aunque son especialmente frecuentes en rocas silúricas y devónicas. Las claramente filonianas suelen encajar en materiales cuarcíticos, que por su competencia se deforman por fracturación y favorecen el desarrollo de filones, mientras que las de subtipo en masa suelen encajar en materiales volcánicos o pizarrosos. En cualquier caso, es evidente una relación con fenómenos tectónicos, que producen las fisuras que ocupan los filones, o las zonas de debilidad en la que se forman las mineralizaciones en masa. La **figura 5** muestra el aspecto que presenta uno de los tipos morfológicos que pueden presentar la mineralización de Las Cuevas, formada en este caso por filoncillos de cinabrio con salbandas arcillosas, formadas fundamentalmente por pirofilita.

Los minerales que acompañan al cinabrio en este tipo de mineralizaciones pueden ser más variados: cuarzo y carbonatos, que suelen ir también acompañados de barita o de yeso. La pirita es especialmente abundante en algunos casos, sobre todo en algunos yacimientos como Las Cuevas.

El origen de estas mineralizaciones estaría relacionado con la removilización de cinabrio procedente de mineralizaciones estratoligadas, en relación con fenómenos térmicos que favorecen este fenómeno. Así, se pueden considerar mineralizaciones hidrotermales, en las que los fluidos mineralizadores se forman posiblemente a partir de yacimientos anteriores, y se depositan en zonas de tectónica distensiva, que favorece la acumulación de estos fluidos y el depósito de los componentes minerales que contienen.

El hecho de que algunas de estas mineralizaciones alcancen un mayor desarrollo parece estar en relación con la reactividad de determinadas rocas frente a estos fluidos: en concreto, las rocas volcánicas, afectadas por carbonatación, deben reaccionar intensamente con estos fluidos, lo que da origen a su sustitución parcial, dando origen a un reemplazamiento más o menos generalizado de la roca por la mineralización de cinabrio. También se desarrolla una mineralogía secundaria característica, muy rica en minerales



Figura 4.- Aspecto del banco mineralizado inferior del yacimiento de El Entredicho, formado por roca cuacítica (cuarcita del Criadero) con una impregnación de cinabrio con un contenido entre el 5 y el 10% de mercurio. Fotografía: Saturnino Lorenzo.



Figura 5.- Aspecto de la mineralización del yacimiento de Las Cuevas, con venas de cinabrio que arman en roca volcánica fuertemente alterada, y con salbandas arcillosas, formadas mayoritariamente por pirofilita.

de la arcilla (pirofilita, caolinita), que constituyen una alteración local de las rocas volcánicas de este tipo de yacimientos, y se corresponde con una alteración argilítica avanzada.

Consideraciones medioambientales sobre el mercurio en Almadén

La presencia de mercurio en el distrito de Almadén, y en cantidades tan considerables, se puede considerar como un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, dada la reconocida toxicidad del metal y sus compuestos. Sin embargo, en la región no se aprecian estos efectos, más que ocasionalmente, y afectando a personas que han tenido un contacto muy continuado con el mercurio: personal de mina o de metalurgia de la empresa minera, sobre todo de cierta edad, pues actualmente las condiciones de trabajo son mucho más favorables y controladas, para evitar la intoxicación crónica.

Por otra parte, los casos en los que se han producido envenenamientos masivos de poblaciones por este metal, como son los de Minamata (Japón) e Irak, ambos en los años 70, la ingestión de mercurio se produjo fuera del ámbito minero: en el primero, debido a los vertidos industriales de compuestos tóxicos del metal a una bahía en la que se producía una intensiva actividad pesquera, y al consecuente envenenamiento debido al consumo de peces con altos contenidos en estos compuestos; en Irak el envenenamiento se produjo debido al consumo de trigo tratado con funguicida, previsto para siembra, pero que debido a una gran sequía se desvió para consumo humano.

En Almadén las condiciones son completamente distintas: el mercurio que de una forma u otra llega al medio ambiente lo hace o bien como cinabrio (escombreras de mina), o bien como mercurio elemental (también en escombreras, o por difusión atmosférica, a partir de los procesos de metalurgia). En el primer caso, el cinabrio es un mineral relativamente estable, nada soluble, y su alteración superficial origina otro mineral estable e insoluble, la schuetteita, que tampoco resulta tóxica ambientalmente. La **figura 6** muestra el aspecto de este mineral recubriendo fragmentos de roca mineralizados y no mineralizados en una escombrera con una antigüedad de unos 5 años, en la que se identifica claramente su característico color amarillo-limón.

La presencia de mercurio metálico sí se puede considerar que representa un mayor riesgo, puesto que su alta presión de vapor favorece su presencia casi constante en la atmósfera, que a su vez favorece su ionización, y su depósito en suelos y agua en esta forma, bajo la cual se pueden producir otros procesos que den origen a compuestos tóxicos. Sin embargo, este proceso se vería favorecido por un pH bajo, que no se da en la región de Almadén debido a la presencia de minerales de alto potencial neutralizador (carbonatos y pirofilita, fundamentalmente) que hacen que el pH habitual de los suelos y aguas superficiales sea próximo o ligeramente superior a 7.

Otro mineral importante bajo este punto de vista es la pirita, que en los yacimientos de sulfuros da origen, por su hidrólisis, al denominado "drenaje ácido de mina", que se traduce en que las aguas procedentes de las instalaciones mineras de este tipo presenten condiciones de alta acidez, como es el caso de las aguas de la región minera de Huelva (río Tinto, p.ej.). En el distrito de Almadén, la escasez de este mineral favorece el que no se desarrolle este fenómeno. De hecho, las aguas de fondo de corta del yacimiento de El Entredicho (ver **figura 7**) muestran un pH próximo o ligeramente superior a 7, a pesar de la formación importante de sulfatos, evidenciada en los colores



Figura 6.- Escombrera de la mina de El Entredicho, con cantos recubiertos de shuetteita. En la parte inferior derecha de la imagen se muestra un detalle de uno de estos cantos, que frecuentemente no presentan mineralización, sino que se recubren como consecuencia del depósito atmosférico de mercurio que se oxida, posiblemente bajo la acción fotocatalítica del sol.

blancos de la fotografía, y que corresponden fundamentalmente a epsomita.

Otro riesgo derivado de la presencia de mercurio podría estar relacionado con la acumulación de mercurio en plantas, o bien que son comidas por el hombre, o bien que el ganado pasta. Análisis realizados de las plantas de la región muestran que esto solo se produce con cierta importancia en plantas silvestres, que no son objeto de interés ni para el hombre ni para el ganado. Incluso en las gramíneas es posible apreciar que mientras que en la parte no comestible pueden llegar a acumularse cantidades muy poco significativas del metal, en el grano no se concentra nada. La **figura 8** muestra el aspecto de la parcela experimental para el estudio de la captación de mercurio por plantas agronómicas, con la instrumentación instalada en la misma.

En definitiva, a pesar del factor de riesgo evidente por la presencia del metal, la existencia de otros factores que minimizan estos riesgos impiden el desarrollo en la población de la zona de morbilidad asociada a la toxicidad del mercurio.



Figura 7.- Aspecto de la corta de El Entredicho tras el cierre de la actividad extractiva. Las aguas de fondo tienen un pH próximo a 7. Los colores blancos corresponden a sulfatos, predominando la epsomita (MgSO4).



Figura 8.- Aspecto de la parcela experimental de fitorremediación, con parcelas cultivadas y en barbecho, y con la instrumentación de control.

"LA TIENDA VERDE"

LIBRERÍA ESPECIALIZADA EN CARTOGRAFÍA, VIAJES Y NATURALEZA

- MAPAS TOPOGRÁFICOS: S.G.E.I.G.N.
- MAPAS GEOLÓGICOS.
- MAPAS DE CULTIVO Y APROV.
- MAPAS AGROLÓGICOS.
- MAPAS DE ROCAS INDUSTRIALES.
- MAPAS GEOTECTÓNICOS.
- MAPAS METALOGENÉTICOS.
- MAPAS TEMÁTICOS.
- PLANOS DE CIUDADES.
- MAPAS DE CARRETERAS.
- MAPAS MUNDIS.
- MAPAS MURALES.
- MAPAS MONTADOS EN BASTIDORES.
- FOTOGRAFÍAS AÉREAS.
- CARTAS NÁUTICAS.
- GUÍAS EXCURSIONISTAS.
- GUÍAS TURÍSTICAS.
- MAPAS MONTAÑEROS.

VENTA DIRECTA Y POR CORRESPONDENCIA: SOLICITE CATÁLOGO

LA TIENDA VERDE C/ Maudes, nº 23 y 38 - 28003-MADRID

Tel:91 535 38 10 / 91 533 07 91 Fax: 91 533 64 54 Distribución: 91 534 32 57 Fax: 91 534 26 39

E-mail: tiendaverd@argen.net http://www.tiendaverde.org

Zeolitas. Visión actual de unos productos multiuso

Ángel La Iglesia

Dr. en Ciencias Químicas
Investigador del Instituto
de Geología Económica
CSIC, Madrid

José P. Calvo

Dr. en Ciencias Geológicas
Profesor del Departamento
de Petrología y Geoquímica
UCM

Michael G. Stamatakis

Dr. en Ciencias Geológicas
Assistant Professor, Dept. of Geology,
University of Athens, Grecia

Las zeolitas son minerales pertenecientes al grupo de los tectosilicatos, aluminosilicatos alcalinos o alcalinotérreos hidratados con estructura muy abierta caracterizada por canales de 0,3 a 1,0 nm de diámetro. Esta particular estructura, junto con la composición química de las zeolitas, da lugar a una serie de propiedades específicas que hace de estos minerales un tipo de sustancias con múltiples aplicaciones, tanto en el campo medioambiental como en la manufactura de variados productos de uso cotidiano.

La etimología del término "zeolita" procede del griego ("ζειυ y λι'ος"), esto es, roca que hierve, tal como propuso el mineralogista sueco A. F. Cronstedt en 1756. Este observó cómo, al calentar fragmentos de zeolitas, se producía una especie de espuma, como si la roca hirviese. A pesar del reconocimiento en esas fechas de las zeolitas como un nuevo grupo mineral, no es hasta la mitad del presente siglo el momento en que su estructura y características comienzan a conocerse en detalle. A ello contribuyó de forma decisiva la investigación emprendida por la Union Carbide Corp., compañía que impulsó los primeros avances en el estudio de zeolitas sintéticas así como en el de los depósitos de zeolitas naturales.

Las primeras evidencias del uso de las zeolitas corresponden a su utilización como piedra de construcción en áreas de abundante presencia de tobas zeolíticas. Su fácil dimensionado y labrado las convirtió en rocas ampliamente usadas en la construcción de pirámides y templos en Méjico, hace más de 4.000 años, al igual que en la antigua Roma, en arquitectura rural y suntuaria en Turquía y Japón o, más recientemente, en el oeste de Estados Unidos. Sus características composicionales favorecieron, particularmente en Italia y en algunos países de Europa central, su aplicación en cementos y hormigones puzzolánicos mucho antes de la llegada del cemento portland. Todos estos usos corrían obviamente en paralelo con el desconocimiento de las propiedades físicas y químicas de las zeolitas. Incluso en los 200 años posteriores a su caracterización mineralógica detallada, las zeolitas fueron contempladas mayoritariamente como curiosidades minerales.

Durante el Siglo XIX se tuvo constancia de que algunos suelos que contenían aluminosilicatos hidratados mostraban capacidad de retener sales de amonio, lo que dio paso a los primeros estudios sobre intercambio iónico en silicatos. Esta constatación supuso un primer paso para la utilización industrial de las zeolitas. Hacia los años treinta del siglo XX se define la capacidad de "tamizado" de las zeolitas frente a las moléculas gaseosas, es decir, su capacidad para adsorber o impedir el paso de dichas moléculas de gas. Como se verá posteriormente, esta característica supone una de las bases esenciales para la aplicación industrial de zeolitas. El mayor esfuerzo en la investigación de zeolitas, que dio paso a su posterior implantación como sustancias de uso industrial importante, tiene lugar hacia 1950. Esta fecha coincide con la obtención de las primeras zeolitas sintéticas en los laboratorios de la

Union Carbide Corp. y el inicio de su comercialización como "cajas moleculares". Pocos años más tarde tiene lugar el descubrimiento de zeolitas como constituyentes mayores de numerosos depósitos de tobas volcánicas, tanto en el Oeste de Estados Unidos como en Italia y Japón, lo que potenció aún más la importancia industrial de las zeolitas. Ambos hechos, la síntesis de zeolitas y la extracción de zeolitas naturales, han propiciado desde entonces el desarrollo de las aplicaciones de estas sustancias.

En nuestros días, la producción de zeolitas en el mundo se cifra en unos 3 millones de toneladas anuales. Los mayores productores de zeolitas naturales son Estados Unidos, Rusia, Cuba, Bulgaria, Hungría, Rumanía, Italia, Sudáfrica, Japón, China y algunos países del sudeste asiático. Por su parte, la capacidad de producción de zeolitas sintéticas (zeolita A anhidra), estimada en más de 1,5 millones de toneladas anuales, se reparte entre un gran número de países, entre los que destaca Estados Unidos, Alemania, Japón, Bosnia, Italia, Bélgica, España y Corea, estas últimas con una producción anual de unas 100.000 Tm.

Las zeolitas naturales son escasas en nuestro país. Son tan sólo puntuales las alusiones a la presencia de zeolitas en los diversos entornos volcánicos de la península (Campos de Calatrava, Cabo de Gata) e Islas Canarias. Se han reconocido también indicios en sucesiones sedimentarias, especialmente de carácter lacustre, de las cuencas del Ebro, Duero y Madrid, todas ellas de edad Terciario, así como en formaciones triásicas.

Geología y explotación de las zeolitas

Mineralogía de las zeolitas

Las zeolitas se definen como aluminosilicatos hidratados, cristalinos, con cationes alcalinos y alcalinotérreos (esencialmente Na, K, Mg, Ca, Sr y Ba), que presentan estructuras tridimensionales de tetraedros AlO_4 y SiO_4. Las zeolitas constituyen uno de los grupos minerales más extensos que se conoce, habiéndose reconocido más de 40 especies distintas en la naturaleza. Por su parte, se han sintetizado más de 100 fases zeolíticas que no presentan equivalentes naturales.

Breck (1974) propuso una clasificación de las zeolitas en siete grupos en función de sus estructura cristalina, clasificación que coincide en número pero no así en el criterio utilizado con la propuesta por Gottardi y Galli (1985). Para una información más precisa sobre los diferentes grupos de zeolitas remitimos al lector a ambas publicaciones.

Hay, en cualquier caso, una serie de especies minerales de zeolitas que son relativamente más frecuentes que otras en los diferentes ambiente geológicos. Es el caso, por ejemplo, de la analcima, laumontita, clinoptilolita, heulandita (**figura 1**), phillipsita (**figura 2**), erionita, chabazita o mordenita, minerales que forman parte como constituyente esencial o como constituyente subordinado de muchos materiales de origen volcánico. A ellos se suman las zeolitas sintéticas, las cuales se denominan con términos tales como Zeolita A, Zeolita X, Zeolita Y, Zeolita ZSM-5, etc.

Tipología de yacimientos

Los ejemplos de zeolitas conocidos desde más antiguo corresponden a cristales grandes y bien formados que se encontraron rellenando huecos y cavidades en basaltos y otras rocas volcánicas. Estos ejemplares han servido tradicionalmente de muestras en museos y exposiciones, y en muchos casos han sido tomados como patrones en análisis químicos y mineralógicos.

La presencia de zeolitas en ambientes geológicos es muy amplia e incluye diversos tipos de sedimentos, vesículas en lavas, algunas rocas plutónicas alteradas y sistemas hidrotermales (Sheppard, 1984; Boles, 1988). En ambientes sedimentarios, su presencia está ligada en gran medida a sedimentos marinos profundos, a suelos desarrollados en climas áridos sobre rocas

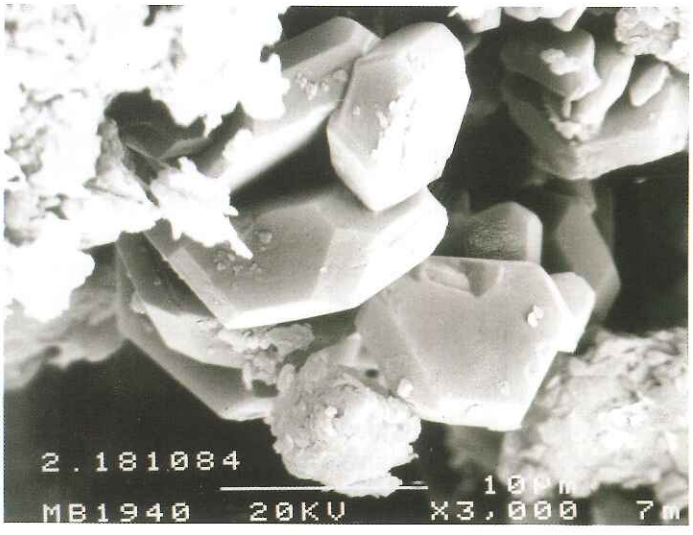


Figura 1.- Cristales de heulandita vistos al Microscopio Electrónico de Barrido. La muestra presentada procede de suelos salinos del Desierto de Atacama, norte de Chile.

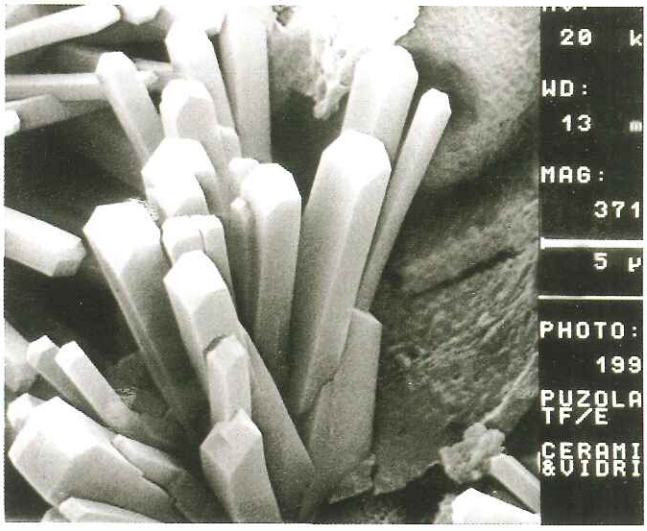


Figura 2.- Cristales de phillipsita vistos al Microscopio Electrónico de Barrido. La muestra presentada procede del complejo volcánico del Teide, Tenerife.

volcánicas (sistemas hidrológicos abiertos) y a ambientes lacustres salinos y alcalinos.

En la mayor parte de los casos, las zeolitas naturales se originan por transformación directa de cenizas volcánicas (tefra) o por diagénesis de sedimentos que contienen componentes volcanoclásticos y/o sílice biogénica (Opalo A). Las condiciones que favorecen la formación de grandes depósitos de zeolitas son: 1) extenso vulcanismo repetido en el tiempo, generando una proporción elevada de productos piroclásticos, 2) flujos térmicos elevados, y 3) climas áridos que favorecen el desarrollo de cuencas continentales salinas. Obviamente, no es necesaria la conjugación de los tres factores, tal como demuestra la formación de amplios depósitos de zeolitas en ambientes marinos profundos.

Dentro de la variedad de situaciones geológicas señaladas anteriormente, los depósitos de zeolitas de mayor interés comercial corresponden a los formados por alteración de tobas volcánicas en lagos salinos-alcalinos ("tipo sistema cerrado") (Surdam, 1986; Stamatakis *et al.*, 1996; Hall, 1996) y a los originados en sistemas hidrológicos abiertos (Mumpton, 1986). Por tanto, son estos contextos geológicos los que aparecen como más indicados de cara a la exploración de los yacimientos de interés económico de zeolitas. La analcima y la clinoptilolita suelen ser los minerales zeolíticos más abundantes en estos yacimientos. Su forma de aparición es en agregados cristalinos finos cuyo aspecto en el campo es bastante similar al de las diatomitas, feldespatos o arcillas (**figura 3**). Presentan un lustre terroso y son bastante resistentes (**figura 4**), con colores variados, desde amarillo a verdoso, marrón, rojizo o gris claro. Usualmente es fácil diferenciar, con una simple observación visual, los vidrios no alterados de aquéllos que han sufrido alteración a zeolitas. Se ha sugerido un ensayo, el test de Helfferich, como de potencial uso en campo para distinguir las zeolitas de los otros minerales arriba señalados, pero su eficacia parece ser más alta en laboratorio. La difracción de rayos X es la técnica más fiable para la identificación de zeolitas, permitiendo una determinación semi-cuantitativa de sus contenidos.

Extracción y beneficio de las zeolitas

La mayor parte de los depósitos de zeolitas en el mundo se explotan a cielo abierto, con muy escasos ejemplos de explotaciones subterráneas. La dimensión de las explotaciones no suele ser muy grande. Así, por ejemplo, la mayor explotación de zeolitas en Japón, primer productor mundial de zeolitas naturales, tiene una producción anual de unas 35.000 Tm y el resto de explotaciones tienen producciones variables entre 600 y 8.000 Tm por año (Minato, 1988). Salvo aquellas extracciones dirigidas a la confección de piedras dimensionadas de tobas zeolíticas, el tratamiento que se da a los depósitos con zeolitas, tras su arranque, consiste en un machaqueo basto, secado al sol o en horno, segundo machaqueo y

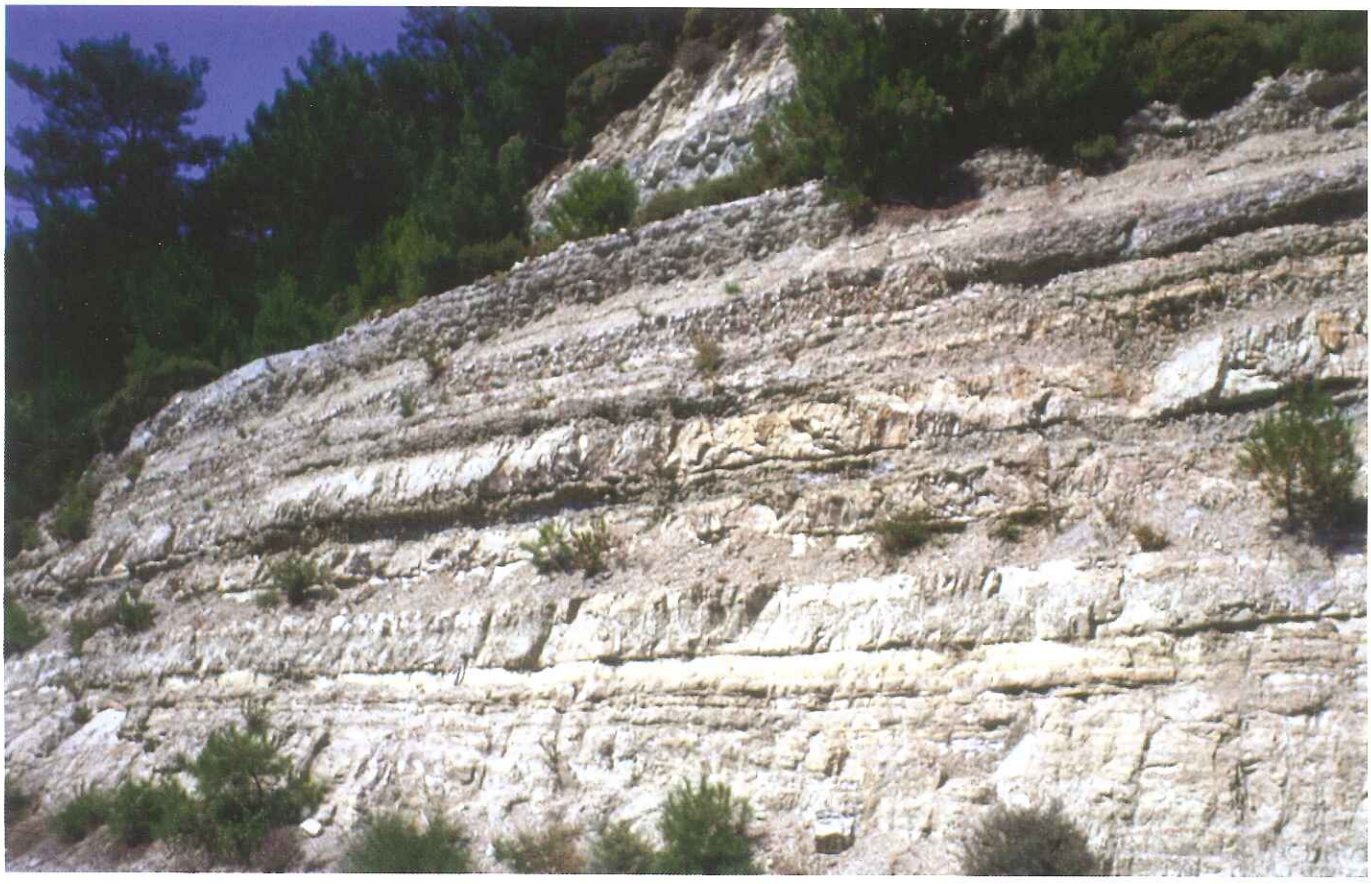


Figura 3.- Vista de un afloramiento de tefras zeolitizadas, depositadas como turbiditas en un lago salino-alcalino del Mioceno de la Isla de Samos, Grecia.

molienda y, finalmente, separación en grano o bien en polvo antes de su envasado. En algunos casos se someten también a procesos químicos que las hacen más aptas para ciertas aplicaciones.

Por su parte, la manufactura de zeolitas sintéticas constituye un proceso cuyo inicio tuvo lugar a finales de los años cuarenta, con mejoras sucesivas hasta la actualidad. La fabricación de zeolitas sintéticas comienza con la preparación de "geles", esto es, mezclas de

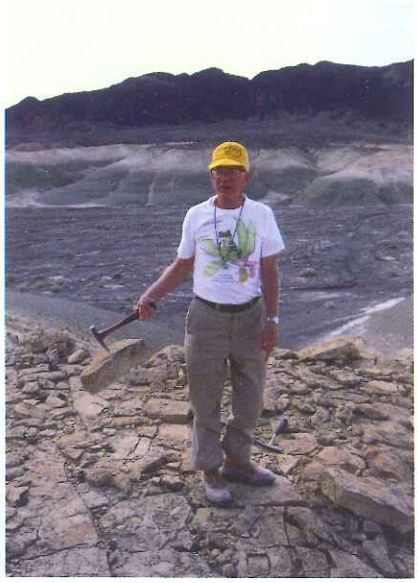


Figura 4.- Depósitos de zeolitas en la Cuenca de Tecopa, California. Al fondo se observan los depósitos estratificados de tefras zeolitizadas lacustres, al pie de relieves constituidos por rocas volcánicas. En primer plano, el Dr. R. Sheppard sostiene en su martillo un bloque formado mayoritariamente por erionita que muestra muy baja densidad y se adhiere fuertemente a la punta del martillo.

aluminosilicatos metálicos hidratados altamente reactivos que se obtienen a partir de soluciones acuosas de aluminatos, silicatos e hidróxidos sódicos; en ocasiones se emplea también otro hidróxido, por ejemplo, hidróxido potásico. La estructura de "gel" se produce como resultado de la polimerización de los aniones silicato y aluminato. Las zeolitas se forman cuando los geles cristalizan en un intervalo de temperatura desde temperatura ambiente hasta unos 200ºC, bien sea a presión atmosférica o controlada. Este proceso básico puede sufrir variaciones.

Propiedades y aplicaciones de las zeolitas

Las propiedades específicas de las zeolitas dependen de su estructura básica y su composición química. La estructura básica de estos minerales es un esqueleto tridimensional constituido con tetraedros de silicio-oxígeno y aluminio-oxígeno; los tetraedros se unen entre sí formando anillos de 4, 6 e incluso 10 miembros y otras formaciones más complejas. Los anillos se apilan dando lugar a canales de tamaño molecular de 0,3 a 1,0 nm (**figura 5**), lo que hace que las zeolitas sean materiales microporosos con estructura regular. Dado que normalmente se forman en medios acuosos, sus poros están rellenos de agua.

Los canales de tamaño molecular contienen los cationes, fundamentalmente sodio, potasio, calcio y magnesio, que compensan la carga negativa del esqueleto. Esta carga se debe a la existencia de tetraedros $(AlO_2)^-$ sustituyendo a los $(SiO_2)^0$. El enlace electropolar entre cationes y esqueleto permite el cambio de unos cationes por otros, es decir, una zeolita sódica puede ser fácilmente transformada en cálcica con sólo introducirla en una disolución de iones calcio. Esta capacidad de cambio iónico es la más importante propiedad de las zeolitas y depende fundamentalmente de la relación molar Si/Al en el esqueleto.

Por calentamiento de las zeolitas se consigue que el agua que rellena los canales salga, consiguiéndose unos poros de gran actividad superficial capaces de atrapar cualquier molécula gaseosa, e incluso favorecer reacciones químicas en su interior (propiedades catalíticas).

La capacidad de las zeolitas de atrapar moléculas es el resultado de la existencia en su estructura de canales con tamaño fijo. Para que la molécula sea adsorbida por la zeolita debe tener un tamaño inferior al diámetro del canal. Es decir, dependiendo de su tamaño puede adsorber selectivamente un tipo específico de molécula en una mezcla; este comportamiento selectivo da importantes posibilidades a las zeolitas, ya que pueden servir como filtros de moléculas ("cajas moleculares"). Así, por ejemplo, son capaces de eliminar las moléculas lineales en una mezcla de hidrocarburos alifáticos y aromáticos.

En resumen, la adsorción molecular, el cambio iónico y las propiedades catalíticas son las propiedades específicas sobre las que se fundamenta las importantes aplicaciones de estas sustancias (Breck, 1974). A continuación se hace un resumen de los campos de aplicación más importantes de estos materiales (Mumpton, 1986; Ming y Mumpton, 1995).

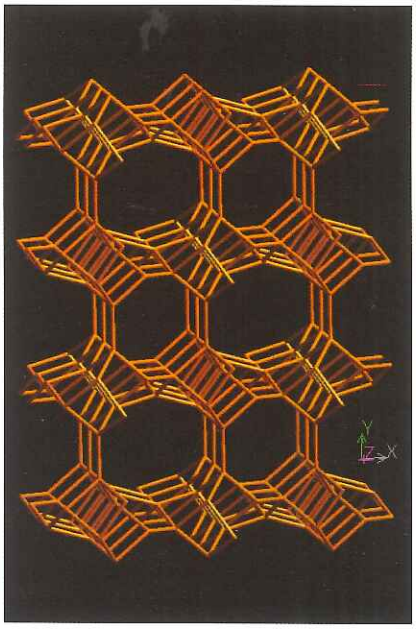


Figura 5.- Grandes canales en heulandita formados por anillos de 8 y 10 tetraedros segun la dirección 001 (tomado de Atlas Structure Zeolites IZA).

Tratamiento de aguas residuales

Las zeolitas son muy selectivas en la extracción de NH_4^+. En 1967 se comenzó a emplearlas en la eliminación de nitrógeno amoniacal de aguas residuales y agrícolas, ya que este ión, además de ser tóxico para los peces y otras formas de vida animal, contribuye al rápido crecimiento de algas y conduce a la eutrofización de ríos y aguas estancadas. En Europa y Estados Unidos se ha impuesto la limitación de un contenido máximo de 1 ppm de NH_4^+ en las aguas municipales e industriales que se viertan a los ríos. Con

objeto de disminuir la concentración de NH_4^+ se han diseñado plantas que utilizan clinoptilolita como agente cambiador.

Limpieza de gases

Al aumentar los requerimientos mundiales de energía, la tecnología se ve forzada a desarrollar nuevos procesos de purificación donde las zeolitas tienen cabida. Así, por ejemplo, se emplean para la eliminación de SH_2, SO_2, CO_2 y H_2O del gas natural, mejorando así sus propiedades combustibles. Desde 1975 se viene explotando también el metano producido por la fermentación anaerobia de los desechos municipales y del estiércol animal; el gas se obtiene fuertemente contaminado con CO_2 y SH_2. Este último compuesto produce malos olores y el deterioro de conducciones y quemadores. El problema se elimina al hacer pasar el gas por columnas que contienen una mezcla de clinoptilolita-ferrierita.

Es de prever, en próximos años, la utilización de carbones con alto contenido en azufre. Las zeolitas pueden ser un medio para eliminar el SO_2 emitido por chimeneas e incluso los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos. Especies tales como la mordenita y clinoptilolita son capaces de absorber 200 mg de SO_2 por gramo.

Producción de oxígeno

El nitrógeno gas es adsorbido selectivamente del aire por varias zeolitas (mordenita, clinoptilolita y 4A en fase Ca) del aire, enriqueciendo la mezcla hasta un 95% de oxígeno. Desde 1980 se vienen fabricando unidades que permiten enriquecer el aire de locales públicos, tales como restaurantes, grandes almacenes, cines y teatros.

Otro importante campo, todavía en fase de estudio, es el de la gasificación del carbón. Más del 50% del carbón mundial se encuentra en sedimentos profundos y la gasificación puede permitir su empleo. Inyectando aire dentro de los depósitos de carbón situados en profundidad se puede obtener un gas enriquecido en CO, el cual puede servir tanto de combustible como en síntesis química. Este gas contiene una alta proporción de óxidos de nitrógeno que son peligrosos y difíciles de manipular. El uso de aire enriquecido en oxígeno palía este problema y las zeolitas pueden proporcionar este elemento a coste más bajo que el obtenido mediante licuefacción convencional, haciendo así rentable la explotación de yacimientos profundos de carbón.

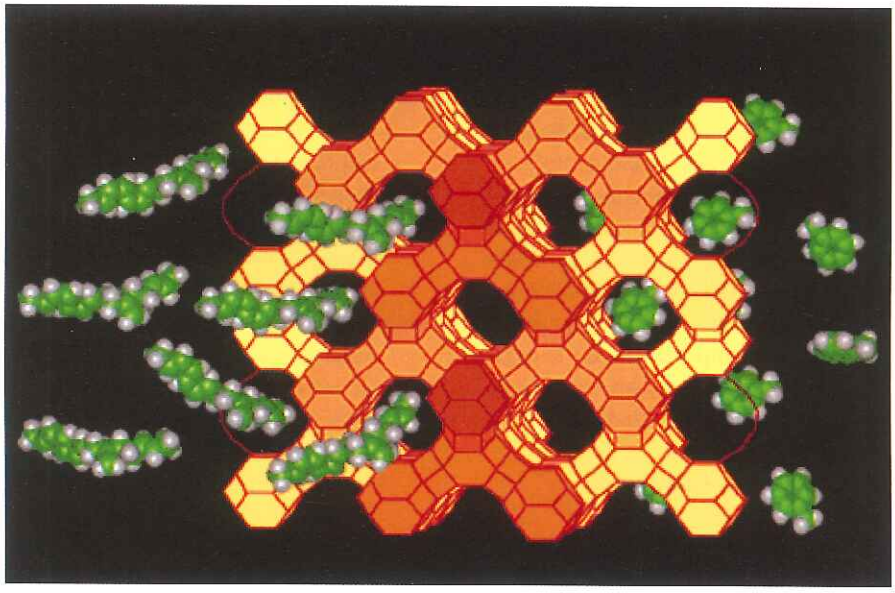


Figura 6.- Simulación grafica del empleo de la faujasita como catalizador en síntesis orgánica. Obtención de tolueno a partir de un n-alcano (tomado de Atlas Structure Zeolites IZA).

Uso en energía solar

La gran cantidad de energía puesta en juego en los procesos de deshidratación-hidratación de las especies mordenita y clinoptilolita ha servido para emplear estos materiales como eficientes cambiadores de calor. La deshidratación de la zeolita durante el día mediante energía solar y la hidratación durante la noche, liberando energía, proporciona de forma económica la energía necesaria para una vivienda.

Uso como catalizadores

En general, las zeolitas naturales no pueden competir con muchos catalizadores por su pequeño tamaño de poro. Sin embargo, especies como la mordenita, faujasita y clinoptilolita se están introduciendo en procesos de síntesis y reformado de gasolinas debido a su capacidad de aguantar ciclos de síntesis-regeneración (**figura 6**). La mordenita se utiliza en catálisis de desproporcionación de hidrocarburos; la erionita se usa en el reformado catalítico de hidrocarburos (aumento del número de octanos); la clinoptilolita en la hidrogenación de alquenos. Por su parte, la mezcla de zeolitas sintéticas X, Y y ferrierita es un buen catalizador de cracking. La clinoptilolita se utiliza en cracking, isomerización, hidrogenación, alkilación y polimerización.

Usos en el sector agropecuario

En función de su alta capacidad de cambio iónico y retención de agua, las zeolitas se usan en Japón en enmiendas de suelos. La pronunciada selectividad de la clinoptilolita por el amonio se ha aprovechado en la preparación de fertilizantes químicos, los cuales introducen lentamente el NH_4^+ en el suelo por cambio iónico. En suelos con poca arcilla se deja notar un gran aumento de capacidad de cambio al añadir zeolitas.

Desde 1965 se viene experimentando en Japón el uso de clinoptilolita y mordenita en la dieta de animales. Más del 10% de zeolitas se añade a la ración normal de cerdos, pollos y rumiantes, resultando un significativo aumento en la conversión del alimento y en la salud general de los animales. Se ha observado

una ganancia de peso de las gallinas sin efectos adversos en la producción de huevos. Efectos similares se han comprobado en el caso de los cerdos: con una dieta del 5% en clinoptilolita, los animales ganan más del 25% en peso respecto a los de dieta normal y además presentan menos alteraciones intestinales. No se conoce la función precisa de la zeolita en el proceso de alimentación pero se ha sugerido que la clinoptilolita puede actuar como reservorio de nitrógeno en el sistema digestivo del animal, permitiendo una lenta y más eficiente liberación de los iones amonio procedentes de la ingesta.

En Japón se viene utilizando desde antiguo la clinoptilolita en granjas de aves y cerdos. La zeolita es mezclada con los excrementos y simultáneamente puesta en cajas colgadas del techo, consiguiéndose unos edificios secos, limpios y considerablemente menos odoríferos. La eliminación de NH_3 y SH_2 en el ambiente trae como consecuencia la disminución de enfermedades respiratorias, mejora de la salud de los animales e incremento de la producción de huevos y carne.

Usos en acuicultura

La clinoptilolita es efectiva para eliminar NH_4^+, uno de los metabolitos más tóxicos en acuicultura y extremadamente perjudicial para los peces en concentraciones superiores a algunas partes por millón. En ambientes con poco oxígeno, tales concentraciones pueden producir daños en las agallas y reducción de la velocidad de crecimiento. En la actualidad, el 97-99% del amonio generado en una piscifactoria puede ser eliminado recirculando el agua por columnas de cambio iónico de clinoptilolita.

La mordenita se emplea también como suministradora de oxígeno en el transporte de peces, contribuyendo a la supervivencia de estos animales en largos transportes.

Producción de papel

Tanto la clinoptilolita como la mordenita se emplean ampliamente como carga de papel, obteniéndose un producto más opaco, fácil de cortar y de escribir con estilográfica que los cargados con arcillas. Actualmente las zeolitas tienen gran aplicación en la fabricación de papeles autocalco.

Purificación de soluciones radioactivas

Debido a sus propiedades de cambio, la clinoptilolita, mordenita y filipsita se emplean para eliminar niveles bajos de Cs^{137} y Sr^{90} en instalaciones nucleares. Los iones se pueden extraer con alta eficiencia y almacenarlos indefinidamente atrapados en las zeolitas.

Limpieza de derrames de petróleo

Para este fin se emplea la capacidad de absorción de las zeolitas, fabricándose pelets de zeolita activada, perlita expandida, carbonato sódico, ácido tartárico y un adherente. El producto tiene una densidad de 0,5 g/cm^3 y una capacidad de absorción de crudo de 0,97 g de crudo por gramo. El material es capaz de flotar en el agua más de 200 horas eliminando la película de crudo.

Sorción de metales tóxicos

Debido a su capacidad de cambio de cationes, las zeolitas naturales son capaces de atrapar cationes pesados tóxicos, como cobre, cadmio, mercurio y plomo. En suelos contaminados por estos cationes se produce migración y acumulación final de éstos en las plantas. Un buen procedimiento para eliminar este problema consiste en añadir clinoptilolita al suelo, de forma que la zeolita atrapa los cationes y disminuye el nivel de metales tóxicos tanto en el suelo como en las plantas. Similarmente, la adición de clinoptilolita en suelos contaminados con Sr^{90} produce una marcada disminución de su contenido en las plantas. Este hecho puede tener enorme importancia en la regeneración de áreas que han recibido altas dosis de radioactividad.

Fabricación de detergentes

Un detergente de lavado esta compuesto de 20% de tensoactivos, 30% de calgón, 40% de sales sódicas (silicato y sulfato) y 10% de blanqueantes y otros. El calgón se viene utilizando como cambiador iónico (ablandador del agua) desde 1940. En las aguas residuales del lavado el calgón se hidroliza produciendo iones fosfato que contribuyen a la eutrofización del medio acuático. Investigaciones alemanas realizadas en 1975 pusieron a punto un detergente conteniendo una zeolita sintética que suplia con ventaja al calgón en cuanto a capacidad de cambio iónico y sin problemas de eutrofizacion. Desde entonces a acá se ha venido incrementando de forma exponencial el uso de este tipo de zeolitas en detergentes de lavado. Así, el consumo mundial de zeolita A en 1998 fue de 1.500.000 Tm, pocos productos industriales han experimentado un crecimiento similar en tan pocos años. La mejora del medio ambiente con el uso de los nuevos detergentes ha sido notable.

Referencias bibliográficas

BOLES, J.R. (1988). Occurrences of natural zeolites - Present status and future research. En: Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites (D. Kallo y H.S. Sherry, Eds), Akademiai Kiado, Budapest, 3-18.

BRECK, D.W. (1974). Zeolite molecular sieves. Wiley Interscience, New York.

GOTTARDI, G. y GALLI, E. (1985). Natural Zeolites. Springer-Verlag, Berlin, 409 pág.

HALL, A. (Ed.) (1996). Zeolite deposits. Mineralium Deposita, 31, 451-596.

MINATO, H. (1988). Occurrence and application of natural zeolites in Japan. En: . Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites (D. Kallo y H.S. Sherry, Eds), Akademiai Kiado, Budapest, 395-420.

MING, D.W. y MUMPTON, F.A. (1995). Natural Zeolite '93. Occurrence, Properties, Use. International Committee on Natural Zeolites, Brockport, New York, 622 págs.

MUMPTON , F.A. (Ed.) (1986). Mineralogy and geology of natural zeolites. Mineral. Soc. America, Reviews in Mineralogy, 4, 225 pág.

SHEPPARD, R.A. (1984). Zeolites in sedimentary rocks. En: Industrial Minerals and Rocks (S. Lefond, Ed.), Am.Soc.Min.Metal., 2, 1413-1418.

STAMATAKIS, M.G., HALL, A. y HEIN, J.R. (1996). The zeolite deposits of Greece. Mineralium Deposita, 31, 473-481.

SURDAM, R.C. (1986). Zeolites in closed hydrologic systems. En: Mineralogy and geology of natural zeolites (F.A. Mumpton, Ed.), Mineral. Soc. America, Reviews in Mineralogy, 4, 65-92.

Perímetros de protección de la calidad en captaciones de abastecimiento urbano

Carlos Martínez Navarrete

Dr. en Ciencias Geológicas
Técnico de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas
Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Álvaro García García

Geólogo
Técnico de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas
Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

En este artículo se sintetiza la problemática y la metodología inherente a la delimitación e implementación en el territorio de los perímetros de protección de captaciones de agua subterránea destinadas al abastecimiento urbano. Éstos constituyen una figura legal utilizada satisfactoriamente desde hace décadas en diversos países, siendo necesario en España incrementar su conocimiento y aplicación. Para ello se incluyen diversos ejemplos y reflexiones de los autores fruto de su trabajo en este campo.

La necesidad de hacer compatible la creciente actividad socioeconómica en el territorio con la salvaguarda de la calidad del agua subterránea, requisito irrenunciable en la empleada para el abastecimiento a poblaciones, se puede conseguir mediante el establecimiento de perímetros de protección en las captaciones de abastecimiento.

Éstos se definen como un área en torno a una captación en la cual de forma graduada se restringen o prohiben las actividades o instalaciones susceptibles de contaminar las aguas subterráneas. La aplicación de esa graduación en las restricciones se consigue mediante la división en diversas zonas como se indica en la figura 1. El objetivo es implantar restricciones más fuertes en el área más próxima a la captación e irlas reduciendo al incrementar la distancia a la misma. El tamaño de las diferentes zonas debe asegurar un recorrido y tiempo de tránsito de los solutos a través del acuífero, desde el eventual punto de vertido hasta la captación, que permita su depuración o degradación antes de que el agua sea bombeada.

La dilatada experiencia obtenida tras la implantación de los perímetros de protección durante décadas en diversos países de nuestro entorno (Alemania, Francia, Reino Unido, Holanda, Dinamarca y Estados Unidos, entre otros), ha demostrado su eficacia. En contraposición, en España, la aprobación final por la Junta de Gobierno del Organismo de cuenca de los numerosos perímetros de protección de captaciones de abastecimiento urbano, propuestos desde 1985, su inclusión en los Planes Hidrológicos de cuenca y la implantación real en el terreno de las restricciones que conllevan, es muy reducida.

Ante esta situación debemos recomendar y reclamar que la escasa implantación real de los mismos, en nuestro país, sea subsanada. Para ello es imprescindible una voluntad política que impulse las oportunas reformas y precisiones en el marco legal y la necesaria coordinación de las diferentes administraciones (estatal, autonómica y local) involucradas.

Planificación regional

En España, el 70% de las poblaciones menores de 20.000 habitantes se abastecen mediante aguas subterráneas, lo que da una idea del elevado número

de perímetros de protección a establecer. Por ello, el objetivo final de definirlos e implantarlos en todas las captaciones de abastecimiento urbano debe alcanzarse en diferentes etapas, siendo necesario realizar una planificación regional que establezca un orden de prioridades en su elaboración, iniciando los estudios en los municipios en que es más urgente la protección de sus captaciones. Este orden de prioridad es recomendable efectuarlo en función del análisis de la situación actual del abastecimiento, las características hidrogeológicas de los acuíferos captados, la importancia de las actividades potencialmente contaminantes, la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación existente (1).

El objetivo final de definirlos e implantarlos en todas las captaciones de abastecimiento urbano debe alcanzarse en diferentes etapas, siendo necesario realizar una planificación regional

Estudios complementarios

Para poder delimitar e implantar en el territorio los perímetros de protección de las captaciones de abastecimiento urbano, hay que efectuar necesariamente unos estudios complementarios previos.

Éstos comprenderán el análisis pormenorizado de la infraestructura de abastecimiento (captaciones, depósitos, redes de distribución y alcantarillado), demanda urbana, características geológicas e hidrogeológicas del acuífero captado, focos potenciales de contaminación, vulnerabilidad de las formaciones, riesgo de contaminación de los acuíferos y la categoría urbanística del suelo.

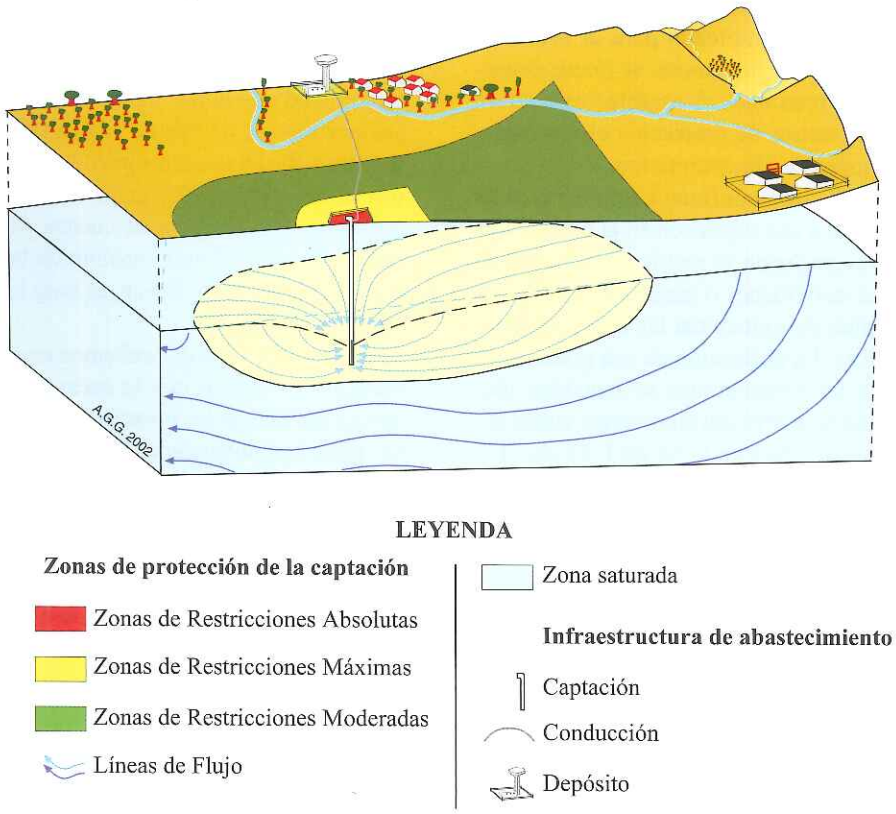


Figura 1.- Esquema de un perímetro de protección de la calidad y sus zonas.

Este análisis proporciona la información necesaria para poder definir qué criterios (distancia a las captaciones, descenso de niveles de agua, tiempo de tránsito, criterios hidrogeológicos, poder autodepurador del terreno) son los más adecuados para definir los perímetros de protección, y sobre la base de qué métodos (analíticos, análisis de vulnerabilidad, modelos matemáticos o criterios hidrogeológicos) delimitarlos.

Métodos aplicables en función del acuífero captado

Las características del acuífero captado son fundamentales para definir qué métodos son aplicables para delimitar las diferentes zonas en que se subdividen los perímetros de protección.

En medios porosos o asimilables, medios relativamente homogéneos en que puede aplicarse la ley de Darcy, es en los que más métodos y con mayor precisión pueden aplicarse, ya que pueden utilizarse métodos hidrogeológicos, analíticos y modelos matemáticos. Los métodos hidrogeológicos son fundamentales, empleándose siempre como complemento a los otros dos, si bien cuando se emplean de manera exclusiva presentan el inconveniente de proporcionar una única zona, la correspondiente al área de alimentación de la captación, en lugar de la división del perímetro como permiten los otros métodos, facilitando así el establecimiento de restricciones gradualmente.

Los métodos analíticos emplean ecuaciones sencillas que requieren pocos datos (normalmente es necesario únicamente conocer el caudal de explotación de la captación, el gradiente hidráulico, la conductividad hidráulica, el espesor saturado y la porosidad eficaz) y permiten, en su mayor parte, considerar el tiempo de tránsito por lo que resultan muy fáciles de aplicar al establecer diferentes zonas.

El inconveniente de estos métodos es que efectúan una simplificación de las características hidrogeológicas del acuífero y de las condiciones de explotación, siendo necesarias unas condiciones muy

estrictas (pozos totalmente penetrantes, acuíferos de extensión infinita...) que pueden alejarse sensiblemente de la realidad, por lo que presentan un cierto error. Éste es reducido para las primeras zonas (restricciones absolutas y máximas calculadas normalmente mediante un tiempo de tránsito de 1 y 50 días respectivamente) y se incrementa para la zona más alejada (definida normalmente mediante un tiempo de tránsito de varios años).

Los modelos matemáticos, cuando se dispone de información suficiente para su ejecución y calibrado, permiten tener en cuenta variaciones en los principales parámetros hidráulicos, heterogeneidad del acuífero, influencias de bombeos y otros factores, por lo que ofrecen resultados más precisos especialmente en la delimitación de la zona de restricciones moderadas y, sobre todo, cuanto mayor sea el tiempo de tránsito empleado, que en esta zona varía de 1 a 25 años.

En la **figura 2** se muestra como ejemplo las zonas delimitadas en el perímetro de la calidad de la "Font Major" de la localidad de Sella en Alicante. Éstas se definieron empleando un método analítico (el método de Wyssling) complementado con criterios hidrogeológicos al considerarse el acuífero captado como asimilable a poroso.

En la parte inferior de la **figura 2** se muestra el idílico paisaje del entorno de dicha captación de abastecimiento, lamentablemente alterado por la existencia de un cámping a su alrededor, incluido en la zona de máximas restricciones. La existencia de esta instalación en dicha zona es inadmisible, como se detallará posteriormente, al reflejar las restricciones aplicables a cada zona, lo que reafirma la necesidad de concienciar a todas las administraciones en la protección de sus captaciones de abastecimiento.

En los medios kársticos y fisurados, no asimilables en su funcionamiento a medios porosos, se restringe considerablemente el número de métodos a aplicar, tanto analíticos como modelos matemáticos, que deben ser específicos para esos medios heterogéneos.

La delimitación de perímetros de protección en estos materiales debe

Zonas de restricciones para el perímetro de protección de la calidad propuesto para la "Font Major de Sella"

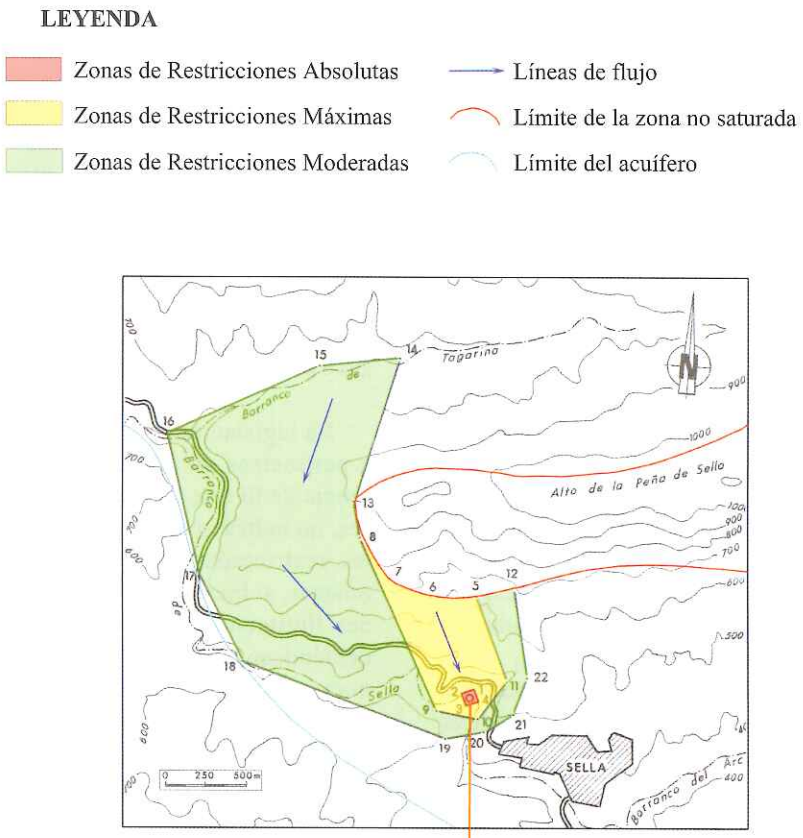




Figura 2.- Perímetro de protección de la calidad propuesto para la "Font Major" de Sella (Alicante) y detalle del entorno de dicha captación (2).

La legislación española referente a perímetros de protección, a diferencia de lo que sucede en otros países, no indica qué zonas establecer ni las restricciones a imponer en las mismas

efectuarse mediante el empleo de métodos hidrogeológicos complementados con el uso de trazadores o bien mediante una aproximación a la vulnerabilidad, empleando preferentemente los índices de vulnerabilidad desarrollados específicamente para su empleo en dichos materiales.

Las características de heterogeneidad de estos medios aconsejan considerar adicionalmente en los perímetros de protección zonas satélite de protección. En ellas se impondrán condicionamientos más fuertes. En esas zonas como la considerada en el perímetro de protección de la "Font del Molí" de Benimantell, en Alicante, reflejado en la **figura 3**, que corresponde a una dolina, se imponen condicionantes más fuertes al considerarse que presenta una conexión hidráulica preferente con la captación disminuyendo el tiempo de tránsito hasta la misma.

Regulación de actividades en las diferentes zonas

La legislación española referente a perímetros de protección, a diferencia de lo que sucede en otros países, no indica qué zonas establecer ni las restricciones a imponer en las mismas, si bien sí contempla establecer limitaciones y condicionantes, debiéndose definir éstos en cada propuesta de delimitación de perímetro de protección.

En la **tabla 1** se muestra un ejemplo de restricciones a imponer a las diferentes zonas. La dureza de las mismas estará directamente relacionada con el tiempo de tránsito que delimita cada zona. En la incluida como ejemplo la zona de restricciones absolutas se ha delimitado en base a un tiempo de tránsito de 1 día.

Esta zona, de reducidas dimensiones, normalmente del orden de 100 a 400 m^2, en la que no se permite ninguna actividad excepto las destinadas a la conservación y explotación de la captación, debe ser vallada para impedir el acceso de personas no autorizadas o tránsito de vehículos.

Estas medidas deben complementarse con una vigilancia periódica de las instalaciones, ya que, como se ve en la fotografía de la **figura 4**, por sí mismos, no pueden frecuentemente impedir el acceso de personal no autorizado, y acompañarse de campañas informativas, al ser imprescindible incrementar la concienciación y participación ciudadana en la salvaguarda de sus captaciones de abastecimiento.

Zonas de restricciones contempladas en el perímetro de protección de la calidad para la "Font del Molí"

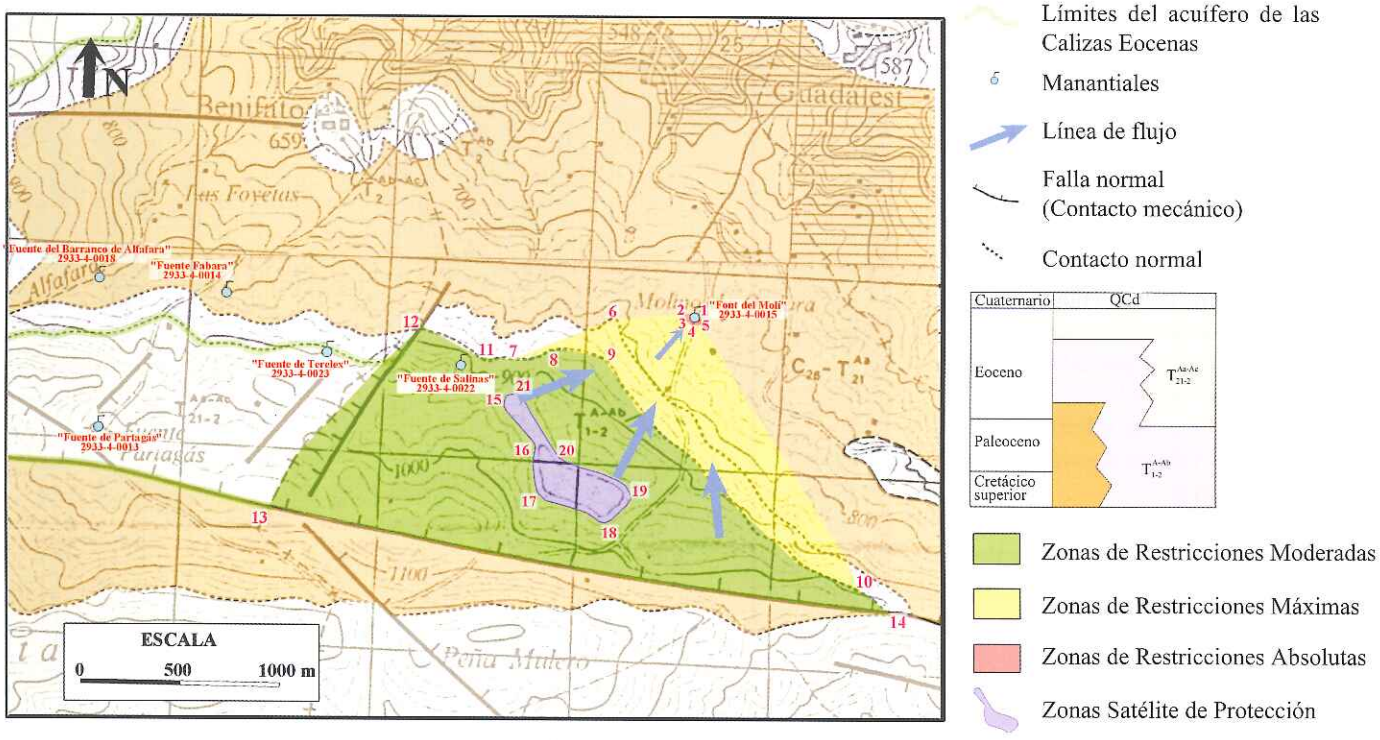


Figura 3.- Ejemplo de propuesta de perímetro de protección un medio kárstico (3).

Tabla 1.- Regulación y restricciones a imponer a diversas actividades e instalaciones en las diferentes zonas en que se subdividen los perímetros de protección de la calidad (4).
*** El proyecto de actividades debe incluir informe técnico sobre las condiciones que debe cumplir para no alterar la calidad existente del agua subterránea.**

	Definición de actividades a regular en el perímetro	Perímetros de protección de la calidad							
		Zona de restricciones absolutas	Zona de restricciones máximas			Zona de restricciones moderadas		
		Prohibido	Prohib.	Cond.*	Permit.	Prohib.	Cond.*	Permit.
Actividades agrícolas y ganaderas	Uso de fertilizantes	●	●				●	
	Uso de herbicidas	●	●				●	
	Uso de pesticidas	●	●				●	
	Almacenamiento de estiércol	●	●				●	
	Vertido de restos de animales	●	●				●	
	Ganadería intensiva	●	●				●	
	Ganadería extensiva	●	●					●
	Almacenamiento de materias fermentables para alimentación del ganado	●	●				●	
	Abrevaderos y refugios de ganado	●	●				●	
	Silos	●	●				●	
Actividades urbanas	Vertidos de aguas residuales urbanas sobre el terreno	●	●				●	
	Vertidos de aguas residuales urbanas en fosas sépticas o balsas	●	●				●	
	Vertidos de aguas residuales urbanas en cauces públicos	●	●			●		
	Vertido de residuos sólidos urbanos	●	●				●	
	Cementerios	●	●				●	
Actividades industriales	Asentamientos industriales	●	●				●	
	Vertido de residuos líquidos industriales	●	●			●		
	Vertido de residuos sólidos industriales	●	●			●		
	Almacenamiento de hidrocarburos	●	●				●	
	Depósito de productos radiactivos	●	●			●		
	Inyección de residuos industriales en pozos y sondeos	●	●			●		
	Conducciones de líquido industrial	●	●			●		
	Conducciones de hidrocarburos	●	●			●		
	Apertura y explotación de canteras	●	●				●	
	Relleno de canteras o excavaciones	●	●				●	
Otras	Cámpings	●	●				●	
	Acceso peatonal	●			●			●
	Transporte redes de comunicación	●		●			●	

El tiempo de 50 días es el que se considera necesario para garantizar la degradación de la contaminación bacteriológica como han demostrado diversos estudios efectuados en Alemania empleando trazadores

La zona de restricciones máximas comprende el área en la cual una eventual contaminación en la misma alcanzaría la captación en un tiempo de tránsito inferior a 50 días. Las restricciones serían las mismas de la zona anterior si bien se permitiría el acceso peatonal y que la atraviesen redes de comunicación.

Los eventuales vertidos en la zona de restricciones moderadas tardarían en alcanzar la captación un tiempo comprendido entre un mínimo de 50 días y el límite superior de dicha zona (normalmente de 1 a 25 años).

El tiempo de 50 días es el que se considera necesario para garantizar la degradación de la contaminación bacteriológica como han demostrado diversos estudios efectuados en Alemania empleando trazadores (5).

Por lo tanto muchas actividades, especialmente aquellas agrícolas o urbanas que producirían una contaminación bacteriológica, degradable en un tiempo superior a 50 días, pasarían a ser condicionadas o permitidas.

El límite externo de esta zona, y, por lo tanto, del perímetro de protección, no existiendo restricciones a partir de él, debe ser lo suficientemente elevado para permitir la búsqueda de fuentes de abastecimiento alternativas, ya que los contaminantes de larga persistencia terminarían alcanzándola. Por eso, en muchos países se consideran valores muy elevados, de hasta 25 años, para dicha zona.

El tiempo de 50 días es el que se considera necesario para garantizar la degradación de la contaminación bacteriológica como han demostrado diversos estudios.

Referencias bibliográficas

1. Martinez Navarrete, C., Lopez Geta, J. A. 2001.Perímetros de protección de aguas subterráneas y del medio ambiente relacionado. En Iribar, V., Grima, J. y Sánchez Vila (ed.), Las aguas subterráneas en el Plan Hidrológico Nacional. Ediciones Mundiprensa, Madrid. Tema 6, 89 - 97.
2. Martinez Navarrete, C. y Garcia Garcia, Á. 2001 a. Methodology for wellhead protection areas implementation. Application to urban water supply catchments in carbonated and detritic formations in Spain. Protecting Groundwater., Birminigham, U. K. Environment Agency NC/00/10/Conference Proceedings. 198-209.
3. Martinez Navarrete, C. y Garcia Garcia, Á. 1999. Estudio para la delimitación de perímetros de protección a las captaciones de abastecimiento urbano a Benimantell (Alicante). IGME. Informe H8-03-99.
4. Martinez Navarrete, C. y Garcia Garcia, Á. 2001 b. Metodología y criterios técnicos para la implementación de perímetros de protección de las captaciones de abastecimiento urbano en formaciones carbonatadas. Aplicación a diversos municipios de la provincia de Alicante. VII Simposio de Hidrogeología, Murcia. Tomo XXIII, Hidrogeología y recursos hidráulicos: 733 – 745.
5. Knorr, M. en Käss, W. 1998. Tracing technique in geohydrology. A.A. Balkema, Rotterdam. 580 p.



Figura 4.- Sondeo CB- 15 perteneciente a la red de captaciones del Canal de Isabel II (Madrid), que indica la necesidad de complementar las instalaciones de protección pasivas con sistemas de vigilancia periódica y campañas informativas para incrementar la concienciación ciudadana de la necesidad de salvaguardar sus captaciones de abastecimiento.

Minas de alumbre de Rodalquilar en el obispado de Almería: siglo XVI

Francisco Hernández Ortiz

Geólogo
Repsol YPF
fhernandezo@repsol-ypf.com

A lo largo la historia de la minería, se puede encontrar determinadas sustancias minerales, que han sido constante objeto de búsqueda y explotación por parte del hombre, como por ejemplo, los metales preciosos.

Sin embargo, en otros casos nos encontramos con sustancias minerales que han sido objeto de búsqueda y explotación por parte del hombre, solo en determinados momentos a lo largo de la historia, como por ejemplo, el alumbre. Este producto llego a ser uno de los más valorados en la minería medieval, pero desde esa época hasta nuestros días, ha llegado a perder tanta importancia, que muy pocas personas sabrían responder a la pregunta: ¿qué es el alumbre?

Valor comercial y usos de los alumbres en la época medieval

El alumbre ya era conocido y utilizado por los romanos, en diferentes campos, pero no será hasta la época medieval, cuando llegara a ser una materia de inmensa importancia económica, dado su uso imprescindible en la industria textil, que en ese momento, era una de las primeras industrias en importancia en el mundo. Esto significaba, un gran volumen anual de dinero, generado por la industria y el mercado del alumbre, lo cual atrajo la atención de personajes tan importantes, como el propio Papa de Roma, la familia Medicci y algunos de los cortesanos más poderosos del Reino de España, en los siglos XV y XVI.

Su principal interés textil, radicaba en que era necesario para fijar los colores en las telas, de la siguiente forma:

Los tejidos se sumergían en una disolución de alumbre y agua, impregnándose el alumbre en los poros del genero que quería teñirse y preparándose así para recibir el tinte, que de esta manera se fijaba de una forma más brillante y permanente, debido al efecto como mordiente que ejercía el alumbre. Además del alumbre, existían otras sustancias que podían ejercer la función de mordiente en el proceso textil, pero el más eficaz y por tanto, el mas utilizado, era el alumbre.

También se utilizaba el alumbre en otras actividades, como eran en el curtido de cueros y pieles, en la fabricación de vidrio y pergaminos, en la elaboración de libros y códices, en la fabricación de velas, en elaboración de productos de farmacia, e incluso en la fabricación de pinturas. Como se puede ver, era una sustancia de gran interés comercial en esos tiempos.

Cuando en 1445, se produce la perdida de las minas de alumbre de Bizancio, que caen en manos de los turcos, se produce un encarecimiento en los precios del mercado. La respuesta de Europa, es buscar nuevos yacimientos de alumbre, dentro de sus fronteras. Como consecuencia de esto, son descubiertas consecutivamente las minas de Tolfa (en los estados pontificios) y las de Mazarrón, Rodalquilar y Lorca, (en el sudeste de España).

Situación geográfica y geológica de las minas de alumbres de Rodalquilar

Las minas de Rodalquilar, están situadas en el Levante de la actual provincia de Almería, dentro de lo que es la sierra volcánica del Cabo de Gata (**plano 1**), que discurre paralela a la costa durante unos 25 kilómetros, desde el faro de Cabo de Gata, hasta Mesa Roldan, siendo su anchura media de unos 5 kilómetros y no superando la altura de 500 metros.

En esta Sierra del Cabo de Gata, los materiales volcánicos van desde las edades de 15 millones de años, hasta los 7 millones de años, y comprenden rocas desde los términos de composiciones básicas intermedias, hasta términos de composiciones ácidas. Los sedimentos marinos se dispusieron discordantemente sobre los materiales volcánicos, hace entre unos 7 a 5 millones de años. Por ultimo, hace entre unos 3 a 4 millones de años, se produjeron las alteraciones de origen ígneo, que dieron lugar a los yacimientos de alumbres.

Respecto a la geología del yacimiento mineral de Rodalquilar, existen multitud de trabajos que abarcan todo tipo de estudios geológicos. Los primeros datan de principios del siglo XIX y son estudios geológicos generales sobre la Sierra del Cabo de Gata (dentro de la cual esta ubicado Rodalquilar) y sobre el volcanismo del sudeste de España. Los últimos y más completos, están realizados por Antonio Arribas en la década de los años 1990, exponiéndose dentro de ellos, numerosos aspectos sobre el origen, descripción y evolución del yacimiento mineral.

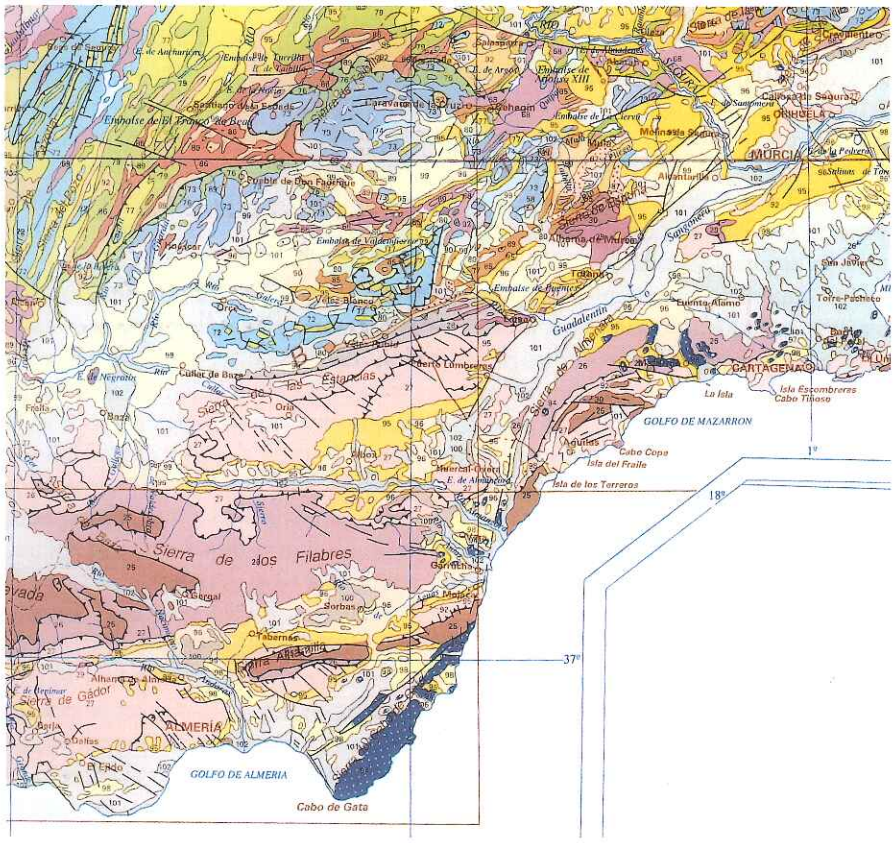
Descripción general de los yacimientos de alumbres de Rodalquilar

Los yacimientos de alumbres están relacionados con intensos procesos geológicos de alteración de las rocas de la caldera de *Rodalquilar*. Estos procesos tuvieron lugar sobre todo, en la parte Norte de la citada caldera, como por ejemplo en la ladera (intracaldera) del cerro de la *Molata*, a poca distancia de la actual costa y del fondeadero del Playazo. Son los yacimientos de edad más moderna en el área, datándose entre hace 3-4 millones de años. También en la zona del cerro del Cinto existen yacimientos de alumbres, pero algo menos importantes que los de la zona del Playazo (Los Tollos).

La roca de la que se obtenían los alumbres, (después del adecuado tratamiento), es la traquita alunífera. La traquita es una roca magmática efusiva de composición intermedia y que se presenta en coladas o en diques. Su composición tiene un importante contenido alcalino, sobre todo potásico.

El mineral más importante del yacimiento es la alunita, de la cual existe en Rodalquilar uno de los yacimientos más importantes del mundo. La alunita es un sulfato de aluminio y potasio, $(SO_4)_2KAl_3(OH)_6$ que raramente se encuentra cristalizado y que es resultado de alteraciones de rocas ricas en feldespato potásico (como la traquita). Estas alteraciones se suelen producir por medio de circulación de aguas ricas en sulfatos.

En el caso de Rodalquilar, la alteración de la roca madre ha sido tal, que no hay rastro de la apariencia y textura originales de la roca, quedando solo un material masivo, poco coherente y de colores terrosos y blanquecinos.



Plano 1.- Situación geográfica y geológica de la Sierra volcánica del Cabo de Gata. El color azul oscuro representa los afloramientos volcánicos. (Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias, ITGE, 1994).

Secuencia histórica de los alumbres de Rodalquilar

En la historia de Rodalquilar, básicamente han existido dos tipos diferentes de minas: Las antiguas de los *alumbres* y las más modernas minas de *metales* (plomo, plata, oro, cobre, manganeso, hierro, platino, cinc).

Las de los alumbres dieron lugar al antiguo pueblo de Rodalquilar, actualmente desaparecido, y que se encontraría situado en los alrededores del conocido localmente como *Castillo de la Ermita* (**figura 1**), situado a un escaso kilómetro de distancia del fondeadero del Playazo. El actual pueblo de Rodalquilar se encuentra situado en otro



Figura 1.- Castillo de la Ermita, situado en el valle de Rodalquilar. En el siglo XVI este edificio desempeño un doble uso (minero y militar). Detrás del castillo se puede ver la ladera intracaldera del cerro de La Molata e incluso se pueden adivinar los vaciaderos de algunas de las minas de alumbres.

lugar mas alejado de la costa, junto a las minas metálicas explotadas en los siglos XIX y XX.

Los depósitos minerales de alumbres, explotados probablemente en la época árabe y con toda certeza en los años posteriores al final de la reconquista, son diferentes a los depósitos minerales metálicos explotados en la segunda mitad del siglo XIX y a lo largo del XX. Genéticamente los dos tipos están relacionados, ya que ambos se originaron en diferentes fases de un mismo proceso geológico.

En ambos casos, su origen se encuentra asociado con los procesos ígneos que originaron la caldera de *Rodalquilar* y la caldera de *La Lomilla.*

Época árabe

Es en la etapa de dominación árabe, hacia el año 1100, cuando se produce la época de mayor esplendor en la historia de la ciudad de Almería. El final de esta brillante época se produjo en el 1147 con el asalto, saqueo y destrucción de la ciudad y de sus industrias, por parte de los cristianos.

En la zona minera de Rodalquilar cabe destacar la probable existencia de labores árabes, para explotar los alumbres. Dicha explotación, estaría ligada a la existencia de una potente industria textil en la ciudad de Almería en el siglo XII, cuando los talleres textiles se contaban por cientos, siendo la mayoría de ellos, de carácter unifamiliar.

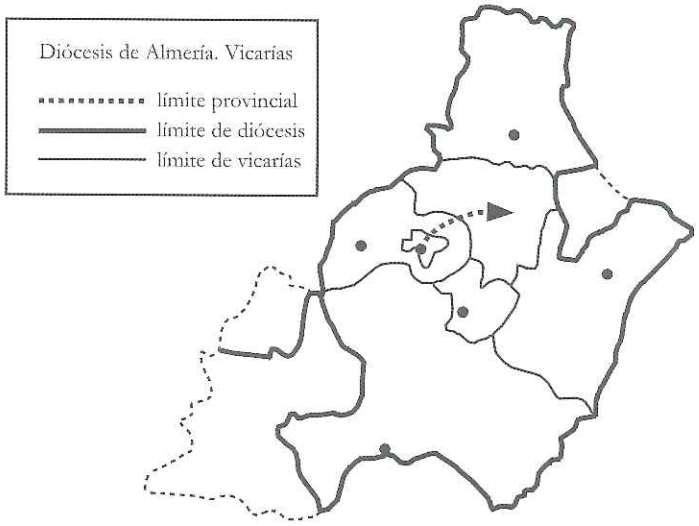
Estas labores mineras árabes de alumbres, serían las primeras conocidas de este producto en el valle de Rodalquilar, previas a las del siglo XVI. Sin embargo, algunos autores consideran que fue en 1509 cuando se descubrieron los alumbres de Rodalquilar.

En cualquier caso, la existencia de los yacimientos de Rodalquilar, debió de ser conocida en la Corte de Castilla, ya que muy poco tiempo después de la reconquista de la actual provincia de Almería, se concedió la primera explotación de alumbres, de la cual queda documentación escrita. Esta concesión, se hizo a favor de un importante personaje de la Corte, en esa época.

Reconquista y ordenación del territorio

Mediante tratado y sin ninguna lucha, en junio de 1488, la comarca donde se encuentra Rodalquilar se incorpora a la Corona de Castilla, al tiempo que lo hacen con muy pocos días de diferencia, todo el Levante de Almería: Vera, Mojacar, Cuevas, Huescar, Huercal-Overa, Níjar, Los Velez, Oria, Orce, Galera, Castilleja, Purchena y otras villas más.

Al año siguiente, el día 21 de Diciembre del 1489, en el paraje que actualmente ocupa el cementerio de Almería y frente a la derruida Torre de Cárdenas, se reúnen los *Reyes Católicos* y el Rey de Almería *El Zagal*, para el acto de la previamente pactada



Plano 2. - Limites geográficos del obispado de Almería (establecidos en el siglo XVI), comparados con los de la actual provincia de Almería (establecida a principios del siglo XIX). Fuente: Andujar Castillo, F. 1994.

capitulación de la ciudad de Almería. Al día siguiente, los primeros soldados entran en la ciudad y, el día 23, lo hacen los Reyes Católicos.

Una de las primeras referencias escritas de Rodalquilar tras la Reconquista se produce en 1497, cuando los Reyes Católicos promulgan una ordenanza sobre la estancia de "*Rodalquilate*".

Será a partir de finales del siglo XV, cuando se empiezan a conceder permisos para explotar sustancias minerales en grandes áreas geográficas de la parte oriental del antiguo Reino Nazarí de Granada, como eran, por ejemplo, las tierras del obispado de Almería, en el cual se encuentra localizado Rodalquilar.

Aunque Almería fue conquistada en el año de 1489, no será hasta el 21 de Mayo de 1492, cuando el Cardenal y Arzobispo de Toledo, Don Pedro González de Mendoza, firma en la Alhambra de Granada, el documento por el cual se erige la Catedral de Almería y, al mismo tiempo, su Diócesis. Pero a pesar de los documentos firmados en Granada, no será hasta el año de 1505, cuando se estructura y ordena la Diócesis de Almería. En este año, el Arzobispo de Sevilla, fray Diego de Deza, erige los beneficios parroquiales y sacristanías de la Diócesis de Almería. Dentro del obispado de Almería, Rodalquilar estaba incluido en la vicaria Mayor o vicaria de Almería.

Ante la ordenación de 1505, surgen problemas territoriales con la Diócesis vecinas (sobre todo la de Cartagena), hasta tal punto que se debe nombrar un juez apostólico, el cual dictará sentencia, en el año de 1509, sobre los límites definitivos de la Diócesis de Almería (**plano 2**). Estos límites de la Diócesis, han permanecido vigentes hasta el siglo XX.

Esta ordenación territorial del obispado de Almería y el establecimiento de sus límites, van a ser importantes a la hora de reconstruir la historia minera de este periodo, ya que es la más clara referencia territorial existente en el área oriental del antiguo Reino Nazarí de Granada (es decir, lo que hoy día es la provincia de Almería). La creación de la citada provincia de Almería es consecuencia del proceso de ordenación territorial del año 1833, realizado por Javier de Burgos. Mediante este proceso desaparece la antigua división territorial por reinos y aparece la división provincial, quedando así establecido el actual mapa provincial de España.

Los alumbres de Rodalquilar en el siglo XVI

Apenas concluida la conquista de Almería, se comienza a dar las primeras Cedulas Reales para explotación de minas en el obispado de Almería.

La primera de ellas se concede ya en 1499 cuando, por Real Orden, se arriendan a Juan de Alanis las minas del obispado de Almería para su explotación. Los trabajos y descubrimientos no debieron ser de importancia, ya que no existen noticias sobre ellos.

A esta primera concesión del 1499, la seguirían muchas otras a lo largo de todo el XVI. Pero es en el 1509 (año en el que acaban los problemas con las Diócesis vecinas) cuando se concederá, la que será, la explotación minera más importante de la Sierra del Cabo de Gata en el siglo XVI.

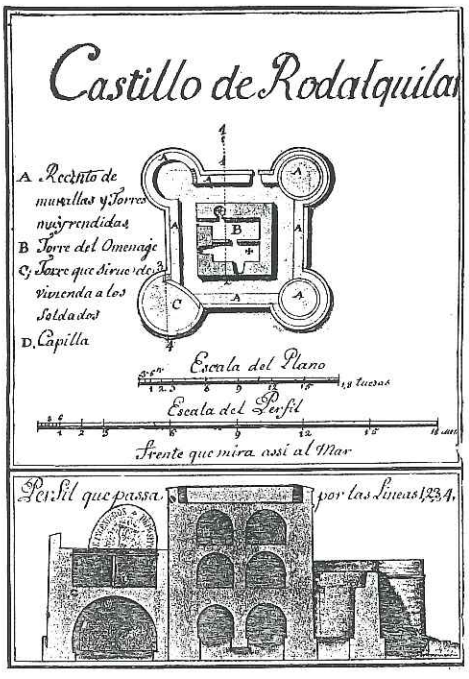
El día 1 de Marzo de 1509, mediante Cédula Real fechada en Valladolid, la Corona concede al licenciado y consejero de la Reina, Francisco de Vargas, el derecho de explotar los alumbres del obispado de Almería. Se fijan los impuestos a pagar, en una octava parte de los beneficios tras sufragar gastos. La duración de este derecho de explotación, era perpetua para él y sus herederos.

Primer periodo de explotación (1509-1520)

Francisco de Vargas centrará la explotación de los alumbres del obispado de Almería en los yacimientos del valle de Rodalquilar. Para ello realizó una inversión importante, de la que solo ha llegado hasta nuestros días, el conocido popularmente como *Castillo de la Ermita* (**figura 1** y **plano 3**) y que era uno de los dos castillos construidos por Francisco de Vargas, entre los años 1509-1511.

Alrededor de la protección ofrecida por estos dos castillos, se disponían las casas de lo que era, en aquel entonces, el pueblo de Rodalquilar.

En 1511, el complejo minero de Rodalquilar ya estaba en producción y los trabajos se desarrollaron con total normalidad, bajo el control de Francisco de Vargas.



Plano 3.- Plano del Castillo de Rodalquilar, el cual es conocido localmente como Castillo de la Ermita. (Archivo Histórico Militar).

Periodo de abandono temporal (520-1575)

Será en el año de 1520, cuando ocurre un hecho trágico y desgraciado en la historia de Rodalquilar. En estos momentos, y, al parecer, debido a los problemas políticos que hay en Castilla, el castillo de Rodalquilar, cuya función es proteger al pueblo y las minas, se encuentra sin guarnición. En este año se produce un asalto por parte de los piratas árabes y se saquea el poblado y las minas. Esto supone el brusco final de las minas de alumbres de Rodalquilar.

Tras el saqueo se inicia una larga inactividad en los alumbres y una época marcada por la inseguridad política y militar en la zona del Cabo de Gata. Los incursiones de piratas árabes eran constantes, la situación con los moriscos era delicada, y la zona era estratégica para llegada de refuerzos a los moriscos o para su huida al Norte de África.

Algunos hechos destacables en este periodo de inactividad, comprendido entre 1520 y 1575, fueron los siguientes:

El 31 de Marzo de 1564, Felipe II promulga una Real Cédula por la cual ordena investigar el estado de actividad de las explotaciones de alumbres de la Corona. Tras la investigación, se promulga una Real Pragmática por la que se deben incautar las minas de alumbres de Rodalquilar como consecuencia de su inactividad y pasar a la

Tabla 1.- Cronología de hechos clave, en el mercado de alumbres.

Año de 1445:	• Perdida de las minas de alumbres de Bizancio a manos de los turcos. Se comienza a buscar nuevos yacimientos para abastecer a Europa, debido al encarecimiento de los precios impuestos por los turcos.
Año de 1462:	• Descubrimiento de las minas de alumbre de Tolfa, en los Estados Pontificios. • Descubrimiento de las minas de alumbre de Mazarrón, en el Reino de Murcia. • El Rey Enrique IV concede la explotación del alumbre murciano a su favorito Juan Pacheco, Marques de Villena. • El Marques de Villena, cede la mitad de sus derechos sobre los alumbres al Adelantado de Murcia, Pedro Fajardo (en esta época de la reconquista, existía la figura del Adelantado, el cual era el gobernador militar y político de una provincia fronteriza, como en este caso el reino de Murcia, siendo el personaje más importante y poderoso de este reino).
Año de 1485:	• Ya están en producción los yacimientos y fábricas de alumbres de Mazarrón.
Año de 1509:	• Descubrimiento de las minas de alumbres de Rodalquilar, en el obispado de Almería. • Mediante Cédula Real, se concede la explotación del alumbre de Rodalquilar al licenciado Francisco de Vargas (Consejero Real).
Año de 1511:	• Ya están en producción, los yacimientos y fábrica de alumbres de Rodalquilar.
Año de 1520:	• Paran los alumbres de Rodalquilar.
Año de 1525:	• Descubrimiento de minas de alumbres, en Lorca. • El Emperador Carlos V concede la explotación del alumbre de Lorca, a su hombre de confianza y secretario, Francisco de los Cobos.
Año de 1530:	• Hombres del Marques de Villena arriendan las minas de Rodalquilar, con el objetivo de impedir su producción, (cosa que lograron), y controlar los precios del mercado.
Año de 1541:	• Tras innumerables pleitos y negociaciones con las casas de Villena y Velez, Francisco de los Cobos, renuncia a sus últimos derechos sobre los alumbres murcianos. A pesar de ésto, aun quedarían algunos años de problemas, que se irán resolviendo poco a poco, entre ambas partes.
Año de 1565:	• El Rey Felipe II, ordena la incautación de todos los alumbres que estén sin explotar en su reino. Esto incluye a los de Rodalquilar, pasando su explotación a la Hacienda Real.
Año de 1568:	• El Rey Felipe II, prohíbe la exportación de alumbre a las provincias flamencas, las cuales se encontraban en guerra frente a la Corona. Más tarde, también prohibirá la exportación a Inglaterra por la misma causa. De esta forma desaparece el principal mercado de los alumbres españoles (Flandes).
Año de 1575:	• Se reinicia la actividad en los alumbres de Rodalquilar, que pararon en 1520. • Desde este año, la Hacienda Real, reclama el pago de impuestos sobre la exportación de los alumbres de Murcia, los cuales, hasta esa fecha, habían estado exentos de pago. Este aumento de fiscalidad supone otro importante golpe negativo para los alumbres españoles.
Año de 1592:	• Se descubren los yacimientos de esquistos aluminosos en varias partes de Europa. De ellos, también se podía obtener el alumbre a un coste mas barato que el extraído en los yacimientos tradicionales de España. • Cierra definitivamente la explotación de alumbres de Rodalquilar.
Año de 1594:	• Cierran las explotaciones de alumbres de Murcia. Queda como única actividad la fábricación de la almagra, que era un producto secundario de la fábricación de los alumbres.

Real Hacienda de la Corona. Esta incautación se ejecuta en 1565.

En 1570, es Juan López Tamarid quien emite un informe recomendando el inicio de la explotación en los alumbres de Rodalquilar. Acababa de terminar la sublevación morisca (1568-1570).

En 1574, la comarca de Níjar (en la cual está Rodalquilar), aun se encuentra despoblada, según los datos reflejados por la visita de Tello González de Aguilar. Esto implica que en Rodalquilar la población era inexistente o de carácter temporal. Hacia solo seis años que se había producido la rebelión de los moriscos del Reino de Granada (1568). Con toda la inseguridad que ésto suponía, la población tendía a concentrarse en zonas seguras como en este caso, Níjar.

A pesar de que no hubo actividad en los alumbres de Rodalquilar entre 1520 y 1575, las minas estuvieron alquiladas en más de una ocasión, pero el objetivo de estos alquileres no fue explotar los alumbres, sino lo contrario, ya que lo que se pretendía era alquilar las minas y asegurarse de esta manera que no se explotaran, para así poder controlar el mercado de alumbres. Algunas de las personas que alquilaron estas minas fueron personajes relacionados con los nobles españoles que controlaban las minas de alumbres murcianas.

Segundo periodo de explotación (1575-1592)

Solucionados en parte los problemas con los moriscos, ya en 1575 había de nuevo actividad en las minas de alumbres y existía una guarnición en su castillo, que no dejaría de estar presente en Rodalquilar durante unos dos siglos. Las casas estaban alrededor del conocido como castillo de la Ermita y había un pequeño muro que las cercaba.

En este periodo de explotación de los alumbres, era el Estado el dueño de las minas, ya que hacia muy poco las había incautado por orden de Felipe II.

En 1587, en documentos eclesiásticos, se describe que en la comarca había dos pilas bautismales, una era la de "*Níjar*" con 40 casas habitadas y otra la de "*los alumbres de Rodalquilar*" con 74 casas habitadas, dando esto idea de la importancia de las minas, ya que Nijar era de las villas más importantes del Levante del obispado de Almería.

Pero en 1592 se paralizaron los trabajos para no volver a iniciarse nunca más. La causa del cierre de la explotación de los alumbres, fue la consecuencia de una acumulación de factores políticos y mineros, que influyeron de manera negativa en el mercado internacional de alumbres, hasta llegar a paralizar a la mayoría de las minas de alumbres de España (ver **tabla 1**).

Laboreo y obtención de los alumbres

Existen pocos documentos sobre las minas de alumbre de Rodalquilar, en su aspecto mas estrictamente minero de extracción y elaboración de la mena.

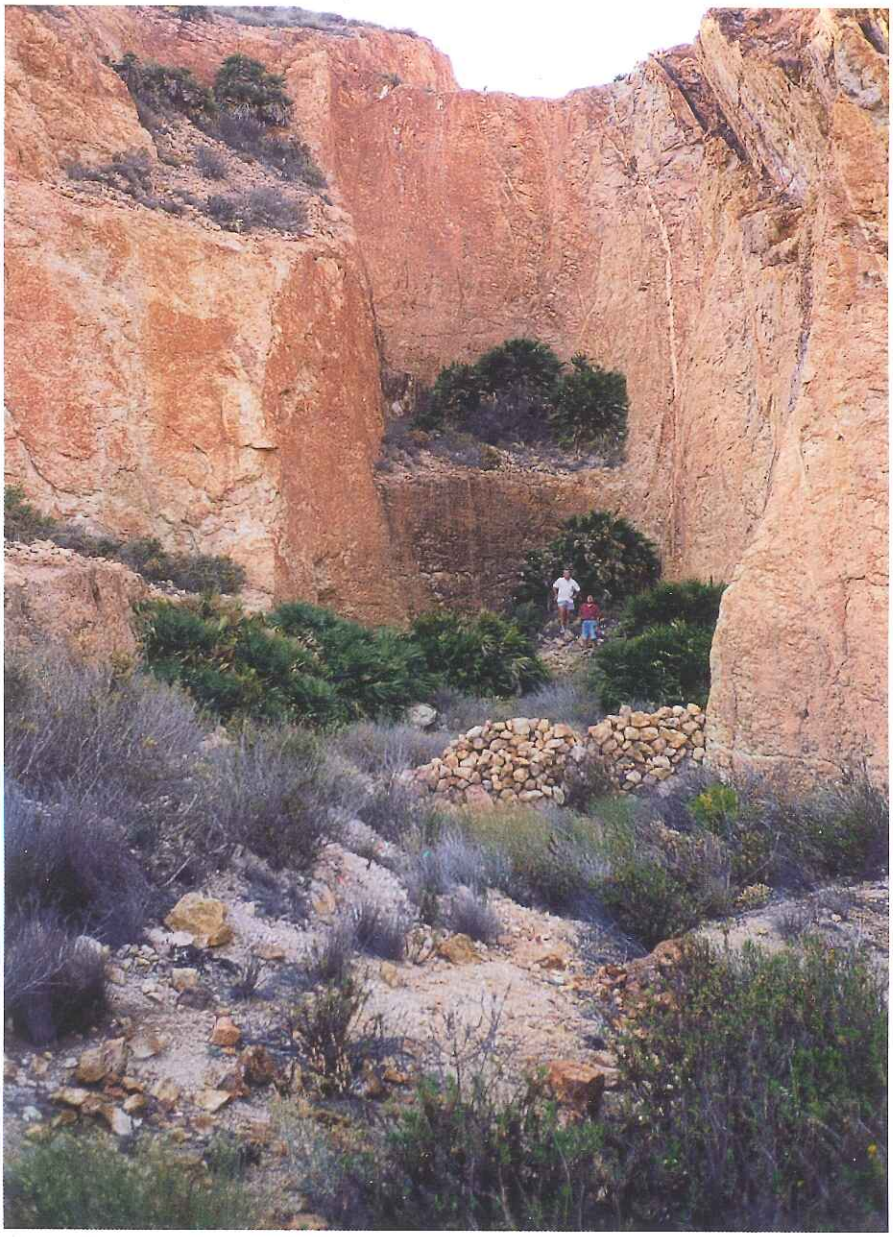


Figura 2.- Tollo de La Felipa. Este es uno de los tollos de mayor tamaño del valle de Rodalquilar y esta situado en las inmediaciones de los yacimientos auríferos del cerro del Cinto. En el centro de la imagen se puede ver a dos personas que ayudan a apreciar la escala de esta mina de alumbres, sobre todo si tenemos en cuenta que desde donde se encuentran estas personas, hasta donde esta situada la persona que tomo la fotografía, es el hueco dejado por el mineral arrancado con unas técnicas de laboreo rudimentarias y limitadas.

La mayoría de las minas y la fábrica de alumbre estaban situadas ambas, en la parte Este del valle de Rodalquilar y cercanas al fondeadero del Playazo. Una parte importante de las labores mineras, se encuentran distribuidas a lo largo de la ladera del cerro de la Molata, y la fábrica, (hoy ya desaparecida), debiera estar muy cerca, pero ya en la llanura del valle, a un escaso kilometro del mar.

Existe una segunda zona de yacimientos de alumbre situada en la zona del cerro del Cinto. La labor más representativa de esta zona es el tollo de "*La Felipa*" (**figura 2**).

Respecto a la fábrica de alumbres, debía de encontrarse en un edificio del tamaño suficiente para albergar un gran número de recipientes de distintos tamaños, utensilios para la fábrica y un lugar de secado y almacenaje del alumbre, con lo cual, debemos hacernos la pregunta de:

¿Desempeñaría alguno de los "dos" castillos descritos en la documentación existente sobre los alumbres del licenciado Francisco de Vargas, la doble función de ser al mismo tiempo, un edificio de carácter defensivo y un edificio que albergaba la fábrica de alumbres?

Parece que así pudiera ser, debido a que solo una construcción con esas dimensiones, podría albergar una fábrica de alumbres, por muy pequeña que esta fuese, y solo se tienen noticias de la existencia de estas dos construcciones en Rodalquilar, en esa época, con el tamaño necesario.

Laboreo de las minas de traquita alunífera

Respecto al laboreo de las minas de alumbres, no hay demasiada documentación, y solo han llegado hasta nuestros días, los "tollos" o grandes cavidades que son el resto de antiguas explotaciones de la traquita alunífera, la cual era la mena de las minas y se utilizaba, más tarde, para obtener el alumbre. Anecdóticamente, una cortijada y una rambla en los alrededores de las antiguas minas, aun conservan ambas el nombre de "Los Tollos", en clara referencia al paraje donde están situadas.

Las labores mineras fueron muy superficiales la mayoría de las veces, hasta el punto de que no se les debería aplicar el nombre de minas, en el sentido estricto de explotación que penetra en el interior de la tierra utilizando pozos y galerías para extraer un mineral de interés económico. Estas labores en los denominados "tollos", se limitaron a arrancar la traquita alunífera en superficie o ahondando algunos metros, a la manera de un pequeño cráter o trinchera (**figura 2**). Estos trabajos, debieron realizarse probablemente, con métodos y herramientas que no debían diferenciarse en mucho a los utilizados en la minería romana y árabe.

Hay una excepción, en la cual, sí hay minas propiamente dichas, existiendo en dos lugares de la ladera del cerro de la Molata, unos pozos verticales de planta rectangular y bastante profundos, que debieron ser utilizados para la extracción de la traquita alunífera. En estos dos lugares, se pueden observar algunos restos de rudimentarios sistemas auxiliares para la mina (**figura 3**).

Sin embargo, no esta claro si estas minas son del siglo XVI o de explotaciones posteriores. Debemos recordar que, en el siglo XVIII, las minas de alumbre trabajadas en Europa eran mayoritariamente de interior y se explotaban, al igual que las minas metálicas, mediante pozos y galerías.

Fabricación de alumbres

El método de fabricación del alumbre no es de una gran complicación técnica. Está basado fundamentalmente, en los procesos de calcinación, disolución y cristalización, partiendo de lo que po-dríamos llamar una mena, a partir de la cual y mediante su adecuado tratamiento, se conseguiría, al final del proceso, la obtención del alumbre apto para su comercialización.

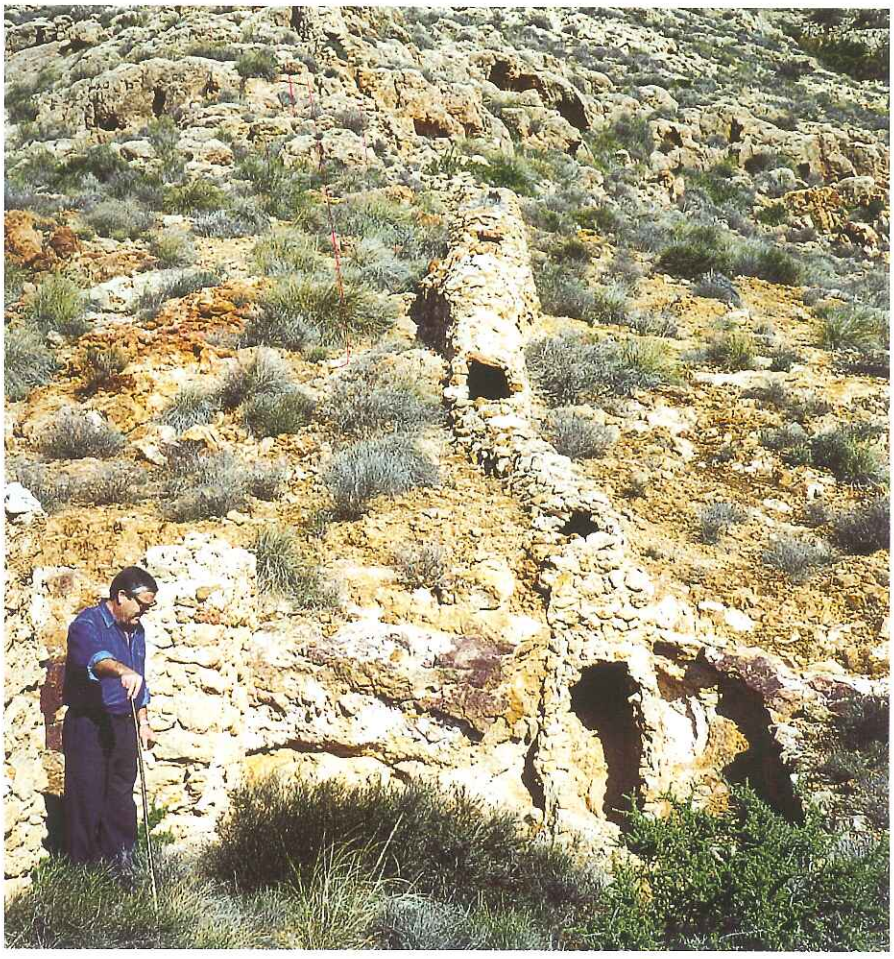


Figura 3.- A los pies de la persona de la imagen y entre los matorrales, se encuentra uno de los pozos existentes en el cerro de la Molata y que pudo ser una mina de interior de alumbres. Sobre la ladera del cerro, se aprecia lo que parece ser un sistema de ventilación para la mina.

En el caso de Rodalquilar, la roca llamada traquita alunífera, es la mena de la que se extraían los alumbres, pero no era directamente vendible en el mercado, de manera que necesitaba un proceso de elaboración antes de llegar a ser un alumbre y poder venderse en el mercado español y en el europeo.

La bibliografía existente sobre la fabricación de alumbres es prácticamente inexistente en la actualidad, ya que dejó de ser una sustancia con gran interés económico hace bastantes años. No obstante, si nos remontamos los suficientes años atrás, nos encontraremos con interesantes obras científicas sobre el tema, escritas por diferentes autores. Una de estas obras es un tratado general sobre el alumbre, del cual se puede extraer lo siguiente:

Comienza el Tratado, hablando "*De las minas de alumbre, y de su aluminación*", haciendo una descripción detallada del origen del alumbre y explicando que es producto de un proceso de preparación, no presentándose como tal en sus minas.

Seguidamente describe los tipos de minas de alumbre que existen y como son sinónimos de calidad de la mina, tanto el peso del material, como que su grano sea fino, apretado y reluciente. Es también importante, que el contenido en hierro del material, sea bajo, ya que cuanto menor sea su presencia, se conseguirá una mejor cristalización del alumbre en su proceso de fabricación.

Más tarde, pasa a describir como se debe ensayar una mina de alumbre para averiguar su rentabilidad. Comienza el ensayo con la toma de una muestra de cuatro a seis libras de material de la mina y calcinándolas levemente. Después se hierve la muestra en agua y se filtra el líquido. Tras el filtrado, y antes de evaporar estas aguas, es cuando se debe determinar la presencia de vitriolo en ellas, y si está presente, se deben añadir los compuestos convenientes para precipitar el hierro y eliminarlo. Dependiendo de la cantidad y calidad del alumbre obtenido y de la cantidad de combustible vegetal utilizado, sé determinara la rentabilidad o falta de rentabilidad de la mina. En este proceso se considera un punto crucial, el combustible vegetal utilizado, ya que supondrá uno de los gastos más importantes, a los que se

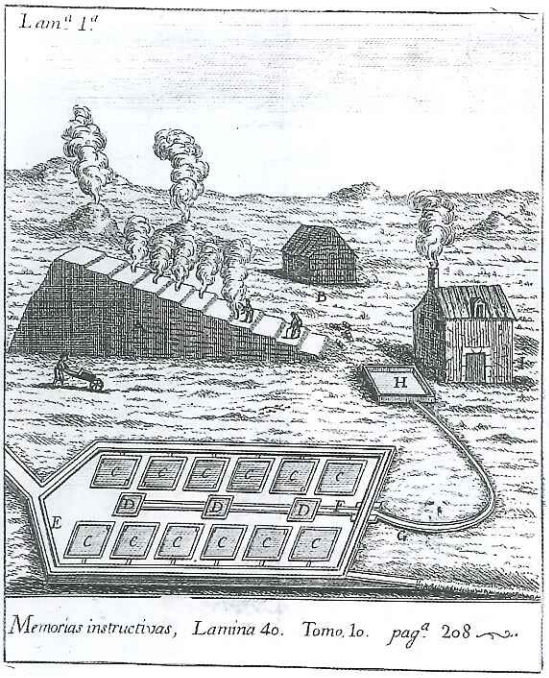


Lámina 1.- Vista del trabajo exterior de una fábrica de alumbre.
A. Montón de material extraído de una mina de alumbre, dispuesto para su calcinación al aire libre. Se van alternando sucesivamente las capas de leña y de material de la mina.
B. Almacén donde se guarda el material ya calcinado.
C. Estanques grandes para lixiviar la mina.
D. Noques o estanques pequeños para descargar en ellos las aguas aluminosas de los estanques grandes.
E. Canal que conduce las aguas desde su depósito, a los estanques mayores.
F. Canal por donde va la lejía desde los noques, al depósito general o de reunión de las lejías.
G. Continuación del mismo canal.
H. Depósito general o de reunión de lejías.
I. Edificio de la fábrica de alumbres.

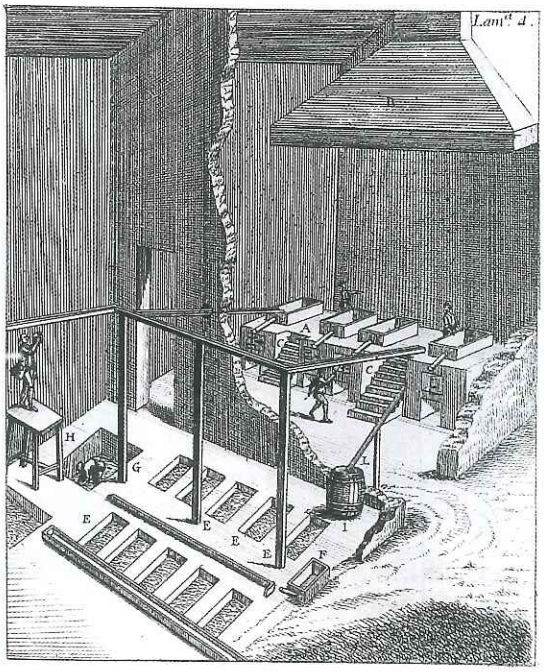


Lámina 2.- Vista del trabajo interior de una fábrica de alumbre.
A. Hornilla alimentada por carbón de tierra, cada una con su caldera montada.
B. Campana de la chimenea.
C. Escalones para subir sobre las hornillas.
D. Pared de separación que divide el edifico en dos.
E. Noques o cristalizatorios de alumbre.
F. Estanque o deposito de refrescar y clarificar el licor, antes de pasarlas a los noques de cristalización.
G. Depósito de las aguas-madres.
H. Operario que hace pasar el agua-madre a las calderas por la canal de madera sostenida por varios pilares.
I. Tonel en el que se echa a cristalizar el alumbre después de purificado.
L. Canal por donde va el agua aluminosa desde la caldera al tonel.

debe de hacer frente, en la fabricación de alumbres. Para que la mina sea rentable, debe de dar 6 onzas de alumbre por cada ocho de material de la mina reducido a lejía (líquido aluminoso que se genera en el proceso de fabricación del alumbre).

También se describe el *"Método general de hacer el alumbre"*, que de un modo resumido y sin entrar en detalles químicos, es el siguiente: (ver **lámina 1** y **lámina 2**).

A. *Calcinación.* Comienza el proceso con la calcinación del material proveniente de la mina, debiéndose tener extremo cuidado en esta calcinación, ya que en ella, puede eliminarse demasiada materia sulfúrea y entonces se obtendría poco alumbre al final del proceso. Para alcanzar el grado correcto de calcinación, es conveniente hacer ésta en un horno y no directamente sobre la leña al aire libre, ya que en el horno es mucho más fácil controlar el grado de calor y evitar la calcinación en exceso o en defecto. Cuando la calcinación se hace al aire libre, se van apilando una sobre otra, capas sucesivas de leña y de material proveniente de la mina de alumbres. (Este proceso puede durar en algunos casos, hasta 9 días).
B. *Lixiviación.* Después de la calcinación, se procede en unas hoyas o en noques, a la lixiviación del material previamente calcinado, obteniéndose la disolución de algunos de sus componentes.
(Este proceso puede durar unas 48 horas)
C. *Filtrado.* Desde estos noques, se pasará la lejía resultante de la lixiviación, hasta un depósito general, donde se filtrará, se dejará decantar y se depurará, hasta eliminar cualquier contenido terroso.
(Este proceso se prolongará por el tiempo necesario)
D. *Evaporación.* Tras el filtrado, este líquido será conducido a unas calderas de plomo, donde será sometido a cocción y evaporación.
(Este proceso puede durar unas 48 horas)
E. *Reposo.* Concluida la evaporación, el licor resultante, primero es clarificado y luego, es pasado a un recipiente donde se le dejará que cristalice. (Este proceso puede durar entre 3 o 4 días)
F. *Purificación.* El alumbre raramente sale puro y cristalizado la primera vez, por lo que es necesario someterlo a procesos de purificación. Para ello, se cogen los cristales obtenidos en la evaporación, se ponen en la exacta cantidad de agua pura (la justa para su disolución) y se hace un nuevo proceso de hervido. De esta manera, se espuman muchas impurezas, que suben a la superficie de la disolución, eliminándose al retirar la espuma. Es ahora, cuando se procederá al filtrado del líquido y a su paso a un recipiente (un cajón, una tina o un tonel), con el objetivo de que cristalice. El citado líquido, permanecerá doce o catorce días cristalizando en el recipiente, hasta que se convierta en una masa del tamaño y forma del cajón, tina o tonel, en donde se le echó.
G. *Secado.* Por ultimo, se romperá el recipiente para sacar el alumbre que contiene, llevando el citado alumbre a un almacén donde se le pondrá a secar sobre un tablado. Una vez seco, se considera acabado su proceso de fabricación y se podrá vender en el mercado, para alguno de sus múltiples usos.

Para poder hacer todas estas operaciones en una fábrica de alumbres, era necesario disponer de las instalaciones y herramientas adecuadas para el trabajo. De manera que, haciendo una recapitulación idealizada de lo que era necesario para el funcionamiento de una fábrica de alumbre, se podría decir que se necesitaba, todo lo siguiente:

- Un aljibe o depósito de agua pura, siendo la mejor, la de lluvia.
- Leña o carbón de tierra de buena calidad.
- Poseer una cantera o mina de alumbre.
- Por lo menos 4 noques (pilones de piedra o ladrillo) de gran tamaño.
- Ocho o diez noques para lixiviar la mina de alumbre.
- Un estanque general para reunir las aguas.
- Cuatro calderas.
- Una cuba o estanque de reposo para refrescar las lejías.
- Un mínimo de 8 cubetas.
- Un depósito para juntar las aguas madres.
- Varios canales de madera, de distintas longitudes.
- Bastantes cubos.
- Muchas palas de madera.
- Una o dos paletas de hierro.
- Dos o tres carretoncillos.
- Algunos toneles o cajones para la precipitación del alumbre purificado.
- Tres o cuatro cubos de pequeños con mango largo de madera para sacar el agua de las cubas y vasijas.

Referencias bibliográficas

ANDUJAR CASTILLO, F. *et al* 1994. *Almería moderna*, siglos XVI-XVIII. Instituto de Estudios Almerienses. 186 pág.

ARRIBAS JR, A. *et al.* 1995. *Geology, Geochronology, Fluid Inclusions, and Isotope Geochemistry of the Rodalquilar Gold Alunite Deposit, Spain. Economic Geology*; Volume 90. 795-822.

FRANCO SILVA, A. 1996. *El alumbre del Reino de Murcia. Una historia de ambición, intrigas, riqueza y poder. Real Academia Alfonso X El Sabio*. Biblioteca de estudios regionales; número 18. 377 pág.

GIL ALBARRACIN, A. 1995. *Los castillos de Rodalquilar en el Parque Natural del Cabo de Gata-Nijar*. Edita G.B.G. 136 pág.

GONZALEZ, T. 1832. *Registro y relación general de minas de la Corona de Castilla*. Tomos I y II.

GUALCAMARENA, M. 1976. *Vocabulario del comercio medieval. Colección de aranceles aduaneros de la Corona de Aragón (Siglos XII y XIV)*. Ediciones El Albir S.A.

SERVICIO HISTORICO MILITAR. 1700. Plano "Castillo de Rodalquilar."

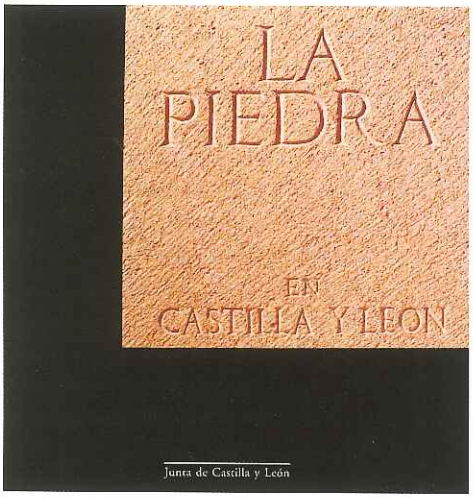
SUAREZ Y NUÑEZ, M.J. 1975. *Memorias instructivas, útiles, y curiosas, sobre Agricultura, Comercio, Industria, Economía, Medicina, Química, Botánica, Historia Natural, &c.*. Tomo X. Madrid.

TAPIA GARRIDO, J.A. 1986. *Historia general de Almería y su provincia. Almería mulsulmana I (711-1172)*. Biblioteca de autores y temas almerienses. 463 pág.

Aparición del libro 'La Piedra en Castilla y León'

Se ha publicado recientemente la segunda edición de "La Piedra en Castilla y León", revisada y ampliada (con una nueva relación de 91 variedades respecto de las 52 de la primera edición).

El libro ha sido realizado por la Sociedad de Investigación y Explotación Minera en Castilla y León (SIEMCALSA) y editado por la Junta de Castilla y León, a través de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Industria, comercio y Turismo.



La obra, cuyos autores son José Ignacio García de los Ríos Cobo (geólogo) y Juan Manuel Báez Mezquita (doctor arquitecto), está estructurada en dos grandes capítulos. El primero está dedicado a la piedra en sí, la riqueza litológica de Castilla y León, así como las distintas fases del proceso productivo de la piedra natural.

Por otro lado, un extenso apartado está dedicado a la utilización de estos materiales en al construcción, en los distintos trabajos de arquitectura, a lo largo de los siglos.

El segundo capítulo es en realidad un catálogo en que se describen las variedades comerciales que se producen actualmente. Se trata de 18 areniscas, 23 calizas, 7 cuarcitas, 1 gneis, 25 granitos, 8 mármoles y 9 pizarras. Consta además de otros apartados de interés relativos a los ensayos mecánicos de caracterización, que acompañan a cada variedad, la colocación en obra, los acabados y un directorio de empresas.

El libro, con un gran diseño gráfico, está muy ilustrado a lo largo de sus 346 páginas, con numerosas fotografías. Cada variedad aparece con una fotografía a escala real y otras varias de edificios constituidos con el mismo material.

Con este trabajo, dirigido a arquitectos, constructores, decoradores y demás prescriptores, se pretende dar a conocer la amplia oferta de rocas ornamentales que pueden conseguirse en esta comunidad y con ello fomentar su uso y contribuir al desarrollo de este sector productivo.

GEÓLOGOS DEL MUNDO

GEÓLOGOS DEL MUNDO
Colabora con nosotros, hazte socio

-Prevenir desastres naturales
-Corregir los efectos de los mismos
-Logística de campamentos
-Abastecimientos de agua
-Proyectos de desarrollo



Información: Avda/ Reina Victoria, 8, 4ºB, Madrid 28003, España.
Teléfono: +34 91 553 24 03. Fax: +34 91 533 03 43. http://geologosdelmundo.org
Correo electrónico: geologosdelmundo@icog.es

Geodiversidad y riqueza patrimonial de Castilla y León

Jaime Palacio Suárez-Valgrande

Geólogo
Recursos Naturales,
Medio Ambiente e Ingeniería, S.L.
(REMAIN, S.L.)

En este artículo se pretende destacar el enorme potencial que poseen diversos lugares de extraordinaria belleza e interés de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, para dar a conocer y divulgar su Patrimonio Geológico tanto a curiosos y amantes de la naturaleza, como al público en general. Para ello se hará una breve descripción de las características geológicas de la Región asociándolas, sin pretender ser exhaustivos, a algunos espacios naturales protegidos, atendiendo a su contenido y características como muestra de la gran geodiversidad y riqueza patrimonial de la Comunidad Autónoma de Castilla y León y a la gran interrelación de la misma con la también riquísima Biodiversidad de la Región Castellano-Leonesa.

La vastísima riqueza y variedad del Patrimonio Geológico Castellano-Leonés ha sido tradicionalmente conocida y explotada desde la antigüedad hasta nuestros días. Sus afloramientos abarcan prácticamente la totalidad del registro geológico desde el Precámbrico al Cuaternario, el espectro petrológico y litológico es así mismo muy amplio y los ambientes de formación y génesis de todos estos materiales constituye un complejo abanico de medios que incluye desde fondos marinos, plataformas someras, playas o lagos entre otros, de origen sedimentario, hasta gran variedad de rocas plutónicas y volcánicas.

Otro tanto puede decirse de su riqueza y variedad Paleontológica con flora y fauna fósiles de excepcional belleza e importancia, fauna marina de más de quinientos millones de años y, como no, en épocas más recientes, en las que es obligado destacar los yacimientos de la Sierra de Atapuerca en Burgos, con el descubrimiento del *Homo antecesor* (780.000 años) antepasado común entre los neandertales y el hombre moderno, sin olvidar las ignitas de dinosaurio, de hace más de 100 millones de años, de la Provincia de Soria, o la flora carbonífera leonesa.

Castilla y León es, además, la primera comunidad minera de España, aportando casi la cuarta parte del valor de la producción minera nacional. Su variedad y riqueza son conocidas y explotadas desde antiguo, sirvan de ejemplo las explotaciones romanas de oro de las Médulas en León, que hoy constituyen un paisaje de singular belleza y cuya importancia, junto con los ya citados yacimientos de Atapuerca, en Burgos, han sido reconocidas por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad.

El patrimonio geológico de Castilla y León. Significado y contenido

La comunidad de Castilla y León, la de mayor extensión de España, puede describirse como una gran cuenca sedimentaria que tiene como eje central al río Duero. Esta formada por una serie de llanuras entre los 700 y los 1.000 m, rodeadas por unos potentes bordes

montañosos: la Cordillera Cantábrica al norte, que culmina en los Picos de Europa; el Sistema Ibérico en el borde oriental de la cuenca y en el que se encuentran la Sierrra de la Demanda y Urbión; el Sistema Central, con las Sierras de la Pela, Ayllón, Somosierra y Guadarrama, que se continúan en Gredos, cierra por el sur la cuenca. La separación con Portugal por el oeste, viene dada, en ocasiones, por los cursos fluviales del Agueda, Turones y el propio Duero, para completar el cierre por el noroeste con las montañas galaico-zamorano-leonesas que enlazan con la Cordillera Cantábrica.

Esta descripción tiene, lógicamente, su reflejo en la geología de la comunidad, por otra parte de una gran diversidad ya que en ella afloran terrenos muy antiguos precámbricos y paleozoicos del Macizo Hespérico que se extienden por el Norte, Oeste y Sur de la misma, mesozoicos en las cadenas alpinas de la Cordillera Ibérica y la Región Vasco-Cantábrica al Este y Noreste, respectivamente, así como los de las cuencas terciarias, representadas por la Cuenca del Duero, en el centro de la región, y otras menores en Almazán, el Bierzo, etc...

Este amplio abanico de edades y materiales da lugar a un interesantísimo y valiosísimo patrimonio, tanto por su contenido como por su potencial utilización, que debe ser conocido, protegido y puesto a disposición, para uso y disfrute, de la sociedad.

El Patrimonio Geológico de una región o comarca esta pués, constituído, por un conjunto de lugares o sitios de interés geológico que muestran una o varias características consideradas de importancia dentro de la historia geológica de una región natural.

Estos lugares son considerados, en los países avanzados, como una parte fundamental del patrimonio cultural, con rango equivalente a otros elementos culturales, puesto que en ámbos casos proporcionan una información básica para conocer la historia no solo humana, sino de la tierra y la vida que en ella se ha desarrollado.

Es así mismo importante señalar que uno de los objetivos del Patrimonio Geológico es la representación de las características geológicas de la comarca o región de forma que se pueda llegar a través de él a un conocimiento geológico lo más real posible siendo, además desde un punto de vista didáctico y divulgativo, mucho más formativo y en consecuencia importante este aspecto, que si se trata, por ejemplo, de un *specimen* raro en esa Región e indudablemente valioso.

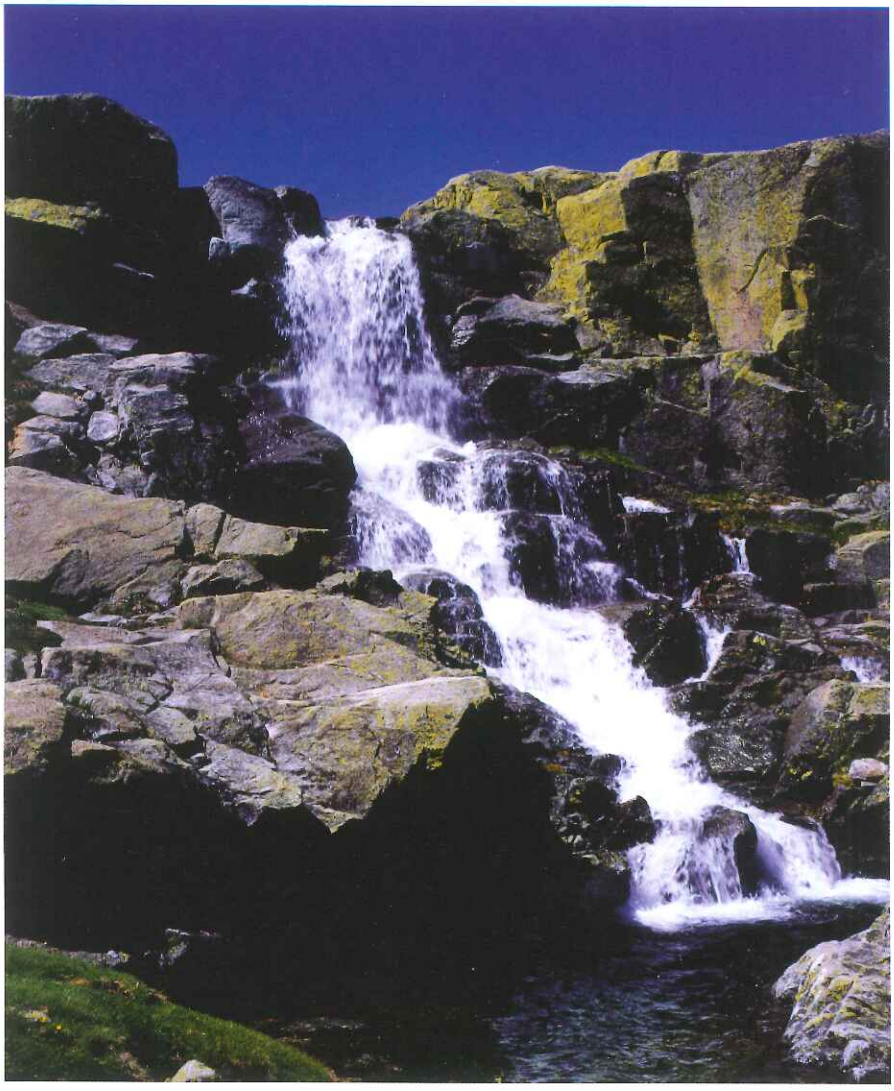
Geodiversidad y biodiversidad en Castilla y León. Relación e interdependencia

La Geodiversidad es una realidad al igual que lo es la biodiversidad. Sin embargo, es preciso reconocer y valorar el lugar de la Geología y obviamente del Patrimonio Geológico como elemento central del Paisaje y condición *sine qua non* para la existencia y desarrollo de esa biodiversidad.

El Patrimonio Geológico permite establecer el nexo entre la historia de la tierra y la historia del hombre y el desarrollo y evolución biológica y ecológica, en tanto en cuanto la tierra constituye el soporte físico primordial sobre el que se desarrolla actualmente, la actividad biológica y la humana.

En el caso de Castilla y León la vegetación es sumamente variada y está fuera del alcance y de las pretensiones de estas líneas cualquier intento de describirla, sin embargo, si se pueden enumerar algunas de las especies, más significativas.

Dentro de las series climatológicas destacan enebros, picornales, hayedos, abedules, fresnedas, quejigos, sabinares, encinas y alcornocales. Por su parte,



Sierra de Gredos.

en las series edafófilas pueden señalarse alisedas, olmedas, saucedas, fresnedas, álamo blanco, chopos y sauces.

Castilla y León presenta igualmente una gran diversidad y riqueza faunística. La gran fauna de montaña está magníficamente representada: desde el oso, al lobo y al urogallo, pasando por el corzo, al jabalí, cabra montés, ciervo o rebeco. La estepárica, la de zonas húmedas y los cursos de agua, presentan también una singular riqueza biológica y piscícola: avutardas, gansos, grullas, truchas, barbos y nutrias , son especies habituales en la región.

Es pues de justicia señalar que este Patrimonio de Castilla y León, ingente y variado, es acaso uno de los más singulares de la península Ibérica, pero es igualmente justo señalar que humedales como las lagunas de Villafáfila, o espacios como el Cañón de Ríos Lobos, Picos de Europa, Sanabria o Gredos, por solo citar algunos, no serían lo que son, ni su fauna, ni su flora, si no fuese por su soporte geológico que, junto con el componente biológico, completa y conforma el verdadero concepto de Patrimonio Natural: Geodiversidad y Biodiversidad.

A modo de extraordinario paseo se recorrerán en las próximas líneas algunos de los Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Autónoma de Castilla y León destacando su estrecha e íntima vinculación con el Patrimonio Geológico que es su soporte y condición necesaria y en muchos casos suficiente, para ostentar la distinción de haber sido declarado espacio protegido.

Gredos

Los efectos del hielo

Situada en el sector más elevado del Sistema Central, al Sur de la Provincia de Ávila, la Sierra de Gredos tuvo su origen en la Orogenia Hercínica, hace unos 350 millones de años.

La naturaleza de las rocas es plutónica y metamórfica, dominando, desde el punto de vista petrológico, los granitos con grandes cristales de feldespato, y algunos gneises especialmente en la cara sur de la Sierra. Estos materiales fueron erosionados hasta convertirse en una penillanura que posteriormente, durante el Eoceno y Oligoceno, en la Orogenia Alpina (hace unos 40 millones de años) fue rejuvenecida comprimiendo sus laterales y elevando grandes bloques en tanto que otros se hundían.

Sobre estos perfiles, hace unos 2 millones de años, se originó la Depresión del Alto Tormes y se instalaron las actuales redes fluviales.

Finalmente, hace unos 100.000 años la sierra estuvo sometida a intensos fenómenos de glaciarismo formándose circos y valles en artesa típicos, por efecto del hielo. Estos glaciares cuaternarios han dado lugar a los perfiles que caracterizan el paisaje actual integrado por cuchillares, galayares, torres, portillas, gargantas y paredones.

Este soporte geológico, esta morfología, permite la existencia de pinos, rebollares, castañares, piornales y enebros (la formación más característica de Gredos) apareciendo en las partes superiores turberas y vegetación típicas de roquedos y grietas como prueba, una vez más, de la influencia del soporte geológico en el desarrollo de animales y plantas.

Aguila real, buitre leonado, junto con nutrias y, sobre todo, cabra montés constituyen alguno de los ejemplos más destacados de la fauna existente en este extraordinario enclave geológico de la Provincia de Ávila.

Sierra de la Demanda

Pendientes suaves y formas redondeadas

Paralela a la Cordillera Cantábrica, y a caballo entre dos comunidades autónomas, la Sierra de la Demanda comprende parte de la provincias de Burgos y Logroño.

Sus formas son suavemente redondeadas, los desniveles escasos y solo



La Laguna Negra, en Soria.

aparecen acantilados donde algunos de los ríos se encajonan. La Demanda se sitúa en el extremo oriental de la provincia de Burgos, lindando con Soria y La Rioja, dispuesta en sentido noroeste-sureste a lo largo de casi 50 km. Presenta dos sectores bien definidos en torno al río Pedroso y sus tributarios. Al oeste del Pedroso se encuentra la Sierra de Neila, que encierra las mayores alturas y donde nacen los ríos Arlanza, con sus afluentes Vadillo y Zumel, que vierten sus aguas a la cuenca del Duero, y el Najerilla que pertenece a la vertiente septentrional de la cuenca del Ebro. En este sector se localiza la laguna Negra o laguna de Neila (existe también otra laguna Negra en la reserva natural de Urbión en la provincia de Soria, aguas arriba del río Revinuesa e importante ejemplo, igualmente, de lugar de Interés Geológico).

Al Este nacen los ríos Arlanzón y Pedroso, con los arroyos de la Umbria y la Secada (cuenca del Duero), y Tirón (cuenca del Ebro).

Geologicamente , la mayor parte de los terrenos se asientan sobre materiales mesozoicos, areniscas, calizas, arcillas y arenas del Cretácico, así como calizas jurásicas en menor proporción.

Estos relieves suaves y ondulados, junto con los valles, cursos fluviales y lagunas conforman un marco geológico cuya morfología permite la existencia de unos magníficos hayedos y pinares. Numerosos enebros salpican las zonas más xerófilas del bosque, especialmente la zona septentrional.



Montes de Yorbas, en Riaño, Léon.

La gran abundancia de truchas posibilita la existencia de una buena población de nutrias que, junto con azores, palomas, corzos, jabalíes y lobos, constituyen la variada fauna de este interesante rincón burgalés.

Riaño

Naturaleza en torno a las hayas

Situada sobre el sector central de la Cordillera Cantábrica, se encuentra la reserva natural del Riaño. En consecuencia la extraordinaria biodiversidad de éste área está absolutamente condicionada y se desprende directamente de la no menos extraordinaria geodiversidad de la Cordillera.

Valles como el del Cares, que aquí hace su aparición, desfiladeros como el del río Sella que nace igualmente aquí, junto con miradores como San Glorio, Pandetrave y el Pontón, permiten la observación y disfrute de un entorno geológico con amplio contraste entre la Caliza de Montaña y de Picos de Europa y los valles sobre pizarras carboníferas que dan entrada al espectacular valle de Valdeón. Ésta geodiversidad sirve de soporte a una rica variedad de flora y fauna (Biodiversidad) imposible sin la existencia de la primera.

La reserva se extiende a ambos lados de la cuerda divisoria de las vertientes septentrional y meridional de la Cordillera Cantábrica. La vertiente norte, con caída muy pronunciada (en algunos puntos se descienden más de 1.000 m en tan solo 5 km), presenta dos cuencas fluviales principales: la del Cares, en el Valle de Valdeón, y la del Sella, en el valle de Sajambre, que se comunican por el puerto de Panderrueda.

Al sur del macizo de Riaño existía el valle de acumulación aluvial más amplio de la cordillera, en el que confluían los ríos Yuso, Retuerto y Esla, que atravesaba un estrecho desfiladero antes de alcanzar el valle, a la altura de Las Salas; en la actualidad, el embalse de Riaño cubre aquel espléndido valle que ha quedado reducido a algunos tramos fluviales sin conexión entre ellos.

Este entorno geológico y geomorfológico posibilita la existencia de una masa forestal de hayedo muy interesante que aparece salpicada de fresnos, tilos, avellanos y sauces. Aparecen también tejos y acebos y, a menor altura, robledales.

Todos los ríos son ricos en trucha contando además con la presencia de nutria. Entre las aves nidificantes destaca el urogallo como especie representativa de la cordillera y objeto de especial protección, y, entre las rapaces, el águila real, el buho real y el cárabo. Corzo, rebeco, cuervo, jabalí, marta, lobo y oso pardo completan la lista de mamíferos más señalados de esta espectacular zona de la Cordillera Cantábrica leonesa.

Sierra de Mampodre
Cuando llega el invierno

Se sitúa sobre la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica en la zona central de la provincia de León se orienta en sentido norte-sur perpendicularmente a esta alineación principal cantábrica.

La Sierra de Mampodre marca la separación entre el valle del Esla (al este) y el del Porma. Este último, relativamente estrecho, se bifurca en su sector superior facilitando el acceso al puerto de Tarna y al de San Isidro, situado sobre el río Isoba, afluente del anterior y donde se encuentran los lagos del Ausente e Isoba ambos de origen glaciar y de umbral rocoso.

El valle se cierra al sur con el embalse del Porma. Dentro de esta área entre la parte sureste de la Cuenca Carbonífera Central y la Región del Manto del Ponga existen unos yacimientos de talco asociados a accidentes tectónicos y, en general, en los contactos generados por estos accidentes entre las series carbonatadas carboníferas (Caliza de Montaña) y los materiales silíceos ordovícicos (Cuarcita de Barrios). Estos yacimientos de talco, de Puebla de Lillo, son los más importantes de España por su producción y calidad.

En este extraordinario entorno del norte leonés, se desarrollan abedules, especialmente en los sectores medios y altos, que han sustituido a los hayedos que se reducen a fondos de valle y barranqueras de difícil acceso.

Merece especial mención el pinar de Lillo, quizá el mejor pinar autóctono de la cordillera, testigo de las formaciones que en épocas pasadas ocupaban áreas más extensas de la cordillera. Pastizales de montaña, matorral, brezos, así como roquedos, componen el resto del paisaje.

La riqueza de trucha es muy notable. Los cursos de agua registran la presencia de nutrias y desman de los Pirineos. Entre las aves destaca el águila real, en roquedos, y perdiz pardilla, así como urogallo, en zonas de alta montaña.

Por último, corzo, rebeco y lobo se encuentran entre los mamíferos más notables cuya conservación y desarrollo está igualmente unida a las formas y relieves de la cordillera.



Lago de Isoba, en la provincia de León.

Fuentes Carrionas
Columna vertebral de rocas

Fuentes Carrionas esta situada en el extremo noroccidental de la provincia de Palencia, sobre la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica. Esta reserva natural se encuentra atravesada de Norte a Sur por un poderoso contrafuerte de la cordillera que establece la separación entre las cuencas del Pisuerga, al este, y del Carrión, al oeste.

La naturaleza geológica de los terrenos es diferente en ambas cuencas y, así, mientras que la del Pisuerga discurre sobre materiales carbonatados (Caliza de Montaña), la del Carrión se asienta sobre suelos silíceos paleozoicos muy arcillosos.

La Sierra de Alba culmina en el Curavacas, formado por conglomerados del Carbonífero (Estefaniense). El río Carrión nace en la laguna de Fuentes Carrionas, al pie de Peña Prieta. La parte alta de esta Sierra encierra otras dos lagunas de origen glaciar, heladas buena parte del año: el pozo de Curavacas y el Pozo Oscuro.

Fuentes Carrionas se encuentra notablemente desforestada, dominando los paisajes de roca desnuda. Junto con el matorral, los prados son el elemento más sobresaliente, así como, los bosques de haya, roble y abedul, en las zonas superiores.

Trucha y nutria son los habitantes más señalados de los cursos de agua. Entre las aves hay que destacar al urogallo, al buitre leonado y al águila real, y entre los mamíferos cabe citar al rebeco, corzo y jabalí, lobo, armiño y oso.

Las Batuecas
En torno a la Peña Francia

Esta Reserva se sitúa al sur de la provincia de Salamanca colindante con la de Cáceres, se estructura en torno a la Peña de Francia, cuya sierra esta situada entre las de Bejar y Gata, y puede considerarse como una prolongación del Sistema Central.

La Reserva está organizada en una serie de valles, más o menos radiales, que tienen su origen en la Peña de Francia. Los curso fluviales del Norte

y el Oeste, como el Agadón, afluente del Agueda, y los del Yeltes, vierten al Duero, mientras que el río Francia, que nace al pie del macizo, y el Batuecas, afluentes del Alagón lo hacen al Tajo.

Los terrenos son de edad paleozoica y de variada litología y naturaleza. Así, aparecen formando crestones, cuarcitas cámbricas en el sector de Monsagro, por cuyo valle discurre el ya citado río Agadón, en una franja que ocupa el sector meridional. La zona central con el macizo de Peña de Francia incluido, se encuentra ocupado por pizarras silúricas, mientras que la oriental, en las proximidades del maravilloso pueblo de la Alberca (declarado Monumento Nacional), existe un amplio afloramiento granítico, con presencia de filones de cuarzo y vetas de wolframita y casiterita (wolframio y estaño).

Los materiales pertenecientes a los sectores incluídos en la Cuenca del Duero permiten la existencia de bosques húmedos de rebollos y prados con fresnos. Las dehesas de encina se encuentran en las zonas de menor altura.

Como rareza cabe destacar la existencia de un ejemplar de haya, quizá el más meridional de la Península, testigo de épocas pasadas de mayor presencia. La zona oriental posee gran cantidad de castañares, mientras que el valle de las Batuecas está ocupado por alcornoque, encina, madroño, acebo y lentisco.

La Reserva presenta una singular riqueza en reptiles como el galápago leproso, el lagarto verdinegro y la culebra de cogulla. Es igualmente abundante la presencia de rapaces, como el buitre negro, el buitre leonado, el halcón peregrino, el alimoche y el águila real. Como nidificantes destaca la cigüeña negra y, como mamíferos, el gato montés, el lobo y la cabra montés.

Geología, flora y fauna de la Reserva de las Batuecas y entorno de la Peña de Francia, constituyen como se puede ver un claro ejemplo más de la relación de dependencia existente entre Geodiversidad y Biodiversidad.

Hoces del Duratón

El sinuoso razado del río

El parque de las Hoces del río Duratón, en la provincia de Segovia, es otro caso espléndido de influencia del medio geológico en la declaración de zona protegida y en la creación del ambiente propicio para el desarrollo de una flora y una fauna determinadas, y dependientes de él.

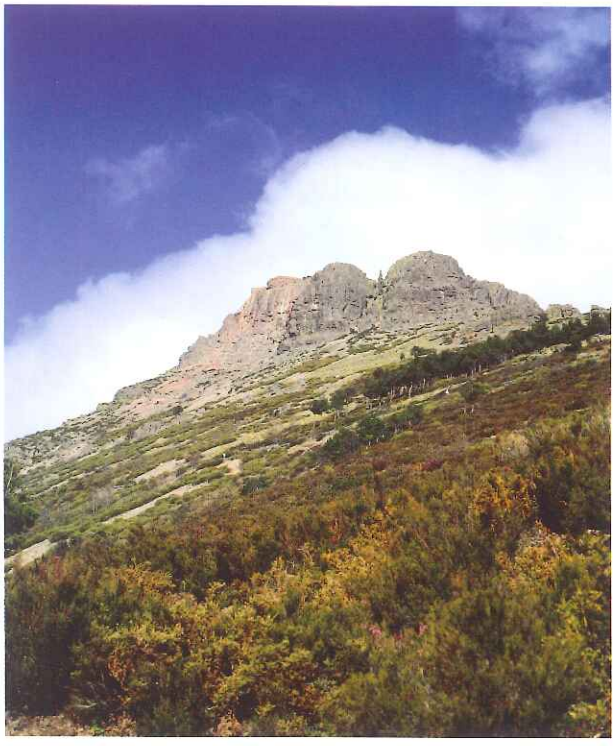
El parque se articula sobre el cañón horadado por el río, al oeste de Sepúlveda, en el tramo que va desde el pueblo al embalse de Burgomillodo. Las hoces forman un recorrido sinuoso con fondos planos y escarpes verticales.

Geologicamente, los materiales más antiguos sobre los que discurren las hoces, aunque no afloran, son granitos y gneises sobre los que se asientan materiales mesozoicos carbonatados que son los que constituyen propiamente el cañón y sus alrededores.

La naturaleza calcárea de las rocas ha permitido la importante tarea de excavación provocada por el Duratón y sus arroyos tributarios, dando lugar además a la aparición de fenómenos cársticos.

En las zonas superiores que rodean las hoces, la vegetación está formada por bosquecillos de sabinas poco densos con matorral y tomillo.

Existen también algunos pinos y, en las pendientes que descienden más suavemente hasta el fondo de la hoz, aparecen algunas encinas. Los fondos estan ocupados por un bosque húmedo compuesto por alisos, sauces y olmos, junto con algunos álamos. En otoño, el



Peña de Francia, en Salamanca.



Hoces del río Duratón, en Segovia.

contraste en el color del bosque y las paredes ocres del cañón resulta de gran belleza.

El río posee abundancia del barbos, bogas y trucha además de nutria, pero la principal riqueza de las hoces, aprovechando los acantilados producidos por la erosión fluvial, son las aves rupícolas como el buitre leonado, el halcón peregrino y el alimoche.

La zona es igualmente rica en restos arqueológicos, pinturas rupestres y tumbas neolíticas, siendo famosa la ermita de San Frutos Pajarero, cuya intervención, según la leyenda, salvó a un grupo de cristianos de las tropas musulmanas mediante la hendidura que aisla a la ermita.

Urbión

Un entorno privilegiado

La Reserva de Urbión se sitúa en la vertiente meridional de las Sierras de Urbión y Cebollera, con una longitud en línea recta de más de 50 Km. La mayor parte de sus terrenos se sitúan sobre la cuenca del Duero y otros pertenecen a la del Ebro.

Dado su tamaño se puede dividir en tres sectores:

El sector oriental, que comienza a partir de la Sierra de Montes Claros, al oeste del río Tera. Las alturas de esta zona son inferiores a las del resto de la Reserva, y eso que no bajan de los 1.000 m. El río colector de los diferentes arroyos y barrancos es el Cidacos, perteneciente a la cuenca del Ebro.

El sector central está separado del occidental por la Sierra del Portillo de Pinochos. Ocupa las laderas meridionales del pico Cebollera, donde nacen el río Razón y su afluente el Razoncillo, que confluirán en el Tera. La parte alta de este sector cuenta, al igual que la del Urbión, con diferentes lagunas de origen glaciar.

El sector oeste, o de Urbión, propiamente dicho, se sitúa sobre la vertiente meridional del macizo que le da su nombre, dentro del Sistema Ibérico. Este macizo, por el este conduce a la parte alta de la Sierra de Cameros, perteneciente a la cuenca del Ebro

Al sur de Urbión se localizan una serie de lagunas glaciares como La Larga, Laguna Negra, Helada, del Hornillo, acompañadas de restos glaciares. Son de una gran belleza y presentan indudable interés didáctico y turístico.

Desde el punto de vista geológico la mayor parte de los materiales son mesozoicos y predominantemente cretácicos y estan compuestos por conglomerados, areniscas, calizas, arenas y arcillas. Sobre este sustrato se superponen los aluviales correspondientes a los ríos Tera, Revinuesa, Razón y Duero.

La zona ha sufrido una fuerte presión ganadera, así hayedos y rebollares son minoritarios y se sitúan generalmente en lugares difícilmente accesibles. Matorral y pastizal son ya mucho más abundantes y el resto, absolutamente mayoritario, corresponde a repoblaciones de pino silvestre bien desarrolladas.

Todos los ríos de la zona son ricos en trucha, estando presente la nutria en algunos de ellos. Las rapaces más características son el buitre leonado, águilas real y perdicera y buho real, así como el azor y el cárabo, que son abundantes.

Entre los mamíferos destacan el ciervo, corzo, jabalí, zorro y lobo.



Hoz del río Duratón, en Segovia.

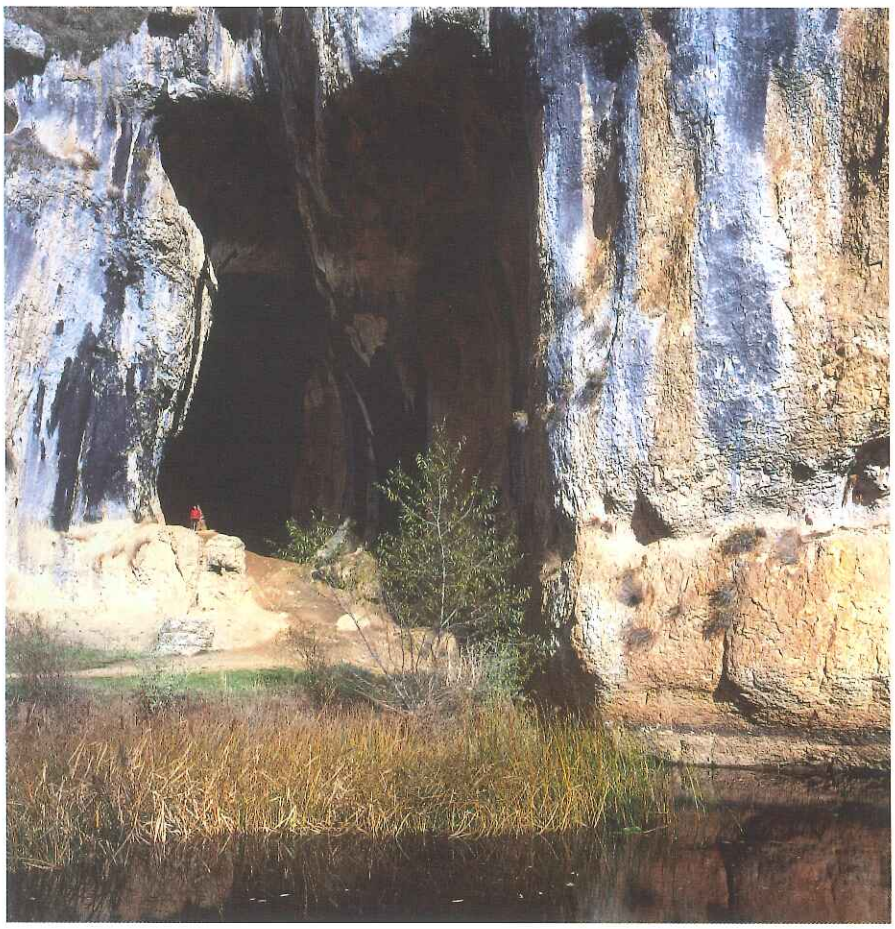
Cañón del río Lobos

Donde hasta el río se esconde

Es este otro claro ejemplo en el que geología y geomorfología, formas y procesos, dan lugar a un paraje que merece, por sí mismo, la calificación de Parque Natural como figura de protección, y condiciona el desarrollo de las diversas formas de vida que componen el ecosistema.

El Cañón de río Lobos, con una longitud de unos 14 Km., es el eje central del Parque Natural. El curso del río, sinuoso y tranquilo, discurre entre escarpes de notable altura, que en ciertos puntos pueden sobrepasar los 40 m. El Cañón tiene su origen en el límite

provincial de Burgos y Soria, aguas arriba del Término de Hontoria del Pinar, donde nace el río Lobos. El río se sume en época de estiaje para surgir nuevamente a la altura del puente de los Siete Ojos, recoge después las aguas del Navaleno para iniciar su recorrido sinuoso por el fondo del Cañón. Pasada la cañada real de Las Merinas recibe el cauce del arroyo de Valderrueda que forma, a su vez, un cañón



Cañón del río Lobos, en Soria.

de notables dimensiones y belleza, aunque está seco la mayor parte del año. Bordea después el río Lobos la ermita de San Juan, del siglo XII y atribuída a los Templarios, abriéndose el valle a partir de este punto, donde el río Lobos parece querer pasar desapercibido, corriendo estrecho, profundo y silencioso por el centro del valle.

Geológicamente destacan las potentes formaciones de calizas margosas del Mesozoico (Cretácico Superior) que forman la estructura rocosa observable. Estas rocas han sufrido un fuerte proceso de dolomitización; posteriormente han sido erosionadas y disueltas por el agua, dando lugar al cañón principal y a los secundarios que confluyen en él. Son frecuentes las torcas y dolinas, así como, y sobre todo, las fuentes y manantiales, donde radica su elevado interés hidrogeológico, manteniendo estable la temperatura del agua a lo largo de todo el año.

La formación vegetal más singular es el sabinar que ocupa la parte baja y las riberas del cañón. En las zonas más suavizadas de las laderas aparecen encinas y, es frecuente, el tomillo, el espliego y la aulaga. El curso de agua esta flanqueado por alisos, sauces, álamos, chopos y carrizos además de nenúfares y otros, sobre la masa de agua.

La especie piscícola por excelencia es la trucha, cuya tasa de crecimiento es de las más elevadas de Europa debido a lo ya expresado de la abundancia de manatiales y el grado de oxigenación de las aguas, así como su temperatura practicamente constante a lo largo del año a pesar de los fríos inviernos sorianos.

Las rapaces rupículas son las especies más valiosas del parque, aprovechan los acantilados farallones del cañón destacando el buitre leonado, alimoche, halcón peregrino, águila real, águila perdicera y buho real. La chova piquiroja es también muy abundante y entre los mamíferos, destacan el corzo, el jabalí, el tejón, el gato montés y la nutria.

En los cantiles del Cañón, aprovechando procesos de disolución, se pueden observar aún, restos de eremitorios nacidos al amparo de la ermita de San Juan de Otero, hoy dedicada al culto de San Bartolomé y Nuestra Señora de la Salud.

Lago de Sanabria

El mejor legado de los hielos

El Parque Natural del Lago de Sanabria se localiza en las estribaciones meridionales de las Sierras de la Cabrera Baja y Segundera, sobre el curso alto del Río Tera, en la provincia de Zamora.

Tanto la génesis del lago como la morfología de los terrenos circundantes constituyen el mejor ejemplo español de glaciarismo de meseta. El lago se asienta sobre materiales graníticos y metamórficos hercínicos, y tuvo su origen en la instalación de una extensa masa de hielo de la que surgían diversas lenguas glaciares en distintas direcciones.

El Parque se articula en torno al Lago de Sanabria, otro claro exponente de que la componente geológica condiciona e incluso determina, el que cierta zona o espacio natural, sea declarado de interés por su singularidad y belleza. Es el mayor lago de origen glaciar de España con una superficie de 386 hectáreas, una profundidad que alcanza los 55 metros y un volumen de agua de 110 millones de metros cúbicos.

El espesor pudo alcanzar los 500 metros de potencia, de acuerdo con las morrenas existentes, lo que unido al hecho de los procesos periglaciares previos explica las características de la

cubeta, con forma de artesa y paredes pronunciadas en las zonas de máxima excavación, donde está situado el lago.

Los depósitos morrénicos, laterales y frontales, son de dimensiones kilométricas y de gran complejidad y belleza, disponiéndose de forma concéntrica en arcos sucesivos.

Esta Geodiversidad condiciona claramente la vida en la zona y así la vegetación que rodea al lago esta compuesta por bosquetes de rebollo, fresnos y abedules. Las aguas del lago, pobres en nutrientes, permiten la existencia, como especies más destacadas, del barbo y la trucha. El parque se encuentra situado en un área de alta densidad de lobo.

Villafáfila

Entre lagunas y estepas

La zona de Villafáfila, en Zamora, se enmarca en un terreno suave, de amplios horizontes y suaves pendientes. Sus lagunas son de carácter salino, estacional y estepario.

La cuenca endorreica de Villafáfila se estructura en torno al río salado, que conecta las tres lagunas de mayor importacia: laguna de Barrillos, laguna Grande y laguna de las Salinas (existen otras masas de agua de menor importancia, como Paneras, de la Rosa, de la Fuente, Rual, Villarrín, Parva y Redondales).

La cuenca endorreica del río Salado abarca cerca de 17.000 Hectáreas y comprende, además del río Salado que es el colector principal, una serie de arroyos que confluyen en él o directamente sobre las lagunas.

Las lagunas se asientan sobre depósitos sedimentarios de materiales poco consolidados tipo "playa lake". Se han descrito además niveles de arcillas arenosas impermeables muy salinizados, que incluyen cantos redondeados de cuarcita, reheredados de materiales terciarios.

La vegetación de las lagunas se encuentra condicionada por los ciclos anuales de inundación-desecación, la alta salinidad y el riguroso clima continental del área. La especie más característica de la zona inundable es la castañuela; tarajes y almajo dulce, se sitúan en las zonas libres de inundación.

Villafáfila es una zona de extraordinaria importancia para las aves esteparias, registrando la mayor concentración de avutarda del Paleártico Occidental. Estan representados además el sisón, ortega y ganga y el alcaraván. Acogen también estas lagunas importantes poblaciones de ganso y grulla y, como especies de paso, cigüeña negra y espátula.

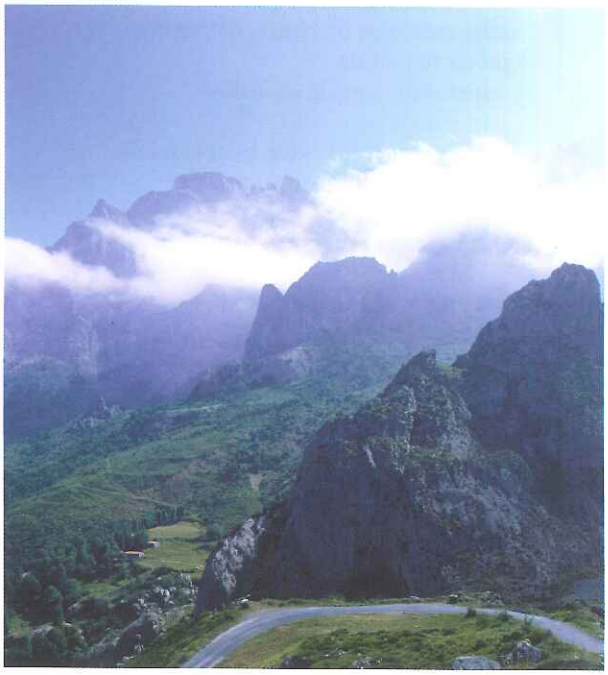
El singular valor de Villafáfila para la avifauna se debe tanto a la variedad de sus habitats- zona húmeda y esteparia- como al hecho de que tras la desecación de las lagunas de Mar de Campos, en Palencia, y del Duero, en Valladolid, constituye la principal zona húmeda esteparia de la región.

Estos casos descritos son algunos de los muchos que tanto en Castilla y León, como en otras comunidades autónomas ponen de manifiesto, de forma palmaria, la relación Geodiversidad-Biodiversidad y la dependencia de esta última del substrato geológico y de los procesos que lo han conformado y modelado.

Actualmente, la legislación ambiental habla de formaciones geológicas, geomorfológicas, yacimientos paleontológicos y en general, elementos de la Gea, lo que unido a las competencias que, en materia de Protección y Conservación de la Naturaleza, tienen las comunidades autónomas, ha posibilitado que se declaren Espacios Naturales Protegidos un importante porcentaje de su territorio, aunque desgraciadamente ignorando, en la mayor parte de los casos, que la historia de la vida es imposible de reconstruir sin un soporte geológico, y que la belleza y características naturales del Espacio Protegido se deben precisamente, a sus características geológicas y geomorfológicas.



Lago de Sanabria, en Zamora.



Mirador de Posada de Valdeón, en León.

Poesía

A la memoria de nuestro buen amigo y compañero Carlos Piñar Mañas, fallecido en Madrid en noviembre de 1975

Cementerio de San Justo (Madrid)

"In memoriam"

Un montón de amapolas marchitas
el jardín de tu frente.

Las tapias frías, el silencio frío,
las palabras
se perdieron contigo, hacia la nada,
frías.

¿Qué será de tu sangre entre las rosas
–para la sangre es siempre primavera–
cuando llegue la escarcha con sus besos
distantes?

No puedo caminar con tu recuerdo
–hundido en mi cerebro a martillazos–
a golpe de latido.
Tu recuerdo sellado
por coronas de flores y cintas de silencio.

Quisiera no saberlo,
haber estado en un rincón del viento,
ignorar tu partida
y esperar tu llamada cada día.

Pero ya ves, la vida es el capricho
de un hado misterioso y variable:

¡Que nazca la esperanza! entonces eres...

y de pronto silencio
y ya es inútil.

26 - XI - 1975

Cochabamba (Bolivia)

Diez otoños más tarde, tan al sur y tan lejos,
te recuerdo cercano:
escalabas despacio los peldaños
de una torre sin límites.

Era extraña la vida,
un perfil habitado de misterios
y tu mano tendida hacia todas las manos.

Eras –lo sigues siendo–
ese raro equilibrio que se llama amistad,
una puerta cercana abierta a lo remoto,
aquello que se intuye y que escapa a los ojos,
una firme palabra amaneciendo.

Te marchaste en silencio, inopinadamente,
¿hacia qué plenilunios?

Ya eres lluvia tranquila en las praderas altas,
melodía, arco iris, olivo, enredadera:
una ausencia presente en armónico abrazo
por los cipreses lentos de San Justo
viendo correr el agua más nueva cada día,
desde el umbral de Octubre, como entonces,

Carlos, mi buen amigo,
hermano.

18 - IX - 1985

Antonio Martín Gómez
Geólogo

El museo del departamento de geología de la Universidad de Oviedo

Dámaso B. Moreiras Blanco

Luis M. Rodríguez Terente

A finales de 2001 se abrió el Museo de Geología con una finalidad docente y divulgativa. La exposición abarca todo tipo de material geológico, muestras y documentos, reflejando en parte la historia y en parte la realidad presente de la geología en el noroeste. Su ubicación y horario en días laborables facilita la asistencia de público a la que está dirigida y rellena un hueco hasta ahora vacío en la oferta cultural de la región.

El Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo dispone de un Museo de Geología inaugurado en noviembre de 2001 que intenta ser a la vez un elemento didáctico y un instrumento de divulgación geológica para la sociedad.

El museo cubre todos los aspectos del saber geológico que, en la universidad española, cultivan las distintas áreas de conocimiento de Geología. Se exhiben objetos materiales que manifiestan la diversidad que a las disciplinas de la geología corresponde. No se pretende una exposición de carácter enciclopédico; no es el estilo de las exposiciones actuales. Se exhiben también herramientas básicas utilizadas en la investigación geológica y elementos empleados para presentar sintéticamente la información geológica y algunas de las aportaciciones de personalidades que pueden considerarse pioneras en la investigación geológica en el noroeste de España.

Las muestras tienen varias procedencias: unas han sido recogidas en campañas de campo de proyectos de investigación; otras lo han sido durante campamentos o visitas docentes a yacimientos; algunas proceden de visitas realizadas exprofeso para este museo; finalmente, otras son el resultado de donaciones o préstamos temporales.

Todas conforman un conjunto, resultado de un trabajo colectivo en el que se han implicado personas del departamento y personas externas a él, todas muy motivadas con el objetivo común de su mejora. Además hay muestras procedentes de antecedentes históricos de la Universidad de Oviedo, como el ejemplar de meteorito de Cangas de Onís que ya perteneció al destruido Gabinete de Historia Natural (Canella Secades, 1904). Dicho Gabinete es citado reiteradamente en la obra de Calderón "Los minerales de España" (1910). También se ofrece la contemplación de un microscopio petrográfico diseñado a finales del XIX procedente de la Escuela de Capataces de Mieres.

En el momento actual dispone de presentaciones de los resultados de investigación de varios proyectos que, en soporte digital, pueden ser visualizadas en un ordenador.

Como objetivo principal se pretende acercar la geología al visitante, no tanto por la exhibición de muestras excepcionales, como por la observación de objetos de la vida real, estimulándole para que capte los detalles que la geología desarrolla en las distintas ramas. También colabora el Museo a la formación del futuro profesional y es



Vista parcial del edificio desde el jardín de la Facultad de Geología, donde se encuentra ubicado el Museo. En primer plano señalización en la que se encuentra anunciado el Museo y lote de muestras aportadas por Rio Narcea Gold Mines S.A.



Detalle de un bloque de pizarras de Luarca, con estructuras de deformación, situado en los parterres del jardín.



Vitrinas del vestíbulo, camino del Museo, con rocas de la Cantábrica, fósiles y paleoreconstrucciones; muestras de los yacimientos de oro de Asturias y una sistemática mineral.

un complemento a la actividad docente de los profesores del Departamento.

En estos momentos se exhiben cerca del millar de objetos de muy diversa índole (muestras de rocas, minerales y fósiles, aparatos, libros, mapas) etiquetados y acompañados de gráficos y esquemas. Estos contenidos se están renovando con el tiempo y se pretende la realización de nuevas exposiciones con otras muestras. La contemplación de las muestras no se limita a las vitrinas; puede ser complementada con observaciones a la lupa binocular y, esperamos que en corto plazo, al microscopio petrográfico, herramientas cotidianas en la investigación geológica. Se está trabajando para ofrecer amplia información dentro de la página Web del Departamento de Geología. En ella se informará al futuro visitante sobre los contenidos del museo y su contexto, así como sobre las novedades que se incorporen. El museo está vinculado con la Litoteca del Departamento, constituyendo ésta una importante fuente de muestras para las renovaciones. Para los lectores ajenos a la geología se incluye el siguiente texto, elaborado para el folleto de la exposición de apertura.

"El cosmos es una realidad de tal magnitud que sus límites, aunque concebibles, son prácticamente inalcanzables para el ser humano. En esa inmensidad

En esa inmensidad nuestra galaxia es una pizca y, de esa galaxia, nuestro sistema solar es una pequeña porción. Nuestra Tierra es un planeta que tiene la desfachatez de tener un satélite y algunos seres humanos han tenido la desvergüenza de pisarlo



Vista general de una sala del museo.



Vistas del museo.

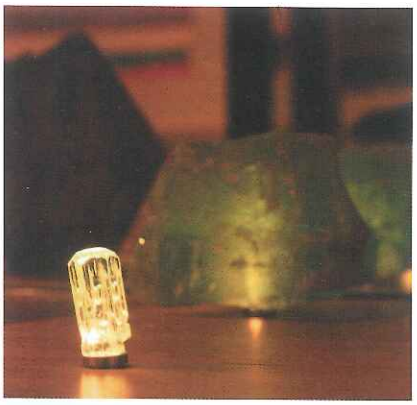
En ocasiones esporádicas suceden erupciones volcánicas o terremotos, fenómenos ásperos, espectaculares, terribles, que muestran a aquellos que directamente los viven la inmensa potencia de la naturaleza

nuestra galaxia es una pizca y, de esa galaxia, nuestro sistema solar es una pequeña porción. Nuestra Tierra es un planeta que tiene la desfachatez de tener un satélite y algunos seres humanos han tenido la desvergüenza de pisarlo."

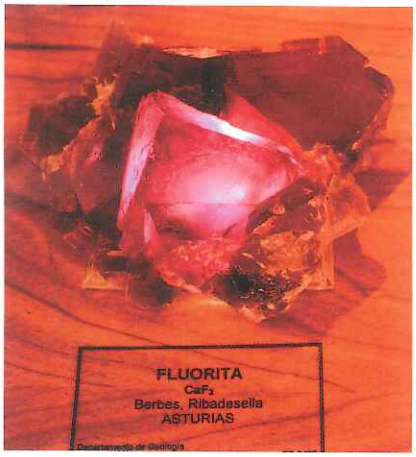
Aunque no los aprecie a primera vista, el amante de la naturaleza tiene a diario la posibilidad de ver pequeños detalles que le podrían informar de sucesos y fenómenos geológicos. Sólo ocasionalmente se topará con ejemplares notables de minerales, fósiles, estructuras de las rocas que llaman su atención y le harán disfrutar. El visitante del museo, que en su camino puede ser sorprendido por las rocas de los parterres del jardín, es invitado a apreciar la belleza de alguna de las muestras expuestas en vitrinas y peanas. Pero el mayor deseo de los organizadores de la muestra es estimular y potenciar su disfrute posterior con la observación de los detalles menores; esto es, observar la realidad del mundo físico cotidiano y atisbar su naturaleza geológica: desde unos cantos que removidos por las olas le golpean el tobillo al dibujo de las piedras de la fachada de su casa, de lo abrupto de un acantilado al color de una gema.

En ocasiones esporádicas suceden erupciones volcánicas o terremotos, fenómenos ásperos, espectaculares, terribles, que muestran a aquellos que directamente los viven la inmensa potencia de la naturaleza, pero, de acuerdo a las vivencias del día a día, para la mayoría de los seres humanos el mundo mineral aparece carente de actividad.

Sin embargo, las fuerzas de la naturaleza trabajan lenta e inexorablemente sobre los materiales de la corteza terrestre, en unos procesos que podemos considerar tanto de construcción como de destrucción, dando lugar a los



Ejemplar de aguamarina de Pakistán en vitrina a pegmatitas. Tamaño de la muestra: 2 cm.



Fluorita de Berbes, Ribadesella, en vitrina dedicada a las fluoritas de Asturias. Tamaño de la muestra: 10 cm.

Es razonable la cara de pasmo del pastor de Sotres cuando se le dice que aquello fue un fondo marino, pero tanto las arrugas de su piel como los pliegues de la Región de Pliegues y Mantos son resultado del paso de los años; lo diferente es la escala de medida del tiempo

variados materiales que estudiamos en la apasionante disciplina denominada Geología. Con procesos que los geólogos llamamos internos la dinámica terrestre puede hacer que porciones de la corteza se eleven; simultáneamente la parte superior de la corteza es trabajada por procesos que llamamos externos y que tienden a su nivelado. Es una lucha constante y, aunque no nos demos cuenta, en medio de ella estamos.

En la corteza terrestre expuesta a la vista de los seres humanos se encuentran rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, además de enorme cantidad de agua. En muy limitados puntos se han hallado materiales extraterrestres, meteoritos. En esas rocas se pone de manifiesto la presencia de minerales, cuya forma y aspecto puede ser relevante. Algunas de las distintas y progresivamente mas complejas manifestaciones de la vida han dejado su impronta y parte de sus restos en los materiales geológicos; estos restos de antiguos organismos, los fósiles, son herramientas básicas en la datación de las rocas sedimentarias, pero, sobre todo, constituyen los elementos materiales con que contamos para seguir el curso de la evolución durante más de 3.500 millones de años de la historia de la vida.

Todos esos materiales son susceptibles de ser deformados, fragmentados, transportados, alterados, acumulados, de manera que pueden ser de nuevo trabajados por los procesos tanto externos como internos, lo que es lo mismo, reciclados. Los materiales de la corteza son el mejor ejemplo de reciclaje y reprocesado, superado únicamente por los procesos de la biosfera de los que, como vimos antes, participa.

Por esta razón hemos adoptado al canto rodado como símbolo para esta exposición de reapertura. El paisaje asturiano era otro cuando el mar trabajaba los cantos de cuarcita de la rasa costera. Los cantos procedían de las cuarcitas ordovícicas, que ya eran resultado de acumulaciones de material sedimentario, a su vez resultado de la degradación de rocas preexistentes. Pero esos cantos hoy vuelven a ser trabajados por la energía de mareas y tormentas que erosionan simultáneamente tanto a aquellas cuarcitas como a sus vecinas pizarras o a lo que la industria humana deje a su alcance. ¡Imagínese el visitante una roca sedimentaria con neumáticos, bolígrafos, frascos de Coca-Cola, cuentas de rosario y CDs de Mozart!

El mapa del mundo que hoy vemos es completamente diferente al que había cuando los vegetales que dieron lugar al carbón que hoy se explota en Turón crecían y poblaban su superficie. También es diferente a aquel en el que se podrían escuchar



Callipteridium sp., pteridosperma fósil, de Cangas de Narcea (Asturias), en vitrina dedicada a la flora de Carbonífero. Tamaño de la muestra: 27 cm.



Scyphocrinites elegans, ejemplar de crinoideo fósil. (Silúrico superior), de Marruecos. Vitrina dedicada a invertebrados fósiles. Tamaño de la muestra 17 cm.

los "chof chof" de las pisadas de los dinosaurios cuyas huellas vemos hoy por la playa España. Y no digamos de aquel durante el cual el oleaje aportaba oxígeno y nutrientes a los delicados organismos constructores de los arrecifes devónicos de Luanco. Es razonable la cara de pasmo del pastor de Sotres cuando se le dice que aquello fue un fondo marino, pero tanto las arrugas de su piel como los pliegues de la Región de Pliegues y Mantos son resultado del paso de los años; lo diferente es la escala de medida del tiempo. En esta parte de la corteza terrestre que es Asturias tenemos, con algunas carencias debidas al hacer y deshacer geológico, el registro estratigráfico de materiales desde el precámbrico al cuaternario actual.

"Visitante, disfruta de la exposición, porque, ¡la geología es bella!"

Es razonable la cara de pasmo del pastor de Sotres cuando se le dice que aquello fue un fondo marino, pero tanto las arrugas de su piel como los pliegues de la Región de Pliegues y Mantos son resultado del paso de los años



Icnita de dinosaurio cuadrúpedo del Jurásico de Asturias con impresiones de la piel. La relevancia de este ejemplar radica en que son relativamente escasas en el mundo, las huellas de dinosaurios que conservan impresiones tegumentarias. Acantilados del faro de Tazones (Villaviciosa). Tamaño de la muestra 16 cm.



Paradoxides cf. Imperialis, Marruecos. Muestra de artrópodos de 45 cms., del Cámbrico Inferior, en vitrina dedicada a los trilobites.



Meteorito de Cangas de Onís. Fragmento del caído el 6-12-1866 en este concejo Asturiano. Peso 3278 gramos. Mencionado en el texto.



Huellas de dinosaurios terópodos. Jurásico de Asturias. Tamaño de la muestra 53 cm.

El museo está en la calle Jesús Arias de Velasco, s/n, situado en la planta 1ª del edificio de geología del Campus de Llamaquique de la Universidad de Oviedo. Con una superficie de 120 metros cuadrados dispone de vitrinas de distintos tipos, alguna con un avanzado sistema de iluminación mediante fibra óptica; también dispone de superficie mural para paneles.

Como complemento a la sala principal, en el vestíbulo del edificio existen vitrinas que acercan el museo al usuario, efecto al que también contribuyen las muestras de gran tamaño depositadas en los parterres del jardín que circunda al edificio.

En la actualidad está gestionado por una Comisión de profesores del Departamento y por un titulado a jornada completa. Desde la fecha de apertura hasta el presente ha tenido casi tres mil visitantes: alumnos del centro, estudiantes de colegios e institutos de la región y público en general.

El museo se puede visitar en días y horario laboral por estudiantes y público en general siendo de libre acceso y gratuito. Para visitas guiadas de grupos, se puede concertar cita en el teléfono 985 10 95 47, o por correo electrónico a: museo.de.geología@geol. uniovi.es.

Con una superficie de 120 metros cuadrados dispone de vitrinas de distintos tipos, alguna con un avanzado sistema de iluminación mediante fibra óptica; también dispone de superficie mural para paneles



Circón: cristal y gemas en vitrina dedicada a los nesosilicatos.



Cuarzos tallados en la vitrina dedicada al Cuarzo.



Microscopio Zeiss-Jena de polarización, de finales del siglo XIX, en vitrina dedicada a rocas ígneas. Mencionado en texto.

Referencias bibliográficas

CALDERON, SALVADOR (1910). *Los minerales de España*. Junta de Ampliación de Estudios. Imp. Eduardo Arias, Madrid.

CANELLA SECADES, FERMIN (1904). *Historia de la Universidad de Oviedo*. Imp. Flórez Gusano y Ca, Oviedo.



Bloque rodado de cuarcita que ilustra sobre el reciclado en la geología. Mencionado en texto. Tamaño de la muestra 3,5 cm.

Impacto Geoambiental del Prestige

Implicaciones geológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas de la marea negra en el área litoral de Corrubedo (A Coruña)

Pedro Agustín Robledo Ardila

Licenciado en Geografía. Becario del Instituto Geológico y Minero de España
Pedror61@hotmail.com

Inés Irribarren Campaña

Licenciada en Ciencias Ambientales. Técnico Superior del Instituto Geológico y Minero de España
CRNsuelos@igme.es

El Parque Natural de Corrubedo está considerado uno de los medios dinámicos litorales más importantes de la costa gallega y española. Es un sistema muy rico, tanto desde un punto de vista ambiental, como geológico, hidrogeológico y geomorfológico. Posee la mayor formación dunar de Galicia en la que destaca una duna móvil de grandes dimensiones. Además, en el parque se sitúan dos humedales litorales estrechamente interrelacionados con el complejo. El vertido de fueloil consecuencia del hundimiento del buque Prestige están causando un gran impacto geoambiental que ha puesto en serio peligro la sustentación de este entorno natural protegido.

El sistema playa-duna del *Parque Natural Complexo dunar de Corrubedo e Lagoas de Carregal e Vixan* se sitúa al SO de Galicia. Se trata de un sistema ambiental muy frágil y cualquier desequilibrio que se produzca en alguna de sus partes puede afectarlo globalmente debido a la interdependencia que presentan. Las perturbaciones sobre la dinámica litoral del sistema en su zona infralitoral, interlitoral, supralitoral y dunar (Gracia *et al.*, 2000) afectarán los procesos de transporte y deposición de sedimento y consecuentemente, al medio lacustre. En los humedales, cuya existencia depende en el caso de Corrubedo del sistema dunar, que actúa como barrera, el desequilibrio podría llegar a afectarlos seriamente y con él, la flora y fauna que sustentan. Por otra parte, los procesos de contaminación ligados a la infiltración en las arenas de elementos nocivos puede también causar un importante impacto biogeoquímico sobre el medio natural.

Durante los últimos años, este tipo de sistemas han sido alterados en su equilibrio natural por actuaciones antrópicas sobre el medio. La construcción urbana o los vertidos de hidrocarburos y residuos urbanos entre otros, así como el uso intensivo, han deteriorado un gran número de estos enclaves, llegando en algunas ocasiones a provocar su total desaparición (Servera, 1998). Sin embargo, casi siempre este tipo de fenómenos se dan de forma local y paulatina en el tiempo permitiendo en ocasiones su corrección ambiental. Por el contrario, la marea negra de fueloil provocada por el hundimiento del buque Prestige es un proceso muy rápido en el tiempo y que alcanza dimensiones regionales. El vertido supera en la actualidad (16-12-2002) las 20.000 toneladas, (El País, 2002) afectando a más de 500 playas y 960 km de litoral (19-12-2002) (El País, 2002). Este fenómeno está causando un gran impacto ambiental, afectando de forma directa y rápida a las comunidades vegetales y animales tanto marinas como terrestres. Sin embargo, el alcance del vertido puede ser también muy relevante en el deterioro del medio

La marea negra de fueloil provocada por el hundimiento del buque Prestige es un proceso muy rápido en el tiempo y que alcanza dimensiones regionales. El vertido supera en la actualidad (16-12-2002) las 20.000 toneladas, afectando a más de 500 playas y 960 km de litoral

físico. Las características físicas del fueloil depositado sobre el fondo marino cerca de la costa, sobre la superficie del mar a la deriva o sobre la playa, producen alteraciones en la dinámica sedimentaria. Los granos de arena quedan fijados al fueloil debido a la alta viscosidad que éste presenta. Ello impide que parte del sedimento pueda desplazarse tanto en la zona subacuática como subaérea de la playa, disturbando la dinámica sedimentaria del sistema playa-duna. Además, las tareas de limpieza llevadas a cabo sobre la playa provocan la extracción de grandes cantidades de sedimento y la compactación del mismo.

Por otra parte, las características fisicoquímicas del fueloil hacen que sea un fluido nocivo para los seres vivos. En este sentido, determinados elementos como el benceno o los hidrocarburos aromáticos policíclicos pueden pasar de forma superficial o subterránea, tanto al sistema de lagunas como a los acuíferos conectados. Ello puede provocar la contaminación de sus aguas con las consiguientes consecuencias no deseables sobre el ecosistema.

Marco geográfico y geológico

El Parque Natural de Corrubedo y Lagunas de Carregal y Vixán se ubica en el término municipal de Ribeira, entre las rías de Muros-Noia y Arousa, al SO de la Península de Barbanza, en la provincia de A Coruña. Está bañado al norte por el río Longo y más al sur por los ríos Sirves y Arlés. El parque tiene una extensión próxima a 1000 ha y se caracteriza por presentar un sistema playa-duna de 4 km de longitud extendiéndose en dirección SE-NO (**figura 1**). Integrado en este ambiente si sitúa un sistema dunar formado por dos cordones litorales en el que destaca una duna móvil de más de 1 km de longitud, 250 m de anchura y 15 m de altura y los humedales de Carregal, en la zona central del complejo, y de Vixán, situado al sur de sistema. Ambas lagunas están rodeadas por una marisma sometida a las oscilaciones mareales (Fernández y Núñez, 1998). El sistema litoral arenoso está limitado al norte y el sur por sendos acantilados rocosos.

Geológicamente, el área natural protegida está encuadrada sobre rocas plutónicas, con dos unidades bien diferenciadas. En la zona central y SO se sitúa la unidad representada por rocas graníticas tardihercínicas de grano grueso con biotita. Al NE, por el contrario, aparecen rocas graníticas hercínicas de dos micas y de grano fino-medio, bastante deformado y con algunos enclaves biotíticos (IGME, 1981). Sobre esos materiales se sitúa una unidad aluvial detrítica cuaternaria. Los bordes del parque natural están constituidos por formaciones arenosas holocenas que conforman el sistema activo playa-duna.

Las características hidrogeológicas en el marco del parque natural están controladas por la baja permeabilidad y porosidad de los materiales graníticos del sustrato en contraposición con la importante permeabilidad y porosidad de los materiales superficiales cuaternarios, que funcionan en este contexto como un sistema acuífero. Ambas unidades se caracterizan por:

- Las rocas graníticas presentan baja permeabilidad y porosidad (siendo ésta por fisuración y por alteración). La escasa recarga se produce a través de las fisuras y la acumulación de agua subterránea es mínima. Las alteraciones producidas en las rocas graníticas a favor de las fracturas son de escasa potencia pero gran extensión, originando paquetes de mayor



Figura 1.- Playa de Corrubedo.

permeabilidad que funcionan como formaciones acuíferas.

- Los sedimentos cuaternarios aluviales y costeros se caracterizan por presentar, en general, mayor permeabilidad que el sustrato granítico. La recarga que se produce a través de los poros y la acumulación de agua subterránea en estos materiales puede ser importante.

Determinados elementos como el benceno o los hidrocarburos aromáticos policíclicos pueden pasar de forma superficial o subterránea, tanto al sistema de lagunas como a los acuíferos conectados

Aspectos fisicoquímicos del fueloil

El petróleo es un mineral combustible líquido formado mediante una serie de complejas reacciones químicas a partir de material orgánico enterrado en el subsuelo de la Tierra. Su composición elemental es muy variada, constituyéndose en su mayor parte por carbono e hidrógeno, además de otros elementos presentes en cantidades traza (azufre hasta un 8 %, nitrógeno hasta un 1,6 %, oxígeno hasta un 1,8 % y níquel y vanadio hasta 1000 ppm) (Kirk y Othmer, 1982).

Los productos derivados del petróleo constituyen, en forma de gasolinas, diesel o fueloil entre otros, una fuente de energía ampliamente utilizada. La obtención del fueloil requiere un proceso de separación del crudo en distintas fracciones que serán después procesadas para conseguir las propiedades deseadas. Este tratamiento se denomina refino. Según Kirk y Othmer (1982), la mayoría de las fases del refino se agrupan en tres bloques: i) separación en los distintos compuestos; ii) conversión para cambiar el peso molecular y el punto de ebullición; y iii) enriquecimiento, por ejemplo en hidrógeno.

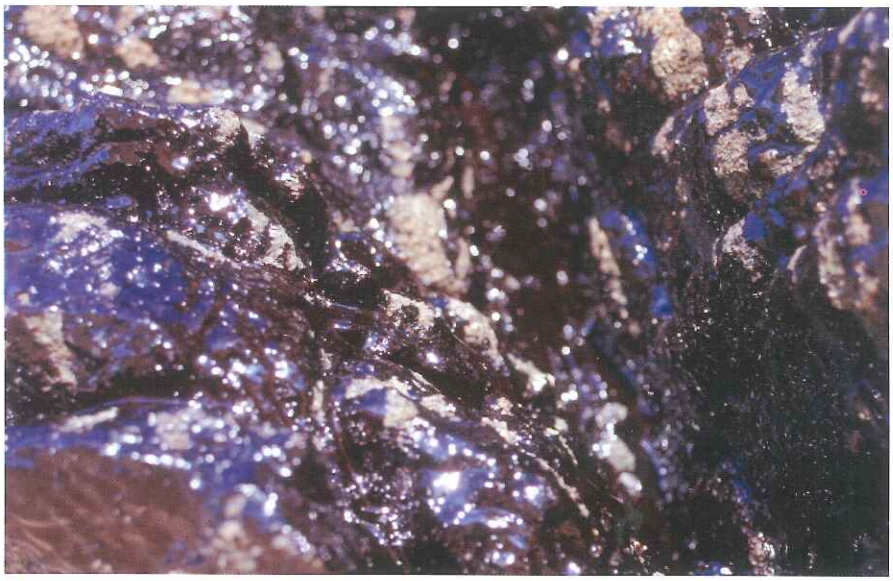


Figura 2.- Muestra del aspecto del fueloil vertido adosado a un roca en el área litoral de Corrubedo.

El fueloil se compone de las partes más pesadas del crudo a partir del residuo de las columnas de destilación a vacío (Gary, 1980). Según el análisis realizado por el Centro Francés de Documentación, Investigación y Experimentación sobre Contaminación de las Aguas (CEDRE), el fueloil vertido por el buque Prestige es un fluido pesado, muy viscoso y de baja solubilidad en el agua. Está compuesto por un 40,1 % de hidrocarburos aromáticos, un 30,5 % de hidrocarburos saturados, un 17,1 % de resinas y un 12,3 % de asfaltenos, con un 2,58 % de contenido en azufre. Este fuel se mantiene compacto (en forma de manchas, placas o galletas) en la superficie del agua o la playa, aunque en mar agitado puede situarse por debajo del nivel del mar o depositado en el fondo marino (**figura 2**).

Parámetros de contaminación del fueloil en suelos arenosos

El suelo de la zona litoral de Corrubedo donde se ha depositado parte del vertido del Prestige puede clasificarse según la FAO (1998) como un arenosol. Este tipo de suelos, poco desarrollados y de textura gruesa, poseen una permeabilidad elevada y una capacidad de retención de agua e intercambio catiónico baja. Estas propiedades del sustrato edáfico, junto con las del fueloil, van a condicionar la evolución del vertido en el Parque Natural de Corrubedo.

Según la ATDSR (1995), el comportamiento de un fueloil depositado

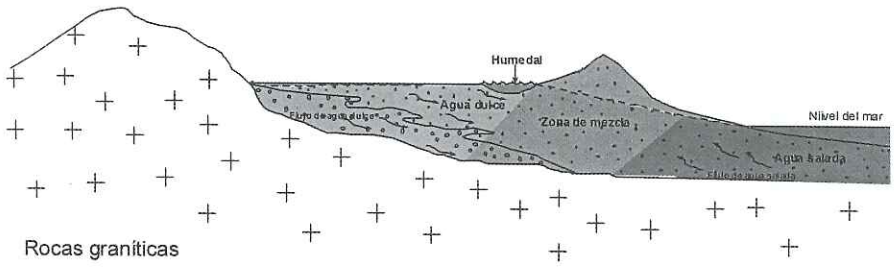


Figura 3.- Esquema de funcionamiento del sistema hidrogeológico del Parque Natural de Corrubedo.

en el suelo va a depender de su solubilidad en agua y la volatilidad de las fracciones alifáticas y aromáticas del hidrocarburo. De este modo, los compuestos de bajo peso molecular se evaporarán, mientras que los compuestos aromáticos pueden migrar a través del suelo y alcanzar el nivel freático del acuífero difundiéndose en las aguas subterráneas. Por su parte, los compuestos alifáticos de mayor peso molecular (>20 Carbonos) permanecerán en el suelo (donde pueden ser adsorbidos por la materia orgánica) y en las aguas marinas, en las cuales flotarán a la deriva durante un periodo de tránsito determinado, pudiendo una parte sedimentar en el fondo marino.

El fueloil vertido por el buque Prestige es un fluido pesado, muy viscoso y de baja solubilidad en el agua

No obstante, debido a las propiedades de los suelos afectados en Corrubedo, la capacidad de amortiguación del vertido será relativamente baja, por lo que no es de esperar que puedan retener estos compuestos. Debido a ello, es probable que puedan infiltrarse hasta alcanzar el nivel freático del acuífero para posteriormente difundirse en las aguas subterráneas.



Figura 4.- Canal de conexión superficial entre el mar y la laguna Carregal.



Figura 5.- Detalle de vertido de fueloil en la playa del Parque Natural de Corrubedo.

Consecuencias del vertido de fueloil sobre el sistema hidrogeológico de corrubedo

El Sistema hidrogeológico

El sistema hidrogeológico del Parque Natural de Corrubedo se sitúa al SO de la zona protegida. El acuífero se desarrolla sobre los materiales cuaternarios (pleistocenos y holocenos), constituidos por sedimentos detríticos aluviales en su zona inferior y por arenas litorales en la zona suprayacente. La estructura del acuífero es simple ya que se trata de un paquete sedimentario único, con una superficie aproximada de 1 km^2, limitado por rocas graníticas de baja permeabilidad (**figura 3**).

La recarga del acuífero procede, en su práctica totalidad, de la infiltración directa del agua de lluvia y el aporte fluvial de los ríos Longos, Sirves y Arlés. La descarga de la unidad se realiza en su mayor parte a través de las arenas holocenas y hacia el mar. Estas se concentran principalmente en la vertiente oeste del sistema. Su condición de acuífero libre y costero hace que soporte una dinámica hidrogeológica típica de estos ambientes, con una zona saturada dulce, otra salada y una zona de mezcla de ambas (**figura 2**). En la actualidad no se tiene constancia de bombeos en el acuífero.

Las Lagunas Carregal y Vixán, situadas sobre las arenas holocenas, están íntimamente ligadas al funcionamiento hidrogeológico del sistema. Ambas reciben aportes importantes del acuífero cuaternario, así como directamente de la precipitación y de los ríos colindantes. La Laguna de Carregal se caracteriza por presentar un agua más salobre (Fernández y Núñez, 1998). Este hecho está condicionado por su conexión con el mar a través de dos pequeños canales (**figura 4**) y por los

fenómenos, mareales que a veces provocan la inundación del sistema aportando agua salada. Por el contrario, la laguna de Veixan no está en contacto superficial con el mar, aunque con una conductividad de 4 mS/cm parece recibir aportes de agua subterránea salada desde el mar.

Implicaciones hidrogeológicas del vertido de fueloil

El vertido de fueloil del buque Prestige, del cual una parte ya se ha depositado en la playa del Parque Natural de Corrubedo, puede causar un impacto sobre el sistema hidrogeológico, tanto desde su posición sobre la superficie del mar como sobre la zona litoral arenosa (**figura 5**). Los elementos nocivos que contiene el fueloil pueden infiltrarse al acuífero desde dos medios diferentes:

El vertido de fueloil del buque Prestige puede causar un impacto sobre el sistema hidrogeológico

- Desde el mar, infiltrándose a través de la capa de arena sumergida pasando posteriormente al acuífero y a los humedales a través del flujo de agua salada subterránea procedente del mar.
- Desde la zona subaérea de la playa, a través de la arena, pasando directamente a la zona freática de mezcla de aguas dulces y saladas, y posteriormente al agua dulce o bien, a la zona de agua salada donde la dirección del flujo los transportará después a través del sistema.



Figura 7.- Extracción de arena junto con el vertido de fueloil en la zona de playa del Parque Natural de Corrubedo.

Ambos procesos pueden suponer la contaminación del agua del acuífero así como de los humedales que reciben aportes de agua subterránea desde el propio acuífero. En este último caso, además de un impacto sobre la calidad del agua puede producirse un impacto sobre el ecosistema. Por otra parte, si el acuífero fuera explotado intensamente, con la consiguiente bajada del nivel freático, la zona de mezcla se desplazará hacia el interior del acuífero, aumentando el riesgo de contaminación a partir de los elementos nocivos procedentes, tanto desde el humedal, como desde la zona saturada del acuífero.

Consecuencias del vertido de fueloil sobre la dinámica geomorfológica del sistema playa-duna de corrubedo

El sistema geomorfológico playa-duna

El sistema playa-duna de Corrubedo se corresponde con el típico patrón de ambiente litoral atlántico con playas de sedimentos graníticos controladas por las corrientes de deriva, los intensos vientos y la alta frecuencia de fluctuación mareal. Estos procesos son los encargados de transportar sedimentos (Hardisty, 1994) desde la zona infralitoral, en su medio acuático, hasta la dunar en su medio subaéreo. El transporte en ambos medios se realiza por suspensión, saltación y rotación en función del tamaño de grano y la fuerza de la corriente marina o el viento (Hardisty, 1994). En la actualidad este sistema playa-duna presenta una zona de playa sumergida (distal y próximal), una playa subaérea (Servera, 1998) donde se produce el intercambio de sedimento en función de la fuerza del oleaje, un primer cordón dunar (foredune), un sector de dunas móviles y un último sector de dunas estabilizadas (**figura 6**).

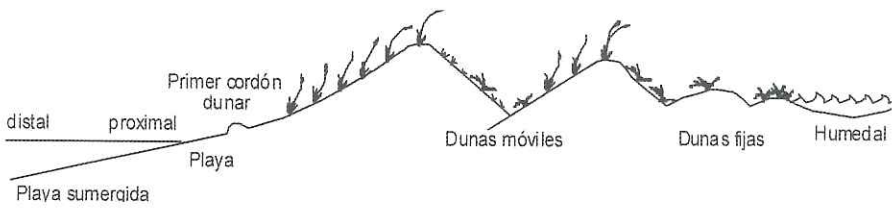


Figura 6.- Esquema sintético del sistema playa-duna del Parque Natural de Corrubedo.

Implicaciones geomorfológicas del vertido de fueloil

La marea negra producida por el vertido del buque Prestige puede suponer alteraciones en el transporte de sedimento, tanto en su tránsito marino supralitoral como y sobre todo, en el sector de playa sumergida y subaérea. En la zona infralitoral, el contacto de sedimento con el vertido es prácticamente inexistente y sólo

un pequeño porcentaje podría verse afectado en su tránsito hacia la playa. Sin embargo, en la zona de influencia del sistema playa-duna (zona supralitoral), la alteraciones sobre el transporte de sedimento son más importantes. El fueloil depositado en la playa impide que el sedimento pueda desplazarse por rotación o saltación quedando fijado en el vertido. Este hecho provoca varias situaciones que pueden desequilibrar el sistema:

El fueloil depositado en la playa impide que el sedimento pueda desplazarse por rotación o saltación quedando fijado en el vertido

- Parte del sedimento que se deposita en la zona subaéra de la playa queda fijado en un primera fase en el fueloil, con la consiguiente incapacidad de transferirse tanto a la *foredune* como al sistema de dunas móviles. Sólo el sedimento transportado en suspensión puede alimentar el sistema sin dificultades.
- El vertido puede hundirse y depositarse en el fondo de la zona sumergida de la playa. Este fenómeno provoca que otra parte del sedimento quede fijado en el fueloil y no pueda transferirse a otros sectores del sistema.
- En una segunda fase, el sedimento cubre el vertido, permitiendo de nuevo el transporte por rotación o saltación. Este hecho provoca que el fueloil quede interestratificado entre dos capas de arena.
- Las tareas de limpieza del fueloil depositado sobre las arenas de la playa suponen que, junto con el vertido, se extraigan grandes cantidades de sedimento (**figura 7**). Además, en una gran parte de la superficie de la playa la arena se está compactando en láminas delgadas y aisladas, debido al paso de la maquinaria que trabaja en labores de limpieza del vertido.
- Tanto la fijación de sedimento en el fueloil como la estratificación de éste entre las arenas pueden cambiar el perfil de equilibrio de la playa.

Conclusiones

La marea negra consecuencia del hundimiento del buque Prestige ha supuesto un impacto geoambiental de muchas áreas litorales Gallegas. En el Parque Natural de Corrubedo esta catástrofe ha sido especialmente significativa ya que es un ejemplo emblemático por su belleza, singularidad y fragilidad, donde el ecosistema se integra con los elementos de la *Gea*. Los procesos geomorfológicos e hidrogeológicos están siendo afectados de lo que podemos concluir que:

- El fuel oil vertido, del cual una parte se ha depositado posteriormente en las zonas litorales, está compuesto de elementos nocivos que pueden afectar seriamente al ecosistema del Parque Natural de Corrubedo.
- El tipo de suelo (muy poroso) y las características del fueloil hacen que los componentes nocivos de este fluido puedan infiltrarse hasta la zona freática del acuífero con el consiguiente riesgo de contaminación.
- El funcionamiento del sistema hidrogeológico del acuífero del Parque Natural, del cual dependen los humedales Carregal y Vixán, puede permitir que los elementos nocivos del fueloil contaminen todo el sistema acuífero, con el consiguiente perjuicio para las aguas subterráneas y el ecosistema.
- Las características físicas del fueloil depositado sobre el fondo marino cerca de la costa, sobre la superficie del mar a la deriva o sobre la playa, producen alteraciones en la dinámica sedimentaria.
- La fijación de parte del sedimento al fueloil, la extracción y la compactación de éste debido a las tareas de limpieza, está provocando el cambio en el perfil de equilibrio de la playa. Ello impide que éste pueda transferirse tanto en la zona subacuática como subaérea de la playa, disturbando la dinámica sedimentaria del sistema playa-duna. Este hecho puede provocar la pérdida masiva de sedimento que en algunos casos ha significado la desaparición del sistema litoral arenoso.

Referencias Bibliográficas

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). (1995). *Toxicological profile for fuel oils.* Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, U.S. 204 páginas.

CENTRO FRANCÉS DE DOCUMENTACION, INVESTIGACION Y EXPERIMENTACION SOBRE CONTAMINACION DE LAS AGUAS (CEDRE). (2002). Diario El País. p. 20.

Diario el País. (2002). 19 de Dicembre de 2002. p. 20.

FAO-UNESCO. (1988). *Soil Map of the World. Revised Legend.* World Soil Resources Report, 60, Roma.

FERNANDEZ, R. Y NUÑEZ, A. (1998). *Complejo de las playas, dunas y lagunas de Corrubedo. En: Humedales españoles inscritos en la lista del Convenio de Ramsar.* Bernués, M.,(eds). Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, pp.169-177.

GRACIA, F.J., BENAVENTE, J. Y ANFUSO, G. (2000). *Clasificación de Costas y ambientes litorales.* En: Geomorfología litoral., J.R. De Andrés y F.J. Gracia (eds). Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, pp. 13-31.

GARY, J.H Y HANDWERK, G.E. (1980). *Refino de petróleo: tecnología y economía*, Ed., Reverté, Barcelona. 392 páginas.

HARDISTY, J. (1994). *Beach and nearshore sediment transport. Sediment Tranport and Depositional Proceses.* Blackwell Scientific Publication. Oxford, pp. 219-256.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. (1981). *Mapa geológico de La Puebla de Caramiñal. E. 1:50.000. Hoja 151, 8-9.* Madrid.

KIRK, R.E. Y D.F. OTHMER (EDS.). (1982). *Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 17,* John Wiley & Sons, Nueva York. 957 páginas.

SERVERA, J. 1998. *Els sistemes dunars litorals holocènics: les dunes de sa Rápita-es Trenc. En: J. Fornós., Aspectes geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera).* Universidad de las Islas Baleares. Palma de Mallorca, pp. 251-307.

V.V.A.A. (2002). *Humedales de Galicia.* Xunta de Galicia. Santigo de Compostela.54 páginas.

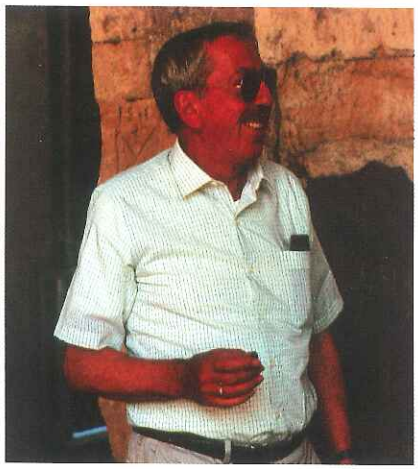
El profesor García de Figuerola

Incursiones y excursiones en torno a granitología Ibérica

L.G. Corretgé

Dr. en Ciencias Geológicas
Catedrático de Petrología
de la Universidad de Oviedo

Esta ponencia se impartió en la Reunión Científica celebrada en Mérida, el 4 de octubre de 2002, en homenaje al geólogo D. Luis Carlos García de Figuerola, catedrático jubilado de Petrología de la Universidad de Salamanca. La reunión fue organizada por la Asociación Geológica de Extremadura, y se celebró en el Auditorio del Centro Cultural Alcazaba.



Profesor L. C. García de Figuerola.

Hace unos meses, la *Asociación Geológica de Extremadura*, me invitó a participar en una Jornada científica, en la que se iba a otorgar el nombramiento de miembro de honor de la asociación al Profesor Figuerola. Vi claro que ese era para mí el objetivo principal de dicha reunión y propuse a los organizadores hablar del profesor Figuerola. Mi propuesta fue aceptada, cosa que agradezco sinceramente.

Debo decir, ante todo, que esto que escribo no va a ser un trabajo científico. No lo pretendo. Tampoco es un escrito de viajes. Tiene que ver con la ciencia o la historia de algunos momentos de la ciencia española, pero es más bien una breve laudatio interpretada a través del prisma hacedor de matices en la ciencia de la petrología que representa y representó el profesor Luis Carlos García de Figuerola, ilustre extremeño de San Martín de Trevejo. Hablaré, por tanto, del hombre como universitario, del geólogo y de su proyección científica vista por un discípulo.

García de Figuerola, Don Luis para todos, Figuerola para los más confianzudos, o simplemente "el Jefe" para sus colaboradores más directos, es una figura singular cuya trayectoria merece ser atendida, al menos en los aspectos en los que manifestó una mayor creatividad. En efecto, creó algo importante: una escuela de petrólogos; granitólogos más exactamente, pero creó o fomentó, algo más importante todavía: Una convivencia social universitaria encomiable, puesto que no se le conocen enemigos, y si tales especímenes existieran, estoy seguro que él no los tendría por tales. No le gustaban las insidias y menos en la Universidad. Para evitar conflictos presentes o supuestamente futuros le gustaba ceder, "templar gaitas" y llegar a todo tipo de arreglos siempre que no fuesen meros pasteleos. Como ejemplo de talante

traigo a colación, del baúl de los recuerdos, aquel pacto del comienzo de los setenta realizado por García de Figuerola y Fúster Casas acordando límites de actuación de las respectivas escuelas en el meridiano de Avila. Hay muchos ejemplos más.

Pero hablemos algo más de su personalidad. Proponía el sociólogo J. J. Linz en 1981, en un artículo titulado: *Libertad y autocontrol de los intelectuales*, una serie de características de los que no son intelectuales. Haciendo un cambio afirmativo de dichas características me tomo la libertad de la paráfrasis y digo con Linz que los intelectuales son: *Los que son capaces de alguna creación cultural; los que han escrito algo; los que tienen mucho o algo que transmitir a otros*. Todas estas facetas rebosan, naturalmente, en las bien nutridas alforjas espirituales de García de Figuerola y, por ello, creo que él es prototipo de intelectual; de intelectual liberal, en el sentido más amplio y más noble de la palabra, puesto que no sé de nadie al que hubiese impuesto ideas o actuaciones sin la vía de la convicción. El "prohibido prohibir", viejo dictum con tintes de anarquía, que muchos recordarán en labios de Figuerola era en él vivencia, no una mera pose de profesor embriagado de progresismo.

El profesor García de Figuerola siempre fue hombre estudioso. Poco necesitaba. Siempre lo recordaré con los libros escrutados a conciencia en la mesa de su despacho; las cenizas dispersas por aquí y por allá de sus inseparables "caldos de gallina" liados a mano; su Zeiss; sus fotografías aéreas; su campo y poco más.

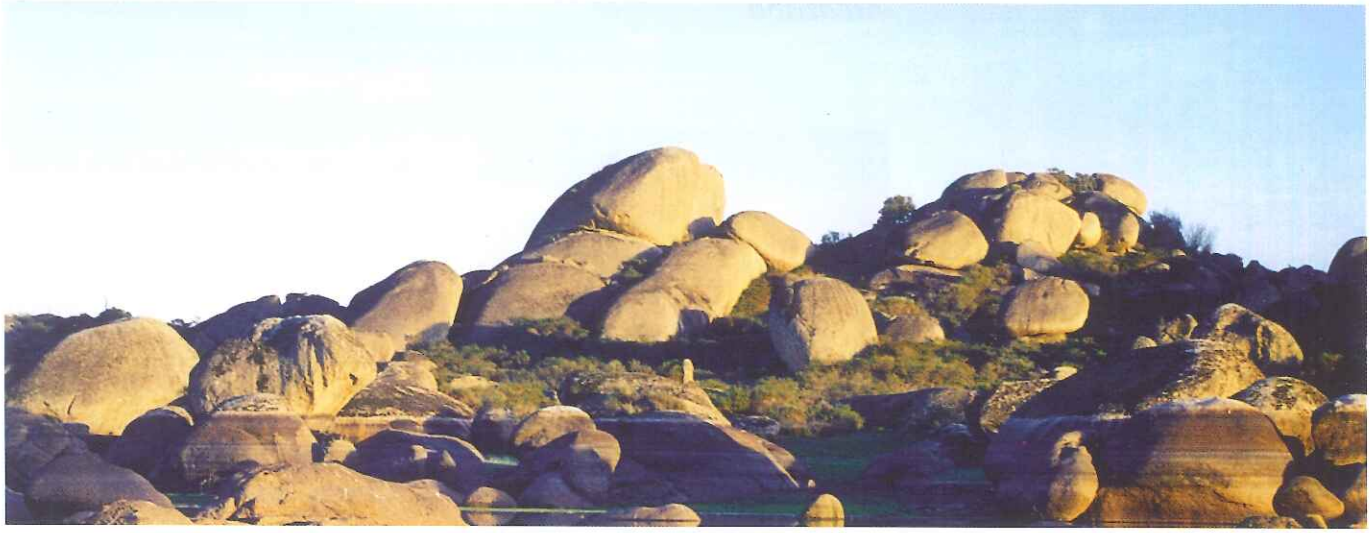
Consciente de que la petrología como ciencia necesitaba fuertes soportes físico-químicos y analíticos, con rapidez proponía actuaciones en estos campos cuando el presupuesto lo permitía, pero la gestión y trámites siempre la dejó en manos de sus discípulos y colaboradores. Su protagonismo siempre era a lo lejos.

Figuerola es un naturalista. Ameno y conocedor de todo en cuanto a campo, paisaje y paisanaje se refiere; apegado al terruño al igual que su contemporáneo y coetáneo, el escritor Delibes. Nunca conocí un hombre con una intuición tan fina cuando de geología de campo se trataba. Incluso a veces, con razonamientos o métodos heterodoxos llegaba a soluciones correctas que nos sorprendían a todos. Tampoco le conocí nunca frente a un ordenador (no era la época) y me da a mí que hubiese preferido siempre el calor de las hojas de los libros y revistas pasadas a mano, que la lectura a través de las frías pantallas que la tecnología informática hoy nos ofrece.

Figuerola, hombre de tertulia y extremeño socarrón, creo que, de estar en activo en los tiempos que corren, hubiese adoptado con gusto y aplauso la incorformidad unamuniana quien protestaba airadamente de la *inquisición científica* reinvindicando, como dice Abellán *la sabiduría*, la *sagesse* de los franceses frente a la ciencia *que quita sabiduría a los hombres* (el entrecomillado es de Abellán). Para Unamuno: *La Ciencia busca la vida, la sabiduría prepara la buena muerte*. Trataba Unamuno, y de conversaciones de hace años con "el Jefe" advertí el paralelismo, en emprender un camino, en el que los valores éticos de la sabiduría se impusiesen en un mundo excesivamente centrado en los logros de carácter científico y técnico: Asunto pendiente, nada nuevo pero siempre actual.

La tan mal comprendida y mal utilizada frase: *¡Qué inventen ellos!* que tantas veces reiteró Unamuno a partir de 1906, y que adquirió enorme resonancia en el epílogo de su *Sentimiento trágico de la vida* de 1912, sólo puede comprenderse en este concepto ético de la sabiduría unamuniana a la que tan próximo estaba García de Figuerola.

En 1987 el profesor García de Figuerola alcanzó su jubilación como catedrático de Petrología y Geoquímica de la Universidad de Salamanca. Atrás quedaron los años, que iniciados en Madrid de la mano del Profesor Maximino San Miguel de la Cámara, verdadero padre fundador de la petrología académica española, continuaron primero en la Universidad de Oviedo, cuya cátedra de Petrología ganó en 1960 (y utilizo la expresión al uso de la época) y después en 1969, año en que en virtud de concurso de traslado comenzó su actividad en la Universidad de Salamanca.



***Armonía.* (Autor: Carlos Gragera Garriga).**

Finalizada la etapa ovetense García de Figuerola marcha a tierras castellanas a poner en marcha la sección de Geología de la Facultad de Ciencias, junto al único catedrático de Geología de la prestigiosa y vetusta universidad salmantina, el profesor Antonio Arribas Moreno, y la ayuda de dos o tres jóvenes que estaban haciendo méritos para la carrera universitaria, uno de ellos autor de estas líneas, que derrochaban más entusiasmo que experiencia. A los pocos meses algunos compañeros se agregaron a aquella empresa y al fin, con la llegada de nuevos catedráticos, se llegó a sacar la primera promoción de licenciados en Ciencias (sección de Geología).

El profesor García de Figuerola ha sido en la larga treintena de años de plenitud académica y en los posteriores años de emeritud, testigo y actor fundamental en la evolución de la petrología y geoquímica de nuestro país.

Gracias a la acción decidida y eficaz de sus discípulos: Bea, Carnicero, Gonzalo, López-Plaza y Rodríguez Alonso, recibió un merecido homenaje justo el año de su Jubilación, 1987, en vida y en plenitud, que es cómo se han de dar y recibir los homenajes. El simposio y el libro surgido a raíz del homenaje citado: *Geología de los Granitoides y Rocas asociadas del Macizo Hespérico*, editado por Rueda bajo el cuidado de los editores científicos citados anteriormente, constituyen puntos de referencia obligada en la granitología Ibérica. Pero digamos que, más bien, el profesor García de Figuerola es referencia en la granitología Ibérica. Veamos que quiero decir con esto que puede parecer desmedido.

En la carta *LXXXI:* titulada: *del desagradecimiento* de las *Epístolas Morales a Lucilio*, Séneca hace una interesante incursión sobre el desagradecimiento. Argumenta como discurso principal que: *Es preferible cosechar desagradecimiento que dejar de hacer beneficios* (lema que podría figurar perfectamente sobre el víctor universitario de Figuerola). Pero uno de los aspectos que más me han llamado la atención es el razonamiento que Séneca hace basándose en el uso de la lengua latina antigua, cuando se utiliza para expresar y enseñar deberes: *Ille illi gratian rettulit* (aquel ha correspondido al beneficio), en el que *rettulit*, forma verbal de *referre* significa, lisa y llanamente: dar expontaneamente lo que debes, devolver una cosa a aquel de quien la recibiste. Por tanto, si fuésemos atentos, debiéramos percibir que en la bibliografía de los artículos o citas bibliográficas hay claramente dos conceptos mezclados. La "cita" bibliográfica que no ha aportado nada fundamental al trabajo que se ha realizado y la "referencia" (de "referre") que es aquel trabajo que ha servido como fuente de inspiración principal y a la que, por tanto, ha de otorgarse gratitud especial. Por ello digo que la trayectoria académica, científica y personal del Profesor García de Figuerola es referencia



Profesor L. C. García de Figuerola.

de los petrólogos españoles y, en especial, de los que nos mostramos orgullosos de pertenecer a su escuela.

Se lee en los diccionarios que incursión es acción de incurrir. Poco se aclara si no decimos que incurrir en una tercera acepción significa: *hacer breves intromisiones en algún quehacer* y excursión significa correría por ciudades, museos o lugar para estudio o ejercicio físico. Nada nuevo; aunque sí son sustantivos adecuados para denominar la actividad del profesor García de Figuerola cuyos principales activos científicos en su periplo universitario fueron los temas y terrenos graníticos, pero que nunca desdeñó "incursiones" en otros campos importantes de la petrología, como veremos más adelante.

Hay un refrán, creo que no español, que dice más o menos que *los locos entran donde los ángeles temen pisar*. No creo equivocarme, ni andar muy descaminado si digo que dicha sentencia se aplica exactamente a la geología granítica, dada la complejidad tan acusada en rocas de mineralogía, aparentemente, tan simple o al menos poco variada. En efecto, la trilogía mineral de los granitos aprendida en los lejanos años de enseñanza media: cuarzo, feldespato y micas podría descorazonar a los menos audaces por tener a estas rocas como asunto trivial; pero no es así. El punto de arranque de dicha complejidad lo constituye la geología de campo que, de forma tan clarividente, supo reivindicar el

Hombre modesto también, en exceso, al que nunca preocupó personalmente la estrategia de publicación ni la brillantez del curriculum

profesor García de Figuerola, creador de una escuela de granitólogos o, si queremos escarbar en etimologías "sui generis", de granitoidólogos, a los que supo trasmitir una no desdeñable habilidad en el trabajo cartográfico y de observación y análisis de la geología granítica regional.

El profesor García de Figuerola siempre consideró las rocas graníticas como asunto ante todo geológico. Nunca se cansó de meternos en la cabeza, a todos los que fuimos y somos sus discípulos, la vieja afirmación o dictum de Read de 1948: *Veo el problema del granito como uno esencial de la Geología de campo. No es primariamente uno de la petrografía, de la mineralogía, de la química física o de cualquier otra disciplina auxiliar.*

Un recorrido no exhaustivo, que tampoco viene al caso, de la actividad del profesor García de Figuerola

puede darnos una idea de su personalidad y de la impronta que ha dejado en la petrología y, muy especialmente, en la petrología regional de las áreas que más marcaron su interés.

Aparte de los trabajos efectuados en áreas diversas entre 1953, fecha de su doctorado en la Universidad Central de Madrid, y 1960, en que cesó su actividad profesional de geólogo investigador de la Junta de Energía Nuclear; hay que destacar, en primer lugar, Extremadura, su patria chica. La alta Extremadura; la geología en torno a San Martín de Trevejo, su pueblo, y otras localidades próximas o lejanas de aquella vastísima tierra fueron testigo de sus correrías, de sus excursiones y lugar de las observaciones más finas sobre la petrología granítica, tan singular, de la región extremeña.

"...cuando se apagaron las piedras se apretó el silencio del atardecer"

En 1966 se publicó con un título modesto: *Datos petrológicos de la Sierra de Gata (Cáceres)*. García de Figuerola, hombre modesto también, en exceso, al que nunca preocupó personalmente la estrategia de publicación ni la brillantez del curriculum (eran otros tiempos), dio a publicar tal trabajo a una revista de poca difusión. En el trabajo se realizó una primera cartografía y reconocimiento detallado de unos 550 kilómetros cuadrados de la región más occidental de la Sierra de Gata, Hurdes incluida. Allí se abordan problemas importantes sobre el emplazamiento, quimismo de las rocas plutónicas y las aureolas de contacto, así como se realizan descripciones muy finas de lo que él denominó provisionalmente como: pizarras de Campo Valverde, pizarras, que eran idénticas a las presentes en los extensos pizarrales de Cáceres, Salamanca y Beira Baixa.

Si me he detenido en este trabajo que, como he dicho, al ser publicado en revista de poca difusión, no alcanzó relevancia, es porque sintetiza muy bien lo que fue para García de Figuerola la petrología: Un progreso del conocimiento que empezaba en el campo, proseguía en el microscopio y finalizaba en el crisol. Precisamente en ese orden.

Por aquellas décadas sus incursiones geológicas, modelos de observación y razonamiento, fueron constantes. Citemos tan sólo los trabajos de 1953 en Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España sobre: *Análisis sobre una escoria supuestamente volcánica* y *Notas sobre el volcán del Gasco, Las Hurdes, (Cáceres)*. La interpretación volcánica dada por García de Figuerola y la comparación del quimismo de las escorias con el de las cuarcitas, le llevó a proponer una fusión extensiva del substrato y erupción explosiva. *Estos bloques no presentaban ningún aspecto de haber sido arrastrados hasta el punto donde hoy se encuentran, dando la impresión de una erupción explosiva con pequeña cantidad de lava*, decía Figuerola en la pág 386 del artículo de Notas y Comunicaciones. Poco se conocía entonces de las interpretaciones impactíticas, muy posteriores y tampoco se sabía de la presencia de ringwoodita, mineral cúbico polimorfo del olivino pero de altísima presión, citado recientemente por Diaz-Martínez et al, (2001), en las referidas escorias. Las observaciones de Figuerola y la extrañeza ante una fusión tan intensa fueron no obstante muy sagaces y atinadas.

En sus incursiones posteriores fuera de la granitología propiamente dicha, mucho tuvo que ver la Cátedra de Petrología que ganó en el año 1960 y que le llevó a Asturias, donde sin perder su objetivo esencial: La geología de las regiones graníticas del norte de Extremadura, se dedicó de lleno a estudiar los afloramientos volcánicos asturianos. Estos fueron dados a conocer a través de un conjunto de trabajos: *Las rocas del Cámbrico* en una interesante serie de cuatro artículos, donde se pudieron establecer por primera vez conocimientos fundamentales de rocas de las que poco o nada se sabía. Por aquellos años García de Figuerola era uno de los raros geólogos españoles que se aventuraban en la áspera geología del occidente de Asturias y este de Galicia. (Son muy interesantes sus razonamientos geológicos extraídos a través de las paragénesis



metamórficas de las pizarras de Lugo). Quizás los extensos pizarrales de la región del Narcea, apenas atravesados por pórfidos y otros tipos de rocas volcánicas, le recordaban las pizarras extremeñas. Esa impresión de similitud era la que teníamos los estudiantes de la Universidad de Oviedo, a quienes el profesor García de Figuerola acostumbraba a introducir en la petrología del occidente de Asturias y a realizar campamentos más específicos en los granitos y pizarrales del sus de Salamanca y norte de Extremadura. La geología, al fin y al cabo, se nutre de la analogía que aflora a través de la observación fecunda, y esta analogía que cito ya fue percibida por Widdrington en 1844, quien al describir la formación que él propondría llamar: *esquistos extremeños*, dice que ocupa la mayor parte del oeste de España. Widdrington también encuentra, al oeste de Asturias pizarras, referidas al Cámbrico por Schultz, que le recuerdan a los *esquistos extremeños*, denominación muy anterior a las tradicionales denominaciones: *complejo esquisto grauváquico* y *esquistos de Beira* y que, en consecuencia, debiera gozar del privilegio de prioridad.

Los años de Oviedo fueron importantes para García de Figuerola. Su vocación o predilección eran, como hemos dicho, los granitos y el metamorfismo, fundamentalmente de series pelíticas; pero sus incursiones en asuntos volcánicos y en un tema muy querido por él: El gran dique de diabasa de Plasencia, Alentejo-Plasencia, Plasencia-Odemira, Mesejana, etc. que así y con otras denominaciones se ha conocido a lo largo del tiempo, tuvo en García de Figuerola, durante muchos años, a su principal estudioso y valedor, habiéndole dedicado una serie de importantes artículos de todo tipo: cartográficos, petrográficos y geoquímicos. Oviedo fue asimismo semillero de sus primeros discípulos en el mundo de la ciencia petrológica y su Facultad de Ciencias testigo de sus excelentes y metódicas lecciones de cátedra. Aún cuando repaso mis viejas libretas con tapas de hule negro, donde cuidadosamente solía pasar a limpio los apuntes de petrología sacados de las notas de clase del entonces, para nosotros, don Luís, contemplo la extremada actualidad de aquella docencia muy especialmente en los campos de la petrología metamórfica y la petrología de rocas plutónicas. El curso siempre quedaba corto para acabar con el mismo detalle las rocas volcánicas que el profesor García de Figuerola siempre explicaba al final del programa, aunque ignoro si esta práctica la mantuvo hasta el final de su vida académica.

Cuarzo, feldespato y micas podría descorazonar a los menos audaces por tener a estas rocas como asunto trivial

El rigor y las excelentes perspectivas petrológicas que proyectaba en su docencia, carente de toda pedantería, era lógico. Sus trabajos de enfoque petrogenético y metodológico de los años 54 y 55, previos a su cátedra de Oviedo: *El cálculo de la "celdilla tipo" (cell standard) de Barth y su aplicación a un caso de diferenciación metamórfica*; *El diagrama de Poldervaart y Elston y su aplicación a algunas rocas de la Península Ibérica*; *Sobre la pegmatización*; *Aplicación del método de clasificación y nomenclatura de las rocas volcánicas, propuesto por Rittman, a las rocas volcánicas de España* y *Algunas consideraciones sobre el metamorfismo de contacto*, sorprenden por el manejo y razonamientos de conceptos termodinámicos y geoquímicos de gran consistencia. No es de extrañar, por tanto, que el amor a aquella geología fisicoquímica, que al fin y al cabo eso es lo que es la petrología, trasmitida de forma clara y sencilla por García de Figuerola, despertase nuestra afición e interés.

La llegada del profesor García de Figuerola a la Universidad de Salamanca al comienzo del curso 1969-1970 le permitió acentuar sus correrías en la granitología regional del Macizo Hespérico, muy especialmente en las provincias de Salamanca y Cáceres. Más de un centenar de trabajos y diez tesis doctorales fueron proyectadas y realizadas gracias a sus conocimientos regionales previos: Granitos

del occidente de Asturias, Extremadura central, Plasencia, Avila, Gredos, penillanura salmantina, Mérida, etc. Estas cifras no son nada desdeñables si tenemos en cuenta que la granitología regional con enfoque cartográfico, no estaba sostenida al comienzo de los setenta más que por investigadores de las Universidades de Montpellier y Leiden, en Galicia, Amsterdan y algún discípulo del profesor Teixeira, en Portugal, y por el profesor Figuerola y, con menos énfasis en el tema, el profesor Fúster en España. La verdad no había mucho en el arranque de los setenta: Los faros y referencia de la granitología Ibérica fueron, aparte de los investigadores de las universidades extrajeras citadas, la maestría del profesor García de Figuerola y los profundos conocimientos cartográficos y geoquímicos del Dr. D. Isidro Parga Pondal, mecenas de la petrología; promotor y animador de las "Reuniones de la Geología del NW Peninsular" que fueron continuadas posteriormente como: "Reuniones del Oeste Peninsular" por García de Figuerola.

Quienes teníamos que aventurarnos en la geología granítica de la penillanura salmantina y centro y norte de Extremadura, de pocos precedentes cartográficos y sistemáticos podíamos contar, salvo los bosquejos y mapas en borrador de García de Figuerola y algunos excelentes trabajos de compañeros o discípulos de Franz Lotze, traducidos en la serie: *Publicaciones extranjeras sobre Geología de España*. Después todo fue más fácil.

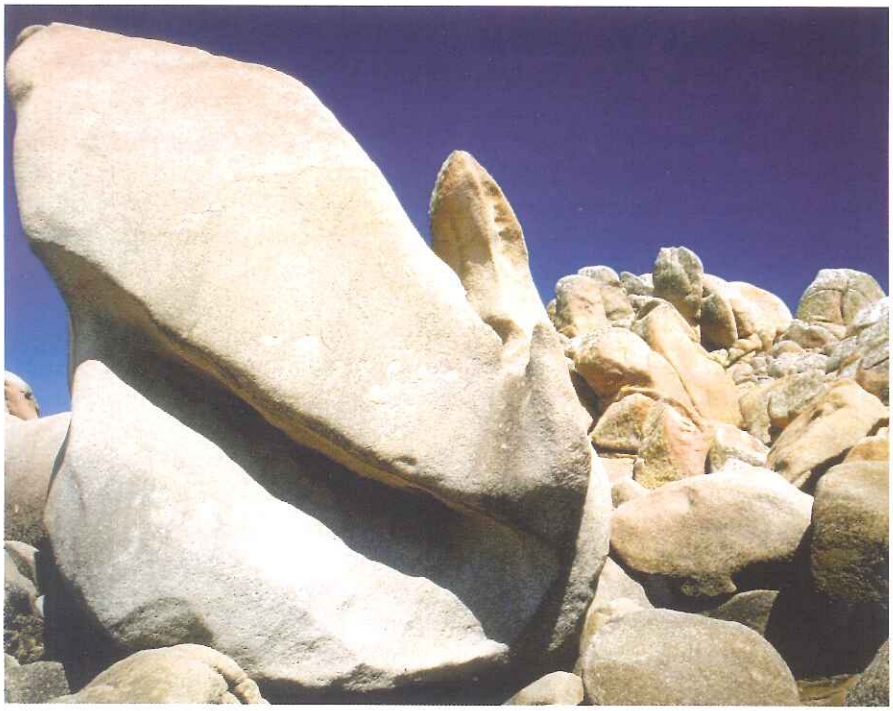
Para García de Figuerola, el problema del granito era primordialmente, como hemos dicho, geológico y a finales de los sesenta y comienzo de los setenta, esto era meridianamente claro. Sin cartografía no se podía ir muy lejos y gracias a ella se podían resolver muchas cosas e incluso vislumbrar aspectos nuevos ajenos al campo doctrinal de la petrología. Viene a mi memoria un trabajo de García de Figuerola y del tempranamente fallecido, José Ramón Parga, al que rindo desde aquí un emocionado recuerdo de amigo. El trabajo se titulaba: *Sobre los ortoneises de Traguntia-Juzbado (Salamanca) y su significación tectónica*. Fue publicado en 1968 y allí aparecían por primera vez los esbozos de las zonas de cizalla dúctil, que tanta importancia empezaron a cobrar, años más tarde, en la literatura científica española.

La vivencia geológica del profesor García de Figuerola y la de sus numerosos discípulos rebosa de granitos y más granitos, aunque no exclusivamente. Las incursiones de la escuela salmantina del Profesor Figuerola, han sido muy fructíferas hasta la fecha, y él siempre quiso que la experiencia propia y la de sus discípulos constituyese un cuerpo de doctrina en la que ni siquiera él tuviese que jugar un papel de especial protagonista. Sus continuas excursiones semanales con todos sus colaboradores y discípulos del Departamento de Petrología de Salamanca, a partir del 1979, fueron señal de convivencia, maestría y buen hacer.

El profesor García de Figuerola poco publicó en lengua extranjera. Cuando lo quiso hacer, lo hizo en España, en inglés y sin personas físicas figurando en la nómina de autores. Lo hizo a modo de testamento científico de una escuela a la que dejaba totalmente encarrilada. El trabajo fue publicado en 1980 y se titulaba: *Plutonism of Central Western Spain*; como autor figuraba: *Department of Petrology, University of Salamanca*. El artículo era una puesta en orden de todo lo que se había hecho hasta la fecha en ese vasto dominio geológico, con el enfoque propio del profesor García de Figuerola y sus discípulos. Los tiempos sin embargo estaban cambiando y el anonimato científico no iba a ver tiempos propicios. Experiencias cómo la establecida en Francia, a partir de los años cuarenta, por los matemáticos que colectivamente se llaman *Bourbaki*, sólo son posibles en países científicamente muy maduros y desarrollados y la posmodernidad científica, a la que no es ajena nuestro país, no va precisamente por ese camino. De ahí que lo intentado por Figuerola tenga más mérito aún y conecta plenamente con ese sentido utópico de la ética de la convicción que siempre le caracterizó.

Para terminar reitero de nuevo mi gratitud a la Asociación Geológica de Extremadura por darme la oportunidad de poder expresar el agradecimiento de los discípulos de García de Figuerola a través de estas brevísimas líneas, que no recogen más que apenas algunos destellos de su riquísima personalidad. Muchas gracias, "Jefe", un fuerte abrazo en nombre de todos y una amable nostalgia y melancolía personal por no poder tenerlo activo y preocupado por este mundo de las rocas; de las piedras que tanto significaron en su vida, pues siento con Gabriel Miró que: *"...cuando se apagaron las piedras se apretó el silencio del atardecer"*.

Oviedo: Octubre de 2002



***Armonía.* (Autor: Carlos Gragera Garriga).**

Planificación de explotación de georrecursos:

Afloramiento kárstico de Cerro del Hierro

Gustavo Aguirre Murúa

Geólogo
Departamento de Consultoría Ambiental. ANALITER, S.L.
e-mail: gaguirre@analiter.net

Se ha realizado una valoración integral de los recursos naturales y culturales presentes en el Cerro del Hierro, considerándoles como una "llave" para estudiar e interpretar no sólo la historia geológica y minera llevada a cabo en este enclave de la Sierra Norte de Sevilla, sino también para programar un uso y aprovechamiento de los recursos que sea compatible con su conservación.

Como consecuencia de la concurrencia de usos muy diversos sin regulación alguna (escalada, senderismo, recolección de minerales y fósiles, pastoreo intensivo, etc.), los elementos más sensibles del entorno acusan afecciones que es preciso corregir.

De este modo, a partir de la valoración y zonificación del espacio se establece un Programa de manejo que permita disfrutar del magnífico afloramiento kárstico y la infraestructura minera asociada sin comprometer su singularidad ni afectar la riqueza paisajística, botánica y faunística del lugar.

Cuando los enclaves geológicos que presentan una gran espectacularidad, y por lo tanto actúan como focos de atracción de visitantes, son usados por el público sin un ordenamiento y control determinado, corren el riesgo de sufrir una destrucción paulatina que finalmente acabe con los elementos o componentes de mayor valor. Este hecho no siempre es apreciable desde un primer momento, razón por la cual, a veces cuando se toman las medidas de protección oportunas, ya es demasiado tarde.

El Cerro del Hierro, constituye un enclave natural de gran valor geológico y etnográfico, ubicado en el Parque Natural de la Sierra Norte de Sevilla. Corresponde a un afloramiento kárstico (Baena & Díaz del Olmo, 1988; Delannoy et al, 1989; Díaz del Olmo et al, 1994; Perejón et al, 1999) de gran singularidad que ha tenido desde antiguo un aprovechamiento de minerales de hierro y de barita en los últimos años de la explotación. Este hecho, unido a la riqueza paisajística, botánica (Tamajón, 1996) y faunística del lugar, lo convierten en un destino atractivo para quienes practican el senderismo, la escalada, la espeleología, el coleccionismo de fósiles y minerales, o simplemente tienen interés por disfrutar de un entorno natural de gran belleza y conocer su rico patrimonio minero. A parte de los usos señalados anteriormente hay que mencionar los que practican los propios habitantes del poblado minero (donde residen algo menos de 100 personas) situado a pocos metros de la formación kárstica (ganadería, agricultura, apicultura, etc.). Es justamente la

conjunción de múltiples usos sin un ordenamiento previo, lo que ha llevado al deterioro o menoscabo del valor del espacio.

Ante este hecho, se ha llevado a cabo un estudio y evaluación de los recursos existentes con el objeto de establecer un marco de ordenación de referencia, que sirva para proteger el enclave y posibilite su difusión y aprovechamiento como patrimonio geo-minero de la Sierra Norte de Sevilla.

Recopilación de información y diagnóstico

Para realizar el inventario de recursos naturales e histórico-culturales en el Cerro del Hierro se han desarrollado numerosas actividades técnicas (de campo, de gabinete, documentales, entrevistas a antiguos mineros y habitantes de la zona, etc.) de modo de obtener un volumen de información considerable, y procedente de fuentes muy diversas.

A partir de las mismas se ha realizado una caracterización del medio



Figura 1.- Vista de un punto de interés geológico y minero inventariado.



Figura 2.- Vista parcial del afloramiento kárstico donde se puede apreciar la riqueza de las formas de disolución de la formación caliza.

físico y biótico, así como de la historia de las actividades mineras, de las cuales quedan restos de edificaciones y elementos que se pueden visualizar en la actualidad.

El número de visitantes del Cerro del Hierro se ha estimado ya que no existe un registro de los mismos en la actualidad y se ha realizado una caracterización de los mismos en función de la actividad que desarrollan.

Los principales aspectos que se inventariaron del enclave fueron:

- Estado de conservación de los diferentes senderos.
- Señalización y equipamiento público existente.
- Puntos de interés geológico y geomorfológico (localización, descripción general, entidad superficial, fragilidad, estado actual de conservación y accesibilidad visual).
- Puntos de interés botánico y faunístico (ídem anterior).
- Infraestructura minera (ídem anterior.)
- Puntos de interés paisajístico (miradores naturales).
- Detección de las zonas donde se producen impactos de toda índole (vertidos incontrolados, sobrepastoreo de cabras, usos marginales del suelo, vertido de aguas residuales, expolio de cristales de calcita y barita, etc.).

Como resultado del cruce de información de diversas fuentes (artículos, estadísticas mineras, trabajos de investigación inéditos, fotografías, etc.), de las visitas de campo y las entrevistas mantenidas con antiguos mineros y habitantes del poblado, se realiza un diagnóstico de Cerro del Hierro.

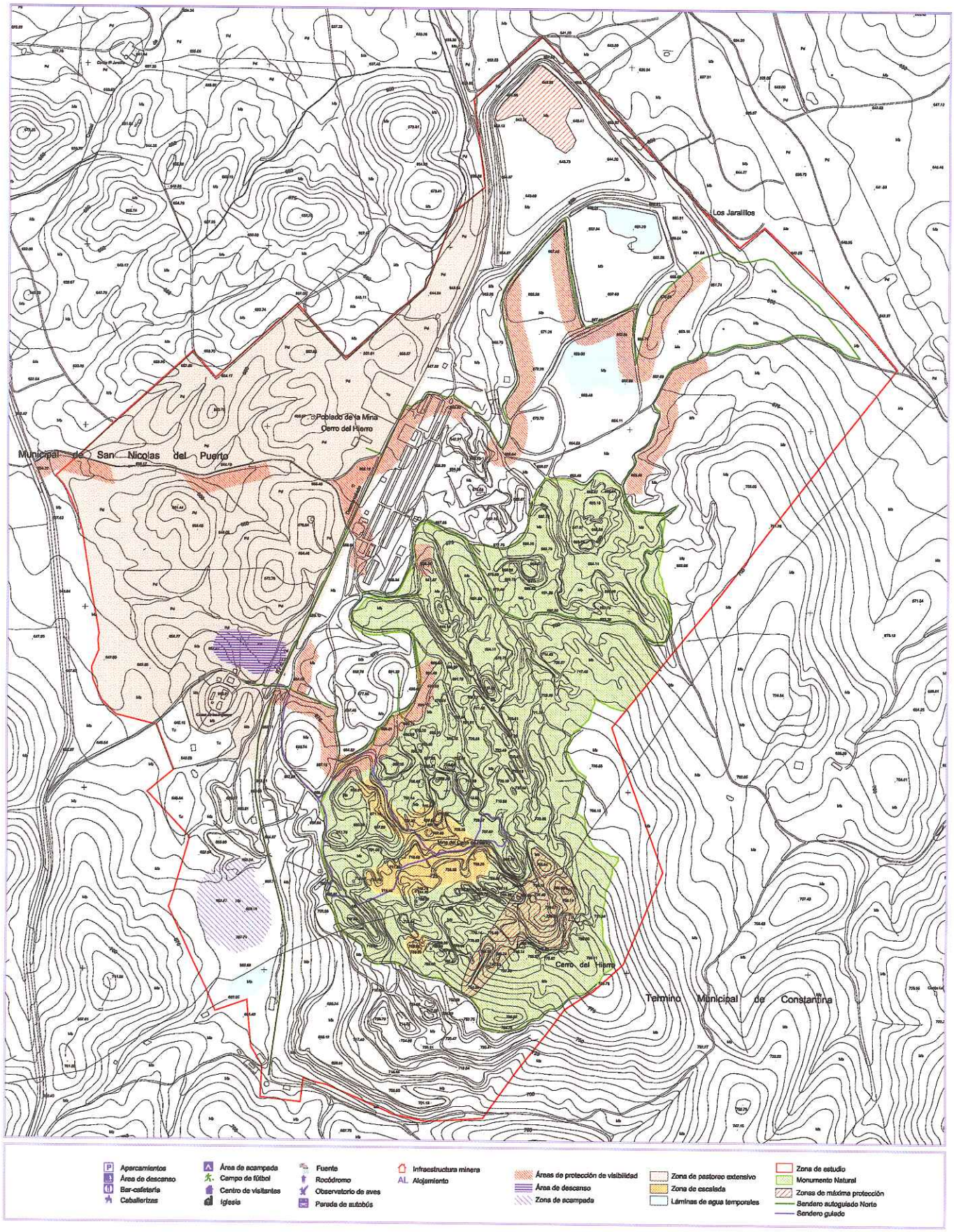
El diagnóstico engloba la valoración de todos los recursos naturales y etnográficos presentes; su posibilidad de uso científico, didáctico, recreativo, etc.; así como su problemática asociada a los usos que se realizan en la actualidad en el enclave. A su vez, el diagnóstico ha servido para determinar cuales son las medidas más urgentes a tomar en el espacio, con el objeto de subsanar las afecciones más significativas y que requieren una pronta actuación.

Indicadores utilizados para la programación de uso

En primer lugar se delimitaron unidades ambientales homogéneas fácilmente distinguibles por poseer unos atributos, en cuanto a vegetación, fauna, geomorfología y paisaje diferenciadores.

La *calidad ambiental* de cada unidad se determina mediante un sistema de valoración multicriterio aplicando el método propuesto por Rivas et al (1997) y Palacio Suárez (2000).

La valoración de la *capacidad de acogida*, tiene por objeto determinar el uso más adecuado o potencial de uso de cada unidad ambiental definida, teniendo en cuenta tanto el punto de vista de las acciones o actividades



Figrura 3.- Vista general de la ordenación propuesta.

posibles de ejecutar, como el medio que ha de acogerlas. Para ello se trabaja con indicadores de aptitud/vulnerabilidad. Del análisis de los resultados surge que los usos a implantar deben localizarse donde la aptitud sea máxima y la vulnerabilidad mínima.

La *capacidad de carga* se entiende como el límite o umbral de visitantes que pueden hacer uso simultáneo de un determinado sector sin causar deterioro a la calidad ambiental y sin disminuir la calidad de disfrute de los visitantes en el espacio. Para la valoración de la capacidad de carga se ha seguido la metodología propuesta por Van Wagtendonk modificándola y adaptándola a la zona de estudio. Este indicador se considera de gran utilidad a la hora de establecer un programa de uso público, ya que sirve para determinar las áreas más sensibles, y por lo tanto aquellas que deben ser preservadas de un uso público intensivo.

En base a todos los parámetros calculados y con el objeto de asegurar el aprovechamiento de los visitantes y el mantenimiento del pequeño poblado minero, sin menoscabar los valiosos recursos naturales y culturales que posee el Cerro del Hierro, se realiza la siguiente zonificación de usos en el espacio:

- Zona de uso deportivo-recreativo y ecodidáctico: comprende las áreas de escalada, los itinerarios de uso público y el Centro de Visitantes.
- Zona de uso turístico y residencial. Engloba las áreas de descanso, acampada y zona de aparcamientos.
- Zona de uso agrícola- ganadero: destinada al pastoreo de ganado y a acoger pequeñas huertas del poblado minero.
- Zonas protegidas. abarca la parte central del afloramiento kárstico, donde se incluye el área de nidificación de la cigüeña negra, y una zona de regeneración botánica y faunística de una laguna temporal al norte de la finca.

Programa de uso público

Acciones urgentes. Estas medidas tienen por objeto subsanar aquellas deficiencias que no requieren un gasto excesivo, ni tampoco un tiempo prolongado para su implementación, y que contribuyen a mejorar el aprovechamiento público del espacio hasta que se ponga en marcha el Programa propiamente dicho. Entre ellas se encuentran: adecuación y mejora del itinerario actual; remoción, previo estudio de estabilidad por parte de personal cualificado, de los tres grandes bloques de caliza que obstruyen casi la totalidad de la salida del segundo túnel del itinerario; señalización del itinerario; colocación de un panel explicativo; adecuación de aparcamiento existente; señalización de los puntos peligrosos más próximos al itinerario; adecuación de los seis túneles que integran el itinerario actual; y completar el vallado perimetral de la finca.

Programación de actuaciones. Con el objeto de ordenar y clasificar las diferentes actuaciones que se van a llevar a cabo en el espacio en función de sus objetivos específicos, se procede a la elaboración de la Programación de actuaciones. La división de las mismas es arbitraria y muchas medidas deben entenderse como integrales o generales y no exclusivas de una categoría dada. La valoración económica aproximada de las inversiones necesarias y una priorización de las actuaciones se detalla en un anexo del estudio.

Se han dividido las actuaciones en tres grandes grupos:

- Actuaciones destinadas a la resolución de problemas relacionados con las infraestructuras: señalización del acceso al Cerro del Hierro en la carretera SE-163; gestión de los residuos (colocación de papeleras y contenedores); colocación de fuentes de agua potable en diversos puntos; depuración de aguas residuales; etc.
- Actuaciones relacionadas con las mejoras del entorno ambiental (ecológico y paisajístico): acondicionamiento de la charca ubicada más al norte mediante el aporte extra de agua para habilitarla a modo de "zona húmeda"; restauración botánica global de la finca; manejo de la cabaña ganadera; zonificación y establecimiento de carga ganadera; inventario de las comunidades de murciélagos; señalización de las zonas destinadas a la práctica de la escalada, acampada y la espeleología; limpieza y restauración de la escombrera próxima al poblado minero, etc.
- Actuaciones referidas a la mejora del uso público y el aprovechamiento ecodidáctico: realización de un estudio integral de seguridad de la finca para determinar aquellos sectores donde es preciso realizar

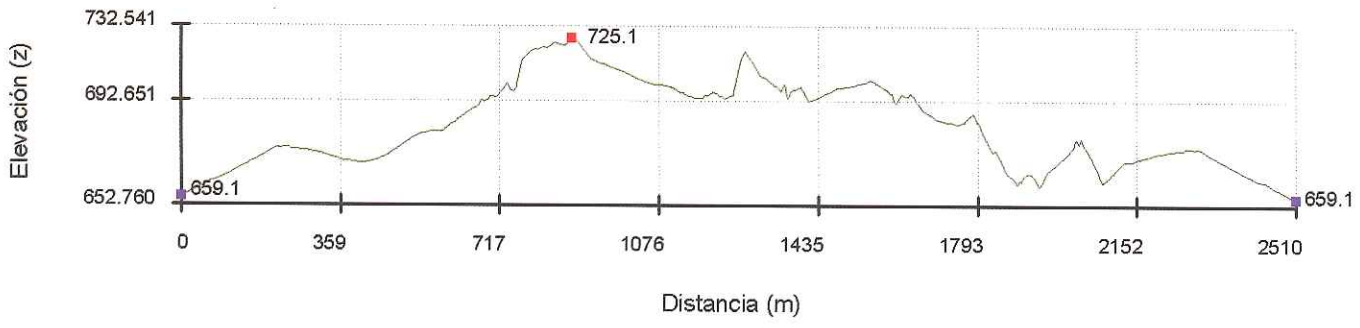


Figura 4.- Itinerario guiado.

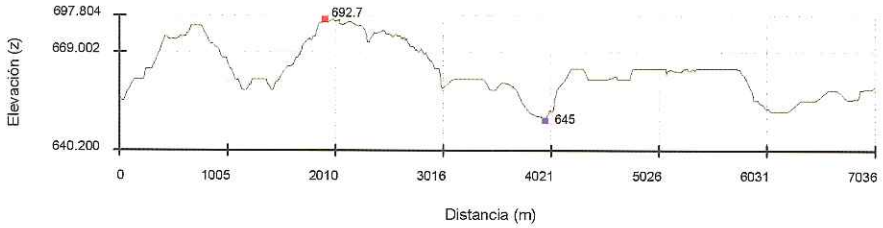


Figura 5.- Itinerario autoguiado Norte.

adecuaciones técnicas de cara a prevenir posibles accidentes de los usuarios del espacio; reconstrucción los dos puentes que forman parte del la vía verde que discurre por la antigua línea férrea que unía la mina de Cerro del Hierro con la línea Sevilla-Mérida; creación de un rocódromo natural donde los visitantes puedan iniciarse en la práctica de la escalada; creación de un museo minero; difusión del patrimonio geológico y minero; instalación de una caseta para la observación de aves en la zona de charcas, etc.

Ordenación del flujo de visitantes. Partiendo de la determinación de la Capacidad de carga del Cerro del Hierro, se realiza la ordenación del flujo de visitantes que tiene por finalidad evitar la sobrecarga de visitantes en determinados sectores, hecho que disminuiría la satisfacción del visitante por un lado, y afectaría negativamente a los recursos por otro. Los itinerarios propuestos, han sido jerarquizados en función de su longitud y dificultad de recorrido:

- Itinerario guiado. De 1 ¾ horas de duración, dificultad baja y 2.515 m de longitud aproximada. Es el primero que se recorrería pudiéndose apreciar en el mismo singulares formaciones y modelados kársticos, así como minerales y elementos de la flora y fauna característicos. El perfil topográfico es el representado en la **figura 4**.
- Itinerario autoguiado Norte. De 3 ½ horas de duración, dificultad baja y 7.039 m de longitud aproximada. Consiste en un recorrido autoguiado por los diferentes ecosistemas representados en el Cerro del Hierro (karst, bosque mediterráneo, charcas...). En este itinerario el visitante tiene la posibilidad de realizar cortas prolongaciones (ida y vuelta por el mismo lugar) para visualizar elementos de interés geológico, botánico, minero, etc. El perfil topográfico es el representado en la **figura 5**.
- Itinerario Vía Verde. Dificultad baja y 15 km de longitud. Discurre por la antigua vía férrea del tren, que unía el Cerro del Hierro con la línea de ferrocarril Sevilla-Mérida. Debido a su anchura y su relieve llano, es accesible para actividades de senderismo, cicloturismo y ecuestres. Este itinerario autoguiado, transcurre a través de diferentes ecosistemas, cruzando dos cauces de agua (Río Huéznar y Arroyo de Pozuelo).

Conclusiones

Las actuaciones que se recomiendan responden por un lado a la necesidad de evitar la pérdida o el deterioro de los recursos del Cerro del Hierro, y por otro lado, dar respuesta a la creciente demanda que existe del enclave por parte de diferentes colectivos. Dichas actuaciones son de dos tipos: las urgentes, que se deben llevar a cabo a la mayor brevedad, y son de carácter más general, y por otro lado, las enmarcadas dentro del Programa de actuaciones, que van dirigidas a conseguir un aprovechamiento del espacio con fines recreativos, didáctico-científicos y deportivos sostenibles en el tiempo, sin que los recursos naturales o histórico-mineros sufran deterioro o menoscabo de su valor. Se completa el estudio con una propuesta de ordenación del antiguo ramal ferroviario de 15 km de longitud, que unía la explotación minera de Cerro del Hierro con la línea ferroviaria Sevilla-Mérida.

Referencias bibliográficas

BAENA, R. & R. DIAZ DEL OLMO (1988). Paleokarst de Sierra Morena (Sector Cazalla-Constantina, Hespérico Meridional) superficies de corrección y poljes. En: Cuaternario y geomorfología 2, págs. 13-22.

BONA, A. (1994). Características Medio Ambientales del Cerro del Hierro. Posibilidades de aprovechamiento. Tesis del Master de Medio Ambiente. Universidad de Sevilla.

DELANNOY, J.J.; F. DIAZ DEL OLMO & A. PULIDO (1989). Paleokarst de Sierra Morena. En: Reunión Franco-Esgnole sur les karsts mediterranees d'Andalusie occidentale (Cordilleres Bétiques-Sierra Morena) 1-5 Mai 1989. págs 183-218.

DIAZ DEL OLMO, F.; R. BAENA & G. ÁLVAREZ (1994). Karst y Paleokarst de Sierra Morena (Sector Ossa-Morena, Hespérico Meridional). En: Espeleotemas, 4, págs 15-24.

PALACIO SUAREZ, J. (2000). Jornadas sobre el Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente.

PEREJON, A.; E. VENNIN; E. MORENO-EIRIS & J. J. ÁLVARO (1999). Cronología de los procesos kársticos en los montículos cámbricos del Cerro del Hierro (Zona de Ossa-Morena, Sevilla, SO de España). Boletín geológico y Minero. Vol. 110-6. págs 693-700. Madrid.

RIVAS, V; K, RIX, E. FRANCÉS, A. CENDRERO & D. BRUNSDEN. (1997). Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. Geomorphology, 18 (3-4): 169-182.

TAMAJON, R.; J.M. DELGADO; M. MORALES; A. ORTIZ; A. TORRECILLA & J.M. MUÑOZ (1996). Estudio Botánico de la Finca del Cerro del Hierro. Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Córdoba.

Nota

El presente trabajo ha sido realizado en el marco de la asistencia técnica "Estudio de Ordenación de Cerro del Hierro" encargada a la empresa ANALITER, S.L. por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Nº expediente 1961/2000/A/00).

Las Negras: Una víctima más de la anarquía desarrollista

Las Negras es un pequeño pueblo en la costa del Parque Natural Níjar-Cabo de Gata

Carlos León Gómez

Geólogo
Miembro de la ONG
Geólogos del Mundo

La pequeña localidad de Las Negras, situada en la costa del Parque Natural de Nijar-Cabo de Gata (Almería), puede servirnos de ejemplo, aunque sea a muy pequeña escala, de los desastrosos procesos de desarrollo que a lo largo y ancho del litoral español vienen sucediéndose sin solución de continuidad desde los años sesenta, que marcaron el inicio del desarrollismo turístico.

Cualquiera podría pensar que la experiencia de tanto desastre urbanístico, paisajístico y ecológico perpetrado en este país desde entonces, deberían haberse decantado unas enseñanzas que hubiesen servido de pautas de conducta para aquellas áreas que tuvieron la suerte de llegar tarde a estos procesos de expansión urbano-turística, como es el caso de esta región del sureste peninsular.

La realidad no ha sido así. La evidencia de haber asistido en tan pocos años a la destrucción de un riquísimo patrimonio (arquitectónico, urbano, paisajístico, ecológico e incluso arqueológico), irrecuperable en la gran mayoría de los casos, y el haber creado un potencial de riesgo enorme a nivel de impacto humano, por el diseño y ubicación de zonas urbanas en áreas expuestas a los efectos de los agentes de la geodinámica externa e interna (riadas, deslizamientos, erosión, seismos, etc), no ha servido de nada como bien se puede constatar en los proyectos de Ordenación del Territorio que desarrollan los Ayuntamientos. La calificación sistemática de áreas urbanizables en los cauces mayores e incluso menores (en muchos casos se ha invadido con rellenos estas áreas para aprovechar en principio para cultivos) de ríos, ramblas, arroyos y vaguadas, así como laderas inestables inmersas en procesos activos de deslizamientos o estructuradas paleodeslizamientos que pueden reactivarse fácilmente, es de una irresponsabilidad que no se puede entender, máxime cuando parece preceptivo la aprobación de dichos planes por los correspondientes ministerios de medio ambiente.

Las Negras es una pequeña gota de agua en el océano del caos urbanístico, pero es un ejemplo con cierto valor, por situarse dentro de un área declarada como Parque Natural Marítimo-Terrestre.

Quién conoció estos parajes en los años sesenta, podrá recordar un pequeño pueblo de pescadores y agricultores asentado en una maravillosa bahía dominada por la mole obscura del denominado Cerro Negro.

Lo que se puede contemplar en la actualidad es bastante distinto. Algunas cosas han cambiado para bien: hay agua en las casas, luz y buenos accesos. Otras lo han hecho en sentido contrario, lo que indica que el desarrollo se ha producido de una forma anárquica e improvisada que ha afectado muy seriamente al urbanismo, el paisaje y la ecología.

La transformación y ampliación de los espacios urbanos en el ámbito del Parque Natural ha adquirido una enorme aceleración en estos años con la aprobación del último Plan de Normas Subsidiarias de Níjar.

La carretera que lleva a Las Negras desemboca directamente en la playa

La carretera que lleva a Las Negras desemboca directamente en la playa. La que fue maravillosa playa de bolos y gravas de naturaleza volcánica, citada en los estudios geológicos desarrollados en el área en los años 60 y 70 como ejemplo de sedimentación litoral con morfología y petrología especial, es poco más que un recuerdo. Lo que podría haber constituido parte de un patrimonio geológico dentro del parque, se encuentra en la actualidad inmerso en un proceso de degradación muy avanzado a consecuencia de un fenómeno de erosión al que no se ve, de momento, solución de continuidad y sí un progresivo aumento. El origen de este proceso tiene su causa desencadenante en las extracciones masivas efectuadas en un pasado cercano sobre los áridos de dicha playa. Esta pérdida de masa rompió el equilibrio morfodinámico entre costa y mar a favor de la resaca de los temporales de levante; un equilibrio que pudo conseguirse a lo largo de miles e incluso millones de años. De no haberse impedido la continuación de aquellas extracciones, hoy el límite costero en Las Negras lo definirían las rocas del substrato geológico.

De alguna manera y aunque sea a pequeña escala, el expolio de los cantos volcánicos de la playa continua; es rara la persona que circule por ella que no se vea tentada a llevarse algunas de recuerdo y muy frecuentemente se cargan coches, mochilas, etc, con destinos variados: se cubren jardines, se pavimentan suelos, se exhiben en tiendas como objetos de decoración, etc.

Volviendo al entorno urbano conviene señalar aspectos como el funcionamiento de las infraestructuras de saneamiento. La basura que desborda los contenedores y se acumula en sus inmediaciones, así como todo tipo de objetos de deshechos urbanos, permanecen por días en lugares como la playa o en las proximidades del pueblo, creando un ambiente de suciedad y abandono tercermundista impropio de un país desarrollado. Pero más grave aún es ver el vertido por rebosamiento de las alcantarillas de las aguas fecales de la red de saneamiento que, al tener su cota más baja a nivel de playa, inunda de olores e insalubridad el entorno más emblemático del pueblo. Se trata sin duda de una infraestructura infradimensionada en su origen, a la que día tras día se le exige un mayor rendimiento dado el continuo desarrollo urbano. Ante tales circunstancias habrá que preguntarse cual será la situación cuando se haya completado la capacidad constructiva y habitacional prevista en el Plan General de Ordenación Urbana.

En la playa es donde se concentran la mayoría de los problemas que afectan al



Cantos rodados en la playa de Las Negras.

pueblo. Sorprende, por ejemplo, que se rellenen áreas de la misma con materiales arcillosos. El propósito es poder acceder a la misma con vehículos dado el escalón, provocado por la erosión mencionada con anterioridad, que lo impide. Lo llamativo del caso es que no se haya utilizado un material adecuado, es decir, gravas y arenas que podrían haberse obtenido en última instancia de las ramblas próximas o bien, como mal menor, modificando algunos volúmenes de la propia playa. Considero que este es un problema menor que los apuntados anteriormente, pero es un síntoma de dejación y abandono de los bienes públicos por parte de los organismos interesados, así como de la falta de criterios y sensibilidad de las personas que deciden estas actuaciones. Cuesta trabajo pensar que responsables de un ayuntamiento, de la Demarcación de Costas o la Conserjería de Medio Ambiente, hayan autorizado este tipo de vertido. Es difícil llegar más lejos en la improvisación chapuza que habría que adjudicar a las personas responsables de la defensa y conservación de un lugar que se pregona en los medios turísticos y culturales nacionales e internacionales como el parque natural de singular valor que es.

No son comprensibles estas cosas, pero se pueden entender cuando se amplía la visión a otros aspectos del entorno, como puede ser, por ejemplo, el desarrollo urbanístico, desprovisto en muchos casos de toda lógica cuando se han favorecido y primado emplazamientos en el fondo de una rambla, que siempre estarán expuestos a impactos catastróficos por arramblamientos, o zonas de auténtico valor ecológico y visual, en detrimento de otras áreas que no tienen en la actualidad otra utilidad que la de servir de asiento a una necesaria y lógica expansión urbana. O bien, permitir densidades excesivas en la construcción de viviendas en el área antigua del pueblo que han abocado al desastre circulatorio que padece.

Toda esta historia se engloba a su vez en un problema más amplio y generalizado de nuestras sociedades: el que surge de nuestro deseo por conseguir un nivel de vida mejor

Hablando de desastres circulatorios, es enormemente preocupante contemplar el que se establece en la playa entre bañistas y barcos; es un problema de no fácil solución dado que la única zona donde ha sido posible varar los barcos desde antiguo es, así mismo, uno de los dos sectores de la playa más idóneo para el baño, especialmente para niños; la protección que representan los escollos ("asperillas") situados a pocos metros de la orilla del mar y la poca profundidad de agua aquí existente justifican la preferencia por estos lugares, preferencia que se incrementa en la zona de barcos por quedar esta centrada junto al pueblo. El aumento constante de barcos y bañistas año tras año hace imprescindible una regularización de este tránsito o bien crear, en algún punto bien estudiado de la playa, una estructura de defensa para barcos similar a la que representan los escollos naturales, antes de que algún hecho irreparable tenga que despertar la sensibilidad general y ponga de manifiesto de forma violenta una circunstancia de peligro potencial tan evidente.

Toda esta historia se engloba a su vez en un problema más amplio y generalizado de nuestras sociedades: el que surge de nuestro deseo por conseguir un nivel de vida mejor.

Esta apetencia, que es lógica, no tiene sentido que queramos conseguirla de forma desordenada e improvisada si ello conduce a la paradójica situación de tener que convivir entre nuestras basuras y nuestros deshechos, asumir riesgos catastróficos y perder gran parte de los elementos y factores que en principio se consideran indicadores de haber logrado un nivel de vida mejor.

Quiero decir por último, que la defensa de la naturaleza es la defensa del hombre, el corazón del humanismo de nuestro tiempo y que no habrá futuro aquí ni en ningún otro sitio si no llegamos, de forma generalizada, a entender esto. Se también que los intereses egoístas que todos albergamos y la ignorancia prepotente oscurecen y enturbian la visión de estas cosas. Por ello, es importante que tengamos conciencia de la realidad y demandemos a quién ostenta el poder y la responsabilidad (todos tenemos alguna) una respuesta satisfactoria a los problemas apuntados.



Retirada de los cantos de la playa de Las Negras.

Helictitas en la región del Esla: Descubrimiento de un gran yacimiento

José Ángel Porres Benito

Geólogo. Profesor Titular del
Área de Ingeniería del Terreno
Universidad de Burgos
japorres@ubu.es

Hector Bernardo Gutierrez

Estudiante 4º curso Ingeniero
de Caminos, Canales y Puertos
Universidad de Burgos
Espeléologo
hector_bernardo@excite.com

Marius van Heiningen

Descubridor de la cueva
Espeleólogo y Licenciado en Geología
trekking@teleline.es

Sergio Ibáñez García

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Profesor Titular del
Área de Ingeniería del Terreno
Universidad de Burgos
sibanez@ubu.es

Las cavidades kársticas constituyen un recurso natural único por sus preciosas formaciones, por su fauna subterránea y por su valor arqueológico e hidrogeológico. Proporcionan, por tanto, un ambiente muy propicio para la investigación científica. Las formas más características presentes en el medio subterráneo son las estalactitas y estalagmitas y rara vez podemos contemplar una de las formaciones geológicas más bellas y fascinantes que se conocen: las helictitas o excéntricas. En una pequeña cavidad al noreste de León se ha identificado un valioso conjunto de estas extrañas concreciones. Su variedad, calidad y belleza se suman al misterio que existe en torno a su origen, confiriéndole un enigmático encanto.

Veintiuno de noviembre de 1996. Es el cuarto día consecutivo que subo esta empinada cuesta, llevando mi saco con martillo, pico y cortafrío. Solo que hoy además llevo mi equipo de espeleología, sé que esta vez sí, porque ayer…

Llego a una reducida boca-cueva, me adentro y después de unos 10 minutos me encuentro en el lugar de la gran esperanza.

Ya llevo tres días picando las paredes de una minúscula grieta vertical y solo el prometedor soplo de un frío viento me ha hecho insistir. Tengo algodones en los oídos porque los golpes del martillo sobre el cortafrío son ensordecedores. Otra vez intento introducirme en la grieta vertical, las paredes me aprietan en el pecho y la espalda, pero ahora sí. Salgo y coloco la cuerda para luego facilitarme la salida. Dejo de picar porque no la quiero hacer más grande de lo absolutamente necesario. La grieta es tan estrecha que realmente tengo que bajar a la fuerza, con cada exhalación logro descender unos centímetros, con cada inhalación me quedo como un ratón en su ratonera. Confieso que mis pensamientos eran opuestos entre la exploración de algo nunca pisado por nadie y la, sin duda, extremadamente ardua salida.

Pero pasé y tras unas cuantas dificultades, varios centenares de metros más allá lo encontré."

Es el relato del descubrimiento de la Sala de las Helictitas contado por Marius van Heiningen, su descubridor. Lo que encontró es un magnífico conjunto de espectaculares helictitas en una desconocida cueva en León. Por miedo a una posible deterioración de la cueva Mario ha guardado "su secreto" durante más de cinco años. Finalmente nos ha dado su permiso para la publicación de este artículo bajo la condición del más absoluto sello de secreto de la localización exacta de la cueva.

Situación

Que nadie piense que es éste un sistema kárstico de extraordinarias dimensiones,

tal como Ojo Guareña (Burgos), Hayal de Ponata (Burgos) o el Sistema Cuatro Valles (Cantabria). Se trata de una pequeña cueva con un desarrollo en planta que apenas alcanza los 400 metros y de la cual no existe topografía. Sin embargo se encuentra en un macizo calizo de considerable potencia y en las cercanías de un sistema de magnitudes mayores, con grandes posibilidades de enlazar con él. Pero a pesar de sus pequeñas dimensiones esta cavidad esconde un gran tesoro de incalculable valor geológico y gran belleza.

La cueva en cuestión se encuentra en la provincia de León, más concretamente en la zona noreste de la misma, cerca del término municipal de Cistierna. La configuración geológica de la zona es un macizo calizo situado al este de la Región del Esla-Valsurvio[1] de la Zona Cantábrica[2] en la cuál se levantan varias cumbres que rozan los 1.800 metros.

Evitamos mencionar el nombre local y su ubicación exacta en dispensa lógica hacia la protección y preservación de sus contenidos.

Antecedentes

Los terrenos calizos del entorno de León que son potencialmente karstificables se localizan en la Cordillera Cantábrica y los Picos de Europa.

El karst de los Picos de Europa se ve favorecido por la superposición de escamas cabalgantes (**figura 1**), formando paquetes de calizas de gran espesor, lo cual hace posible que se generen cavidades hasta 1.500 metros de profundidad.

Los relieves de la Cordillera Cantábrica están condicionados por la alternancia de litologías duras (calizas, areniscas, cuarcitas y conglomerados) y litologías blandas (pizarras y margas) generando una geomorfología de numerosos crestas y valles (Relieve Apalachiense).

Además, debido a que esta alternancia está complicada por una geometría de mantos y cabalgamientos, las rocas presentan una gran fracturación.

Como consecuencia las rocas karstificables de León presentan limitadas dimensiones, aunque bien fracturadas, que resulta en gran número de cuevas pequeñas y solo unas pocas cuevas grandes.



Figura 1.- Corte geológico a través de la región del Esla en la Zona Cantábrica. Tomado de Pérez-Estaún *et al.*, 1988.

Otra explicación del relativo reducido tamaño de las cavidades leonesas es la escasa presencia de una capa vegetal sobre las rocas. Dicha capa vegetal aumentaría muy considerablemente la capacidad corrosiva del agua, procedente de las lluvias, que se filtraría por ella.

Las cuevas más grandes de León (El Arenal, la Fontanilla y la Cueva de Valporquero) tienen una longitud cercana a los cuatro kilómetros.

Otro aspecto de las cuevas leonesas es su relativa escasa riqueza en bellas formaciones. Naturalmente la Cueva de Valporquero es una de las excepciones porque está considerada como una de las más bonitas de Europa.

Con respecto a la nueva cueva encontrada, es justo la excepcional riqueza en helictitas lo que da al hallazgo su enorme importancia.

Descripción de la cueva

La cueva a que hacemos referencia en este artículo tiene por entrada un pequeño agujero por el cual hay que arrastrarse para llegar a la primera sala, que permite estar en cuclillas. Se avanza por una única galería fósil cuyas paredes delatan la presencia de óxidos en su composición y adquieren un color pardusco. Cerca del final de esta galería hay una bifurcación que suele pasar desapercibida por lo angosto de sus dimensiones. Descendiendo por ella llegamos a una nueva red de galerías, esta vez no única, que a medida que transcurren los metros pierden su color pardusco y comienzan a adquirir un tono blanquecino que nos informa de la llegada a una zona aún activa de la cueva. Al final de estas galerías desembocamos a una gran colada arcillosa completamente saturada que rápidamente ensucia nuestro equipo. A los pies de esta colada hay una sala de unos 6 metros de altura con un pequeño lago en su interior. El explorador despistado o poco atento no levantará la vista al techo, seguramente entretenido con las curiosas formaciones que hay en el fondo del lago y no podrá apreciar el tesoro que sobre su cabeza comienza a insinuar la extraordinaria magnitud de la cueva. En el techo de esta sala, que se encuentra bajo las galerías fósiles del comienzo, crecen sin orden y en abundancia, las protagonistas indiscutibles de este artículo: las estalactitas excéntricas o helictitas.

A continuación se resumen en un esquema las formaciones calcáreas de mayor interés que pueden ser vistas en una cueva:

- *Las estalactitas y estalagmitas.* Las estalactitas cuelgan del techo y acaban en una punta. Las estalagmitas se encuentran por debajo de las estalactitas y crecen del suelo hacia arriba, acabando en una forma redondeada. Cuando las dos formaciones se juntan se forma una columna.
- *Las coladas*, que se empiezan a formar cuando desde un techo inclinado las gotas de agua se escurren hacia las paredes y se superponen finos mantos de calcita a modo de cascada petrificada; o cuando discurre un flujo de agua laminar.

- *Los gours*, precipitación de calcita en forma de diques de pequeño grosor que crean embalses de agua escalonados. La circulación de corrientes de agua sobre un fondo irregular crea turbulencias que liberan CO_2 y precipita calcio.
- *Las perlas de las cavernas* o pisolitos, depósitos de forma redondeada, superficie pulida y lisa, que se forman en fondos someros de cubetas por acumulación de calcita en torno a un núcleo que rota por el movimiento del goteo.
- *Calcita flotante*, que aparece cuando la superficie de una masa de agua estancada pierde CO_2 al aumentar la temperatura o la ventilación, provocando la concentración de minúsculos cristales de calcita en agregados laminares que se mantienen a flote.
- *El coral de las cuevas* o "popcorn", pequeños esféricos situados sobre techo, paredes y suelo. Pueden formarse tanto dentro como fuera del agua. La mayoría se forman en el aire libre.
- *Mond milch, Moonmilk o Leche de luna*. Es una suspensión o gel de calcita, hidrocalcita, hidromagnesita y huntita cuyo contenido de H_2O puede alcanzar el 96%. Tiene tacto suave y aspecto de limo blanco, viscoso y plástico similar a la leche, o simulando la forma de la coliflor. Su origen se presta a discusiones.
- *Discos de calcita*, consisten de dos placas paralelas ovaladas separadas por una pequeña distancia. El resultado es un disco hueco. Sobre su superficie se pueden distinguir líneas de crecimiento. Están relacionados con estrechas fracturas en la roca.
- *Welts*, formaciones que parecen cicatrices de calcita sobre las paredes y otras espeleotemas, especialmente columnas. Son similares a discos en tal modo que también crecen desde estrechas fisuras y que tienen una circulación interna de agua.
- *Las excéntricas* o estalactitas excéntricas, son depósitos con su eje desviado de la vertical durante alguna o todas las etapas de su crecimiento, de forma, posición y orientación anormales o irregulares. Su aspecto da apariencia de que hubiesen crecido bajo gravedad cero[4].

Dentro de las excéntricas, se distinguen dos clases de formaciones: Antoditas y Helictitas.

Las Antoditas, compuestas por cristales de aragonito (o yeso) con forma de finas agujas y aspecto de racimo o agregado plumoso. Cada uno de sus cristales tiene un capilar central. Crecen a partir de una fina lámina de agua que les recubre y se asocian a lugares con evaporación o corrientes de aire.

Las Helictitas suelen ser formaciones relativamente pequeñas y delgadas, exhibiendo hasta las formas más inimaginables. Muchas se giran y retuercen en cualquier dirección, otras se enroscan o son rectas. Algunas son tan finas que parecen hilos, mientras otras parecen gusanos, mariposas o ganchos. Solo la clasificación de Hill & Forti (1997) ya menciona 17 variedades, donde Jill Rowling (2000) añade varias más.

Una helictita típica tiene un pequeño canal interno que las traviesa en dirección longitudinal. El diámetro de este canal varía entre unos 0,01 y 0,5 mm, aunque lo más común es un diámetro de 0,2 a 0,35 mm.

A veces el canal central se bifurca, formando unos canales laterales llamados canalicules.

En una helictita la calcita es depositada al final del canal central, aunque pocas veces se forma una gota de agua.

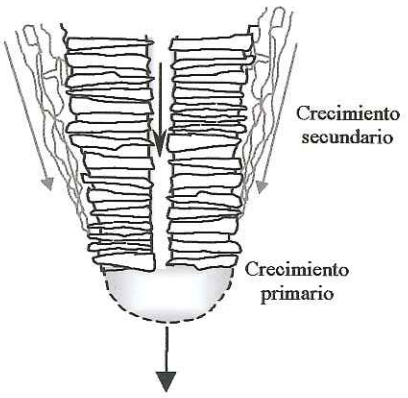


Figura 2.- Formación de estalactitas por precipitación de cristales radiales alrededor del canal central (crecimiento primario) y su engrosamiento posterior por agua que desliza en su superficie (crec. secundario).

Durante muchos años se ha utilizado la relación peso- longitud de una concreción para poder determinar su edad, pero actualmente sabemos que su crecimiento depende de tantos factores que resulta imposible utilizar esa proporcionalidad tamaño-tiempo. Se ha venido estimando que la velocidad de crecimiento de una estalactita en un karst calcáreo es de 0,5 a 2 mm cada 100 años[5], pero un trabajo reciente de D. Genty[6] (Chemical Geology, 176 [2001], 191-212) señaló como principal factor de crecimiento la concentración del ion calcio en la gota de agua y en menor medida la velocidad de goteo. La concentración de Ca^{2+} en el agua depende de la producción de CO_2 del suelo vegetal superficial, que a su vez depende de la temperatura y de la humedad que tenga el suelo, lo que indica que cada zona tiene su propia tasa de crecimiento en función de la hidrología de la zona y el clima, con las consiguientes variaciones estacionales. Genty realizó mediciones sobre la velocidad de crecimiento de estalagmitas en seis cuevas de Europa y obtuvo valores de entre 0,2 y 1 mm/año.

Importancia de la cueva

Como hemos visto, las excéntricas son consideradas un tipo de estalactitas, si bien se incluyen en esta familia tan sólo porque su forma, más o menos tubular, recuerda a la de aquellas. Sin embargo su origen es bastante distinto y son infinitamente menos comunes, prácticamente en todas las cuevas de origen calizo se pueden encontrar estalactitas y alguna que otra excéntrica, muy pequeñas eso si, pero tan sólo en unas pocas se encuentran excéntricas del tamaño y la calidad de las presentadas en este artículo.

La teoría más aceptada para la formación de estalactitas convencionales es la de la gota de agua sometida a presión que circula por un conducto y mantiene disuelto carbonato (Ca^{2+}) y gas carbónico (CO_2). Cuando la gota de agua sale del conducto a la atmósfera pierde presión, equilibrándose con la atmosférica, entonces el CO_2 sale de la disolución y el calcio precipita. Esto da lugar a formas tubulares que por

gravedad descienden del techo en forma cilíndrica con un conducto en su interior por el que siguen discurriendo las nuevas gotas (**figura 2**).

A continuación describimos las ideas más modernos acerca de la formación de las helictitas.

Teoría de la génesis de helictitas

Generalmente las helictitas se forman en galerías y salas ya abandonadas por el agua freática. Como en las estalactitas la formación es debida a la precipitación de calcita como consecuencia de la perdida del gas carbónico de la disolución. Mucho más raras son helictitas subacuáticas, que se puede formar en aguas estancadas (Davis, Palmer & Palmer, 1991).

Muchos son los factores que pueden contribuir a formar una helictita, entre ellos el diámetro del canal central, los canalicules, cantidad del flujo de agua por los canales internos y sus variaciones, la forma de los cristales, las contaminaciones, el viento y actividad bacteriana.

Mención aparte merece la fuerza de la gravedad porque a menudo las helictitas son descritas como desafiando su ley, sin embargo existen variedades que claramente demuestran su papel (Rowling, 2000).

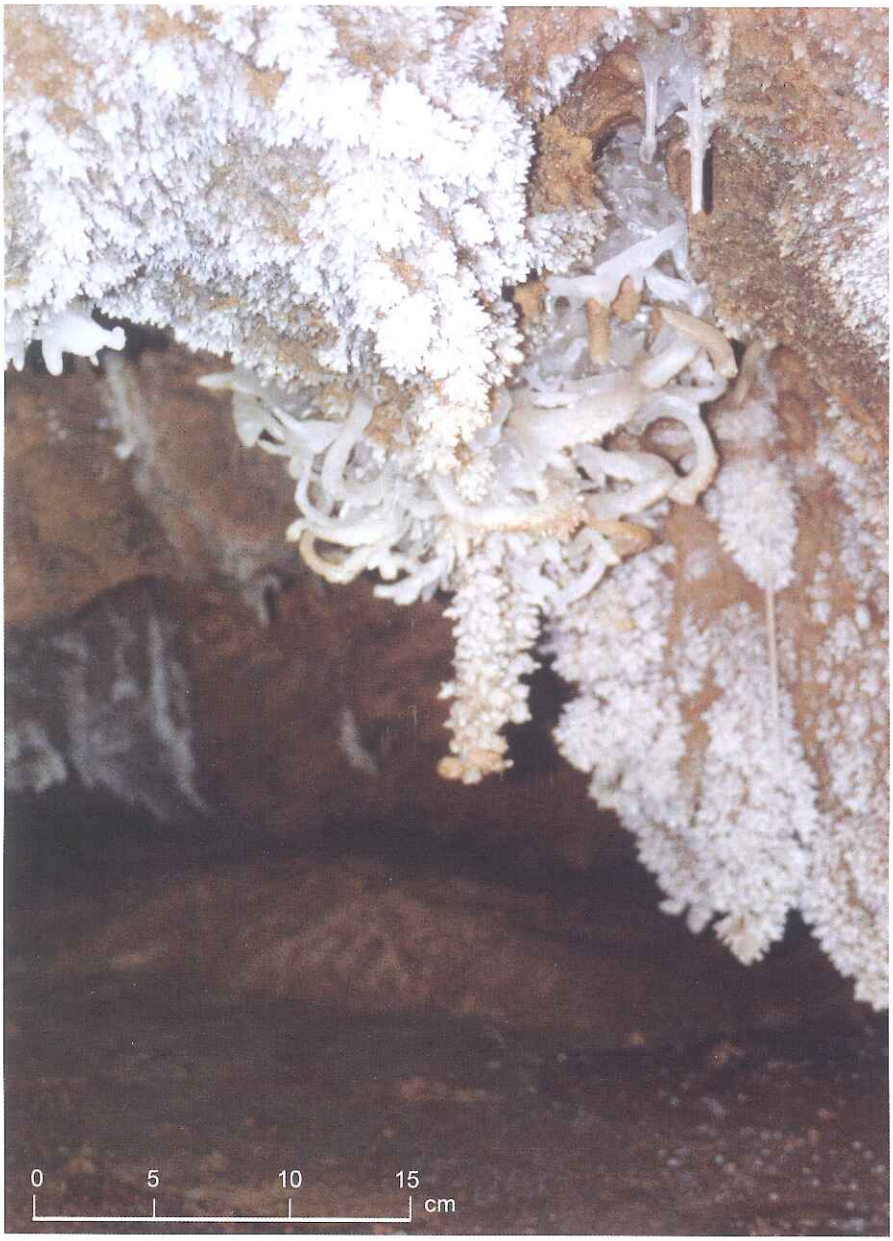


Figura 3.- Extraña formación de helictitas que giran sobre sí mismas dentro de un plano horizontal.

Argumento fundamental para poder explicar formación de una helictita en lugar de una estalactita espagetti es la diferencia en diámetro del canal central que poseen ambas. En una estalactita la presión hidrostática "empuja" el agua por su tubo central y "echa fuera" al agua en forma de gota. Como ya se ha explicado, esto resulta en una formación vertical.

El canal interno de una helictita es tan estrecho que las fuerzas capilares disminuyen en tal medida la influencia de la presión hidrostática que no se forma una gota. A igual que en una estalactita la precipitación de calcita ocurre al final del canal interno por razones de pérdida de gas carbónico y consecuente supersaturación. La gran diferencia existe en que esta manera de precipitación no está dominada por la gravedad (no hay orientación de una gota hacia abajo) y la helictita puede crecer en una dirección cualquiera.

La forma revirada probablemente tiene que ver con la forma especial, de cuña o cono, que toman los cristales de calcita en las helictitas. Estos no caben perfectos el uno en el otro, lo que resulta en una pequeña dislocación del cristal, la repetición de este efecto puede formar una helictita curvada. También las contaminaciones pueden provocar imperfecciones en la cristalización, con el mismo efecto.

Existen helictitas que están torcidas todas en la misma dirección (Windcave), generalmente es aceptado que aquí el viento es el factor determinante en la desviación, especialmente porque estas se encuentran en galerías con fuertes corrientes de aire.

Con la ayuda del microscopio electrónico SEM, está demostrado el papel importante de la actividad bacteriana en la formación de algunas estalactitas (Le Métayer-Levrel y otros, 1997) y mondmilch (Originalarbeiten, 1990). También la formación de una variedad de helictita, la que tiene forma de cinta (ribbon helictite), está influenciada por bacterias (Rowling, 1998). Sin embargo, en los demás variedades de helictitas esta influencia todavía no está demostrada y poco podemos opinar de su posible importancia.

Volvemos nuestra atención a los canales internos y los procesos que actúan en su interior.



Figura 4.- Estalactita vertical común de la que sobresalen excéntricas horizontales a modo de ramillete.

El flujo de agua en el canal central depende directamente de su diámetro y de la presión hidrostática. Dentro del tubo es posible que en tiempos de sequía la presión hidrostática disminuya tanto que el flujo interno se detiene.

En este caso el final del conducto a veces se obstruye y cuando se renueve el flujo puede que se abra otro poro, lo que explica la existencia de helictitas bifurcadas. Sin embargo hay variedades de helictitas (forma de sierra y forma de mariposa) donde aparte del canal central hay varios canales secundarios activos (canalicules). Aquí los taponamientos no están tan claros porque el canal principal sigue una línea recta, lo que significa que tras cada reanudación el flujo sigue su dirección original aparte de haber abierto una apertura secundaria. La verdad es que los mecanismos de apertura de canales secundarios son todavía poco conocidos.

Estas mismas variedades de helictitas también muestran otro aspecto importante; la alineación de precipitación en un plano vertical. Está claro el papel de la gravedad y probablemente refleja un diámetro de canales relativamente mayor. Un mayor flujo de agua también significa más calcita para precipitar, por lo que parece lógico que son las helictitas más grandes las que poseen los mayores diámetros. Efectivamente son las formaciones más grandes las que más influencia de gravedad muestran.

Kempe menciona que los canales capilares de las helictitas investigadas en Alemania muestran una constante serie de variaciones en diámetro. Un diámetro más pequeño es interpretado como un taponamiento parcial causado por diminución en flujo de agua, lo cual indica influencia de temporada. Contando estas variaciones han calculado un crecimiento de 2 a 4 centímetros por 1.000 años, coincidiendo con los hechos que en Alemania la formación de helictitas ha comenzado hace unos 10.000 años (Post Glacial) y que las más largas tiene unos 20 cm. (Höhlen in Deutschland, 1982). Por comparición, el crecimiento de estalactitas espagettis es del orden de 10 a 40 cm por 1.000 años o incluso más.

En resumen; podemos decir que la formación de estalactitas espagettis y de las diferentes variedades de helictitas depende principalmente del diámetro del canal interno. ¿Pero que determina este diámetro? Pues, si nos damos cuenta de que el conducto interno de la estalactita o helictita no es otra cosa que la prolongación del agujero en la roca de donde proviene su agua, la respuesta más aceptable es: el tamaño de estas aberturas.

Naturalmente siempre tiene sus matices, por ejemplo se puede imaginar que el flujo de una apertura de 0,3 mm (dentro de los limites de las helictitas) podría formar gotas, resultando en una espagetti, si la presión hidrostática fuese lo suficientemente grande.

Descripción de las formaciones

A continuación describiremos una selección de instantáneas tomadas en la cueva y que ilustran tan sólo una pequeña parte de las maravillas que contiene.

La **figura 3** muestra por si sola un majestuoso conjunto de helictitas reviradas que además coincide con la primera formación que encontramos en la cueva. Podemos observar la magnitud de lo anteriormente comentado. Esta increíble formación es extraña se mire como se mire. La posición natural de la foto es la mostrada. Se puede contemplar una estalactita principal en el centro de la imagen, forrada por el coral de las cuevas. Sin embargo fijándonos en la parte superior, en la base de la estalactita se pueden ver infinidad de excéntricas que, a modo de hojas de planta, rodean y cubren la formación primitiva. Su forma como ya se ha comentado no obedece a ningún patrón gravitatorio



Figura 5.- Conjunto de helictitas en crecimiento, algunas superan los 25 cm de lontitud.

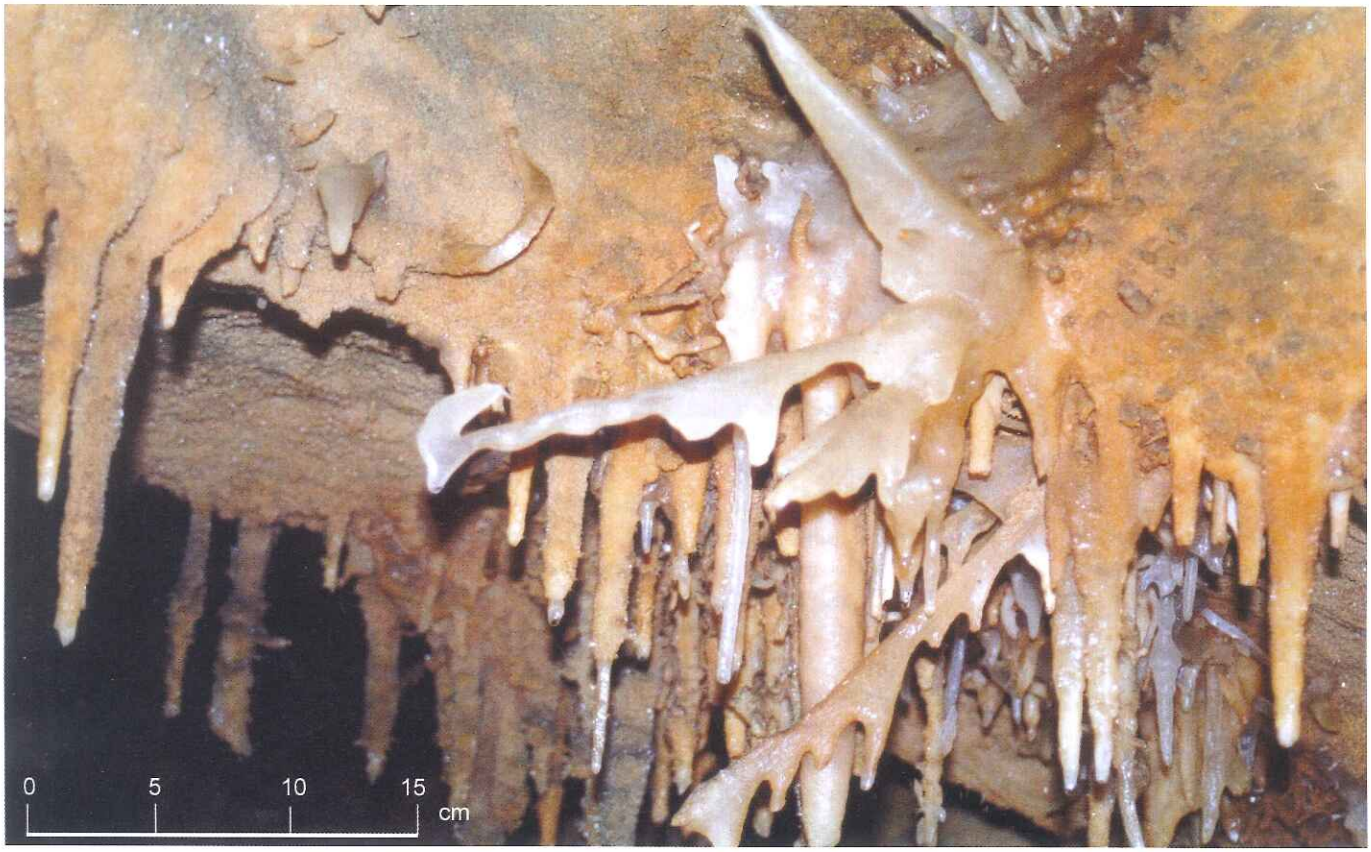


Figura 6.- Espectacular foto mostrando la coexistencia de helictitas y estalactitas.

puesto que en ocasiones suben y en ocasiones bajan e incluso algunas crecen en posición absolutamente horizontal sin cambio en su cota. El tamaño de toda la formación es de 21 centímetros de anchura en la base y un diámetro medio de excéntricas de 1,6 centímetros. La estalactita central tiene un diámetro de 4 centímetros.

Se puede observar que comienza a aparecer el llamado "musgo de las cavernas" como un fino tapizado de las paredes y que no es otra cosa que precipitación de calcita de gran pureza, de ahí su color blanco.

La figura 4 presenta de nuevo una increíble imagen sin ningún tipo de manipulación. La cornisa fotografiada tiene un doble interés. En primer lugar las excéntricas que la cubren por su parte superior. No son excesivamente grandes pero se puede ver que su número es enorme y que crecen con inclinación hacia el techo de la cueva, una prueba más de que la gravedad poco tiene que ver con ellas. La longitud media es de 5,2 centímetros mientras que su diámetro no pasará de 0,6 centímetros en la mayoría.

En la parte inferior se observa una estalactita normal y corriente, si no fuese por las excéntricas que en forma de ramas parten de ella. Esto suele ocurrir cuando una estalactita se obstruye (temporalmente) y la presión hidrostática fuerza al agua para salir por poros diminutos existentes en la estalactita. El diámetro de la estalactita mayor es de 4,4 centímetros y la longitud de las excéntricas que sobresalen de ella tienen 4,7 centímetros.

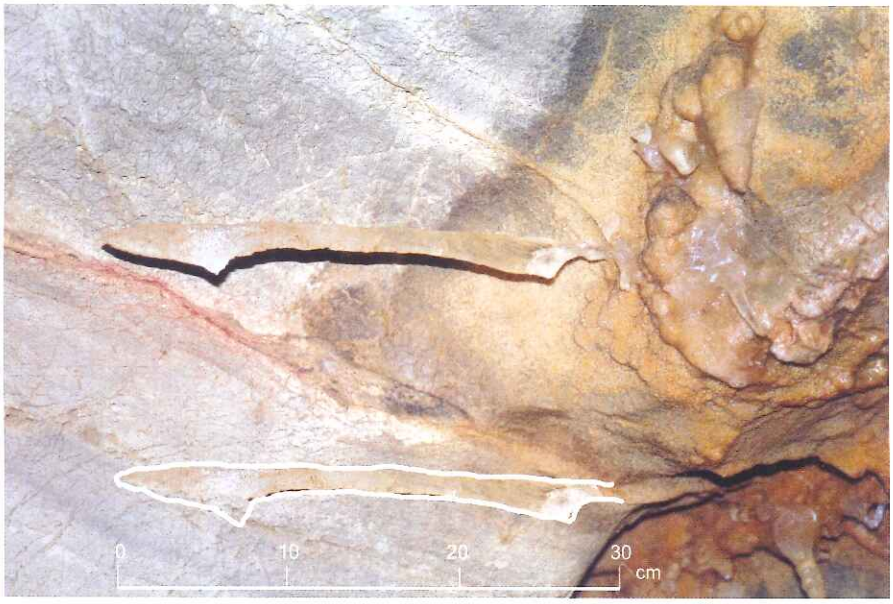


Figura 7.- Impresionante helictita de 33 cm de longitud y forma de cuchillo, perfectamente horizontal y unida a la roca por un minúsculo pie de apenas 1 cm.

Una muestra del increíble tamaño que pueden alcanzar las excéntricas de esta cueva se aprecia perfectamente en la **figura 5**. Al fondo se pueden observar las estalactitas normales que hay en toda cueva, pero en primer plano y junto a la mano de nuestro espeleólogo se observa la fascinante excéntrica que, con un diámetro de 1,8 cm, sobresale 25,8 cm de la pared que la sostiene. La esbeltez de la formación es impresionante y resulta difícil comprender lo que hace que no se derrumbe semejante ménsula. El brillo y el color blanquecino delatan que esta excéntrica aún está en pleno crecimiento y seguirá alargándose en direcciones imprevisibles.

La **figura 6** es otra muestra de lo fascinante que son estas excéntricas. Junto a las estalactitas, ya marrones por el óxido y las impurezas, se levantan arrogantes tres excéntricas de tamaño considerable. La más espectacular del trío incluso quiere volver al lugar de donde partió y describe en su punta una curva de 180º mientras que de su cuerpo crecen nuevas estalactitas como queriendo colgar de tan fantástica base.

La que ocupa una posición más baja del trío es de variedad "sierra", como ya se ha mencionado la masa se encuentra en un plano vertical indicando un cierto papel de la gravedad. Cada diente tiene por dentro un canalicul (canal lateral).

La situada en la parte superior es un cono que no crece vertical sino inclinado y apuntando al techo. Para el espectador aplicado quedan las pequeñas excéntricas que se pueden observar en el resto de la fotografía y que si bien no son tan espectaculares, tampoco son menos bellas.

En la **figura 7** se observa una imagen que, a pesar de no estar muy clara, hemos decidido incluir por ser la más espectacular de todas las existentes en la cueva. La excéntrica de la figura crece en posición absolutamente horizontal (de lo que da fe la estalactita circular que se observa en la parte inferior derecha de la imagen). Hemos dibujado su silueta junto a la escala para que sirva de aclaración. Su tamaño es descomunal, 33 centímetros de longitud con una base que le une a la pared de apenas un centímetro de diámetro. El momento flector en dicha base debe de ser enorme y resulta increíble ver cómo semejante estructura se mantiene en esa posición tan poco natural. Esos treinta centímetros de calcita tienen forma de cuchillo, siendo plana y no cilíndrica. Su color pardusco señala que no está en crecimiento y que probablemente tan sólo adquiera el color marrón que se observa en las paredes del fondo. Como ya se ha dicho, es ésta la más espectacular de todas, en buena parte

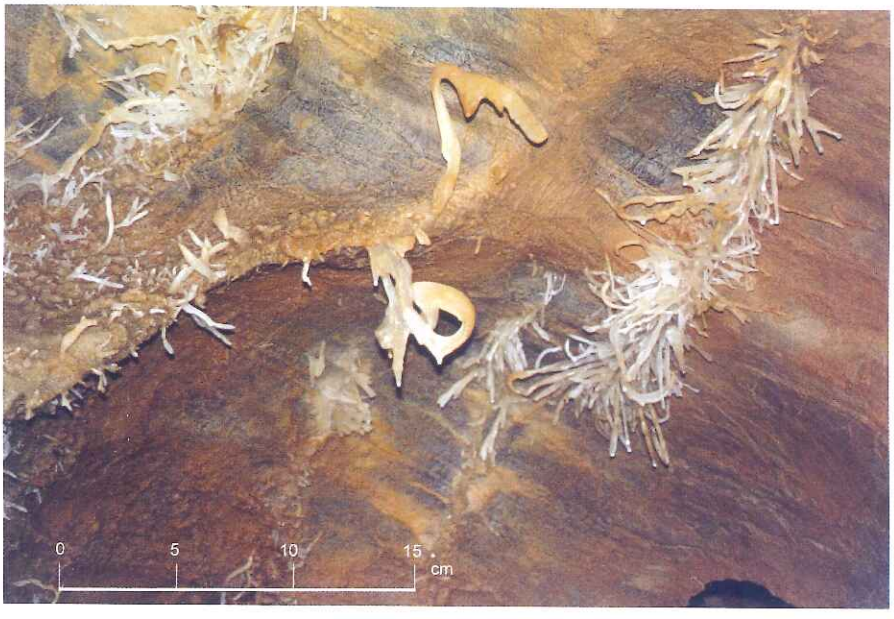


Figura 9.- Espléndida formación de helictitas partiendo de las diaclasas del techo de la cueva.



Figura 8.- Colada de gran belleza.

por su tamaño, que no es alcanzado por ninguna otra en toda la cueva. Su contemplación bien puede llevarnos diez minutos sin que nos demos cuenta del paso del tiempo observando una estructura que probablemente no volvamos a ver en ninguna otra parte.

Para los enamorados de las cuevas incluimos en la **figura 8** una fantástica colada que indudablemente recuerda a las que hay en otras cuevas como la de Valporquero. Obviamente su tamaño es mucho menor pero su belleza es indiscutible. Una prueba más de que el tamaño de la cueva no es un factor del cual dependa lo que en ella vayamos a encontrar.

Todas estas excéntricas se encuentran sobre el lago arriba mencionado. La **figura 9** muestra como una grieta casi invisible, ha sido cubierta por infinidad de excéntricas. A la izquierda observamos dos helictitas de un tamaño considerable que salen de un *welt*. Un *welt* es una formación que crece de una fisura estrecha con una circulación interna de agua bajo presión hidrostática. Como es el caso de las estalactitas y los discos, también los *welts* tienen poros por donde salen helictitas. Este es el caso en que las helictitas no salen del techo sino de un *welt*.

Además se pueden observar en segundo plano unas excéntricas de menor tamaño de forma mucho más espectacular, en las cuales no se puede

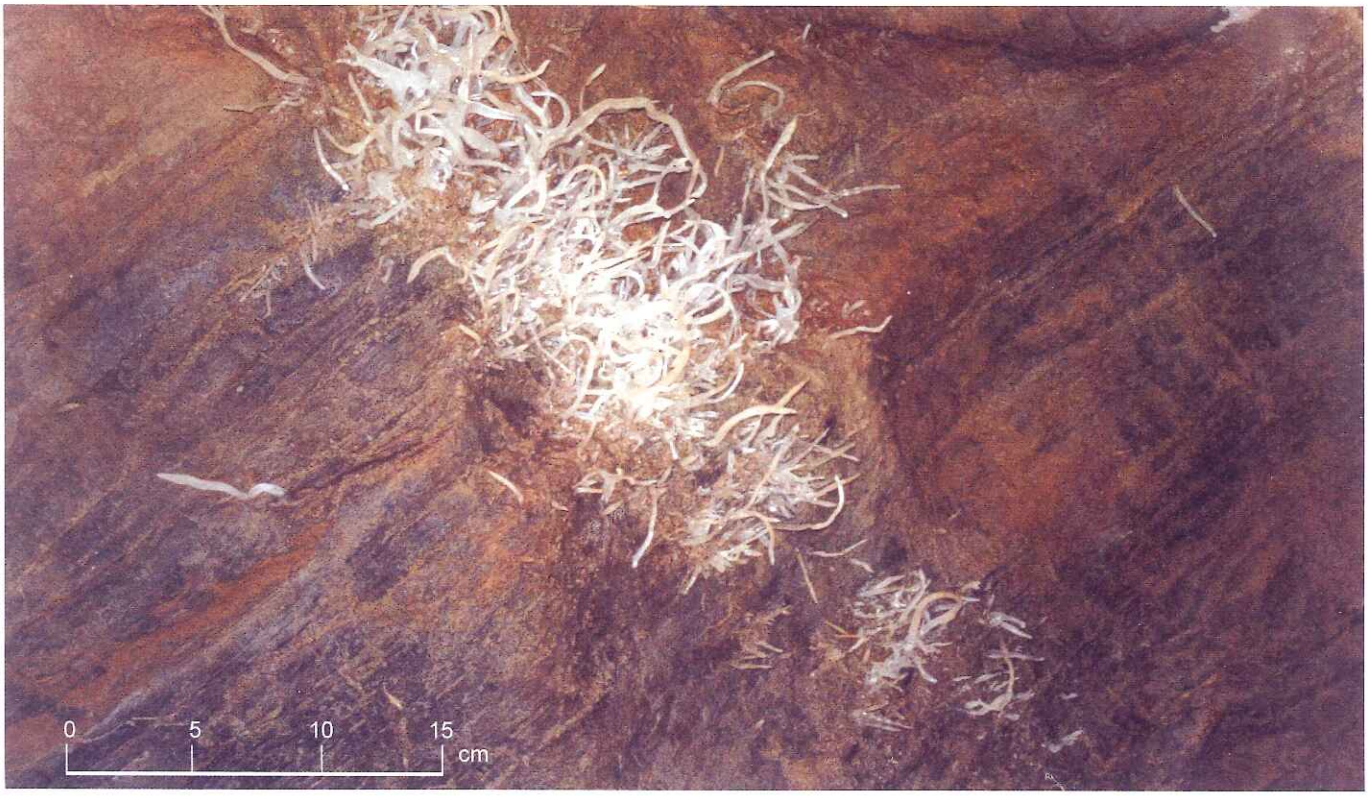


Figura 10.- Helictitas color blanco puro colgando del techo de la caverna del lago.

distinguir ni el principio ni el final, tan sólo se puede ver el cuerpo describiendo una fantástica curva de 180º grados para regresar al lugar donde partieron y dando lugar a una forma de asa de jarra. Es curioso porque si bien sólo un par de ellas lo consigue, la gran mayoría tiene esa tendencia a curvarse hacia atrás volviendo al lugar de partida.

La **figura 10** nos muestra un conjunto de helictitas dominado por dos direcciones principales. La primera línea es una zona de helictitas que va de la izquierda arriba hacia la derecha abajo, es la más pronunciada. Miramos más detalladamente y observamos pequeñas zonas paralelas a las bandas ocres que van desde la derecha arriba hacia la izquierda abajo.

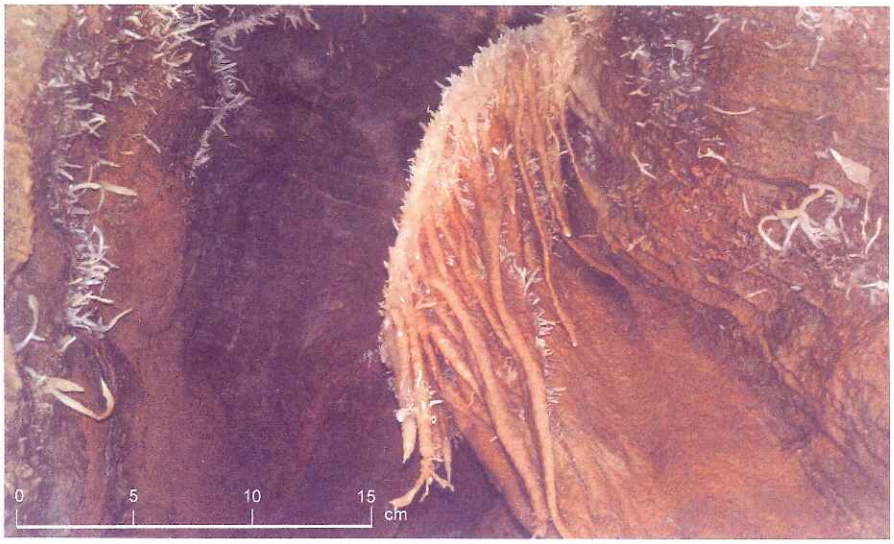


Figura 11.- Disco semicircular unido a la pared y forrado de nervios y excéntricas.

La primera lineación se debe a una fisura y la segunda a las juntas de los estratos de la roca, la combinación de ambos resulta en una zona débil con una mayor aportación de agua a la cueva. El resto de la roca está muy compacto y además recristalizada.

En la **figura 11** observamos un espeleotema relativamente raro: un disco de calcita con helictitas sobre su capa superior y cortinas y algunas estalactitas sobre su capa inferior. Un disco consiste de dos placas paralelas ovaladas separadas por una pequeña distancia. Puede crecer bajo cualquier ángulo con el techo o las paredes y originan de fisuras estrechas. Por dentro contiene agua bajo presión hidrostática lo que explica la presencia de helictitas. También en esta foto se puede observar que de la estalactita que cuelga del disco salen helictitas. Las rocas a ambos lados del disco parecen compactas y lucen numerosas helictitas diseminadas.

Ya por último, se incluye en la **figura 12** una fotografía de gran belleza y que ilustra de un modo perfecto la calcita que se deposita sobre el techo y las paredes formando el llamado

"musgo de las cavernas". Su color blanco normalmente impresiona las películas de las cámaras al reflejarse la luz del flash y apenas puede verse nada, tan sólo un resplandor. En esta ocasión la suerte ha acompañado al fotógrafo y el musgo aparece en toda su magnitud para deleitarnos con tan sutil belleza.

Tan sólo se ha mostrado una pequeña parte del contenido de la cueva. No obstante, hemos intentado resumir en unas pocas imágenes toda la espectacularidad y rareza que se oculta en esa pequeña cavidad aislada del mundo.

Conclusiones

El conjunto de formaciones en la cueva descrita es único en la provincia de León y presenta un valioso tesoro para la investigación científica que necesariamente ha de ser conservado. Un primer estudio de la génesis de las helictitas en la cueva indica una formación según las teorías más actuales, donde la capilaridad juega el papel determinante. Damos un resumen de estos datos:

1) Helictitas que salen de roca aparentemente maciza. Indica que las aperturas por donde entra el agua en la cueva son diminutas (**figura 10**).
2) Las fisuras de donde crecen las helictitas apenas son visibles. Indica lo mismo que lo mencionado en el apartado anterior (**figura 9**, parte derecha).
3) La presencia de helictitas sobre estalactitas. Cuando el tubo central de una estalactita se obstruye (hecho frecuentemente observado) la presión hidrostática causa que el agua salga hacia fuera por los poros pequeños presentes en la estalactita. A partir de aquí se puede aplicar la teoría general de fuerzas capilares (**figura 4**).
4) La presencia de un disco de calcita con helictitas. Como muchas helictitas, un disco crece alrededor de una fisura estrecha y su formación también está relacionado con fuerzas capilares y hidrostáticas.
   La presencia de helictitas por encima del disco explica que parte del agua, como en las estalactitas, sale por poros pequeños en la capa (**figura 11**).
5) La presencia de un *welt* con helictitas. La formación de un *welt* y un disco es muy similar, así que podemos sacar las mismas conclusiones que las ya mencionadas anteriormente (**figura 9**, parte izquierda).
6) La presencia de coral de las cuevas en conjunto con helictitas. Una de las posibles maneras de formación de corales es que el agua entra en la cueva por diminutos agujeros (**figura 3**).

Como lo explicado en la teoría general de génesis de helictitas, lo fundamental para su formación es la presencia de agujeros pequeñísimos. Todas las observaciones indican estas minúsculas aberturas y fisuras en la roca (que aunque visualmente parece muy compacta) del techo y las paredes de la cueva.

La cueva también representa gran cantidad de las variedades conocidas de helictitas. El estudio de su localización exacta, su espaciado por la cueva, su relación con otros espeleotemas y con la entrada del agua en la cueva, puede aportar datos importantes sobre la formación de ciertas variedades en concreto.

Otro aspecto importante es la coexistencia de varias espeleotemas (discos, *welts*, corales y helctitas) cuya formación está relacionada con capilares.

¿Que determina que crezca de una fisura un disco, un *welt* o un conjunto de helictitas? ¿Porque salen helictitas y corales juntos? Estas preguntas probablemente tienen que ver con el tamaño

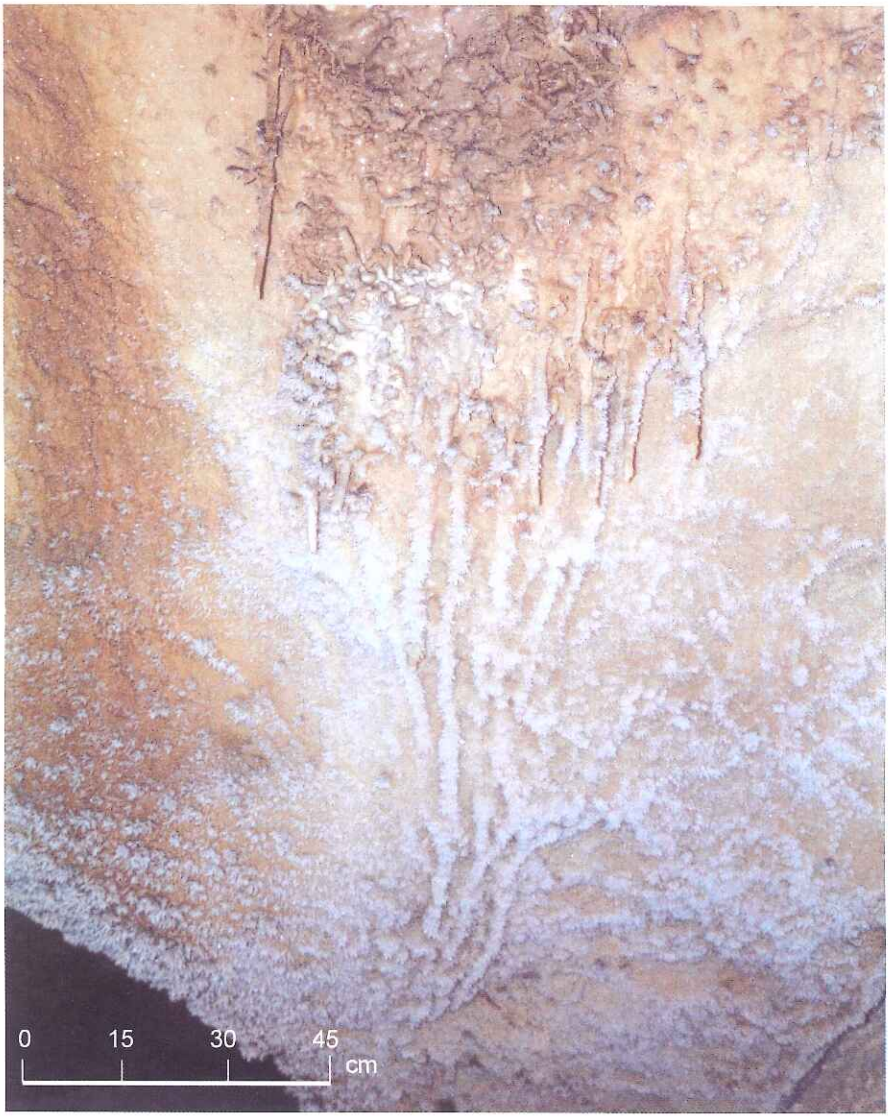


Figura 12.- Musgo de las cavernas tapizando techo y paredes color blanco.

y el espaciado de las aberturas y fisuras y con la aportación de agua, aunque también el contenido de Ca^{2+} puede que juegue su papel.

Muchos más estudios son necesarios para aclarar todas estas preguntas y esta cueva ofrece la posibilidad de realizarlos.

Llegado este punto agradeceríamos al lector interesado en la práctica de la espeleología el respeto al medio. Todas las fotos obtenidas para este artículo han sido tomadas con el mínimo de impacto para la cueva, en ningún momento se han tocado las formaciones y no se ha sacado ninguna muestra de las mismas. Puesto que la parte primera de la cavidad es una sucia galería llena de arcilla se procedió a cambiarse de equipo y de ropa antes de penetrar en la sala principal donde se encuentran las excéntricas con el propósito de ensuciar lo mínimo posible el suelo de calcita.

Referencias bibliográficas

Abdouin, J., Brousse, R., Lehman, J-P. (1981): *Tratado de Geología*. Tomo 1 Petrología. Editorial Omega, S.A. Barcelona. Págs. 259-260.

Davis, D.G.,Palmer, M.V. & Palmer, A.N. (1991): Extraordinary subaqueous speleothems in Lechuguilla Cave, New Mexico. National Speleological Society Bulletin 52: 70-86.

Dematteis, G. (1975): *Manual de espeleología*. Editorial Labor, S.A. (NCL), Barcelona.

Genty, D., Baker, A., Vokal, B. (2001): Intra- and inter-annual growth rate of modern stalagmites. Chemical Geology. Volume 176, págs. 191-212.

Hill, C.A., and Forti, P. (1997): Cave Minerals of the world. National Speleological Society, Huntsville. 2nd De.

I.T.G.E. (1991): *Atlas de Riesgos Naturales de Castilla y León*. Madrid.

Kempe,S. (1982): Höhlen in Deutschland.

Le Métayer-Levrel, G., Castanier, S., Loubière, J-F., Perthuisot, J-P. (1997): Bacterial carbonatogenesis in caves. SEM study of an helictite from Clamouse, Hérault, France. Comptes Rendus de l´Acaémie des Sciences –Series IIA– Earth and Planetary Science, Volume 325, Issue 3. Págs. 179-184.

Lotze, F. (1969): El Cámbrico en España. Tomo I. Estratigrafía. Mem. Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.

Originalarbeiten (1990): Untersuchungen an der Mondmilch aus dem Mondmilchloch (Pilatus) und Modell der Mondmilch-Genese.

SIEMCAL, S.A. –Ed- (1997): Mapa Geológico de Castilla y León Escala 1:400.000. Junta de Castilla y León. Valladolid.

Pérez Estaún, A., Bastida, F., Alonso, J.L., Marquínez, J., Aller, J., Álvarez Marrón, L., Marcos, A., Pulgar, J.A. (1988): A thin-skinned tectonics model for a arcuate fold and thrust belt: the Catabrian Zone (Variscan Ibero Armonican Arc). Tectonics, 7 (3): 517-537.

Rowling, J. (1999): Ribbon helicties: a new category. Helictite – (Journal of Australasian Speleological Research). 36(1). Págs. 3-10.

Rowling, J (2000): Cataloguing Helictites and other capillary-controlled speleothems. Internet.

Fotografía

Todas las fotografías que aparecen en este artículo han sido tomadas por Héctor Bernardo.

Notas

[1]Según la división tomada del Mapa Geológico y Minero de Castilla y León Escala 1:400.000. SIEMCAL, S.A. (1997) Valladolid.

[2]División según Lotze, F. (1969). El Cámbrico en España. Tomo I. Estratigrafía. Mem. Inst. Geol. y Minero de España

[3]Atlas del medio natural de la provincia de León, Instituto Tecnológico Geominero de España, página 16.

[4]Las estalactitas normales, con orientación vertical en sentido gravitatorio, se denominan egocéntricas y las estalactitas no orientadas con la gravedad, se llaman excéntricas.

[5]Abouin, J. et al. (1981). Págs.260.

[6]Dominique Genty, del Laboratorio de Hidrología y geoquímica Isotópica, CNRS, Universidad de Paris-Sud, Francia.

BOSCH & VENTAYOL
GEO SERVEIS

Sondeos Geotécnicos. Sondeos en Suelos Contaminados. Ingeniería Geológica. Geología del Medio Ambiente. Piezoconos. Ensayo CPTU. Piezómetros. Reconocimientos Geológicos.

BOSCH & VENTAYOL GEO SERVEIS
C/ Rocafort 261, ático 2º-08029 Barcelona
Tel.: 93 778 08 16 Fax: 93 439 25 90
e-mail: aventayol@readysoft.es

Caracterización mineralógica y evaluación medioambiental del material particulado en la atmósfera de Oviedo

Irene Rodríguez Marcos

Geóloga
Dpto. Geología
Área de Cristalografía y Mineralogía
Facultad de Geología
Universidad de Oviedo

Celia Marcos Pascual

Dra. en Ciencias Geológicas
Dpto. Geología
Área de Cristalografía y Mineralogía
Facultad de Geología
Universidad de Oviedo
cmarcos@asturias.geol.uniovi.es

El presente trabajo contiene las investigaciones realizadas durante el periodo comprendido entre septiembre del 2000 y agosto del 2001, sobre las partículas inorgánicas existentes en la atmósfera de Oviedo, con el objeto de conocer y evaluar la calidad del aire que respiran los ovetenses.

La *contaminación atmosférica* se define como "*la presencia en el aire de materias y formas de energía que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza*" (Ley 38/1972, de 22 de diciembre).

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las *naturales* y las *antropogénicas*. En el primer caso la presencia de contaminantes se debe a causas naturales como la erosión y meteorización de suelos y rocas, erupciones volcánicas o incendios (Marfunin, 1998; Sanz-Sá, 1991). Las fuentes antropogénicas tienen su origen en las actividades humanas: industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias. Las refinerías de petróleo, industrias de recuperación y fundición de metales y las plantas químicas, suponen la tercera parte de la masa total de la carga de contaminación del aire, excluyendo el CO_2. El transporte en los países desarrollados contribuye en un 45%. Las calefacciones en los paises desarrollados del hemisferio norte contribuyen también de una manera muy significativa. La incineración de desperdicios supone un 5% de la carga contaminante total. Dentro de las ciudades existen múltiples pequeñas fuentes de contaminación, siendo los automóviles la causa principal de la degradación de la calidad del aire.

Los principales contaminantes emitidos por los vehículos que utilizan motores de ciclo diesel (camiones y autobuses, por ejemplo) son partículas sólidas en forma de hollín que da lugar a los humos negros, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y anhídrido sulfuroso procedente del azufre contenido en el combustible.

Las calefacciones domésticas de carbón producen: anhídrido sulfuroso, cenizas volantes, hollines, metales pesados y óxidos de nitrógeno. Las de gasóleo o gasoil emiten: SO_2, SO_3, NO_x, hidrocarburos volátiles no quemados y partículas carbonosas. Mientras que las de gas natural producen contaminantes en una concentración despreciable respecto a los otros combustibles. A la introducción masiva del gas para calefacciones domésticas, sustituyendo al carbón y al gasoil anteriormente utilizados, se debe en gran parte el éxito del Plan de Descontaminación Atmosférica de la ciudad de Londres (Gran Bretaña).

Las centrales térmicas de producción de electricidad emiten óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, metales pesados y una gran variedad de sustancias.

Muchas de las partículas de un aerosol urbano (partículas que están en suspensión en el aire que se pueda respirar en una ciudad) pueden ser cancerígenas como los asbestos, óxidos de hierro o metales como cadmio (Cd), selenio (Se), vanadio (V), cromo (Cr), niquel (Ni), arsénico (As) o berilio (Be) (Guthrie & Mossman, 1993)

Cuando se utiliza como combustible el carbón, se emiten abundantes partículas finas que pueden ser trasladadas a grandes distancias.

Entre los sectores industriales:

La siderurgia integral produce: partículas, SO_x, CO, NO_x, fluoruros y humos rojos (óxidos de hierro).

Las refinerías de petróleo producen principalmente: SO_x, HC, CO, NO_x, amoniaco, humos y partículas.

La industria química produce, dependiendo del tipo de proceso empleado: SO_2, nieblas de ácidos sulfúrico, nítrico y fosfórico y da lugar a la producción de olores desagradables.

Las industrias básicas del aluminio y derivados del flúor producen emisiones de contaminantes derivados del flúor.

Efectos de las partículas

Los parámetros que determinan el riesgo de las partículas como contaminantes en el medio, son:

- **Tamaño.** Se distinguen:
  - *Partículas en suspensión*: entre 10^{-1} y 10 µm de diámetro.
  - *Partículas sedimentables*: >10 µm de diámetro.
- **Forma.** Varía en función del estado de las partículas: Las partículas líquidas tienden a adoptar formas más o menos redondeadas, las partículas sólidas pueden adoptar una amplia gama de morfologías en función a su composición, tiempo de residencia en la atmósfera, tipo de transporte sufrido etc...
- **Composición**. Puede ser muy variada, desde orgánica hasta puramente mineral.
- **Concentración.** Depende del volumen emisor y de la capacidad con que la atmósfera los dispersa, lo cual es función de las variables metereológicas de la zona.
- **Tiempo de exposición.** Influye en el grado de peligrosidad. A mayor tiempo de exposición mayor peligro para el medio receptor.
- **Origen**
  - Las *partículas primarias* son emitidas directamente a la atmósfera por procesos naturales o antropogénicos.
  - Las *partículas secundarias* se forman en la atmósfera a partir de otros componentes presentes en el aire.

Efectos sobre la salud

El efecto es más significativo para las partículas que son inhaladas. Por otra parte, el efecto de una determinada partícula sobre el sistema pulmonar depende de la toxicidad intrínseca del material, el tiempo de retención en el sistema pulmonar y el área del pulmón donde se acumula. Las partículas mayores a 5 µm de diámetro quedan retenidas en la cavidad nasal o las mucosas de la tráquea. Las de diámetro entre 0.5 y 5 µm se depositan en los bronquiolos, pero son eliminadas a las pocas horas mediante expectoración gracias a la acción de los cilios. Las partículas menores a 0.5 µm son las de mayor riesgo para la salud del ser humano pues se depositan en los alveolos pulmonares, pudiendo provocar enfermedades como la bronquitis crónica.

Muchas de las partículas de un aerosol urbano (partículas que están en suspensión en el aire que se pueda respirar en una ciudad) pueden ser cancerígenas como los asbestos, óxidos de hierro o metales como cadmio (Cd), selenio (Se), vanadio (V), cromo (Cr), niquel (Ni), arsénico (As) o berilio (Be) (Guthrie & Mossman, 1993). Los compuestos inorgánicos del plomo atmosférico son absorbidos por los humanos, principalmente a través del sistema respiratorio, alcanzando el torrente sanguíneo aproximadamente el 35% del plomo inhalado por los pulmones. Una vez incorporado el plomo a la corriente sanguínea, una parte se almacena en los huesos y otra se expulsa por la orina, en una continua fase de renovación en el organismo. A partir de ciertas cantidades puede producir efectos adversos en el comportamiento, afectan la inteligencia de los niños y ser causa de anormalidades en los fetos de madres gestantes. Los adultos, por lo general, son menos sensibles que los niños a los efectos del plomo, pero una acumulación excesiva en el organismo puede producir serios e irreversibles daños en su sistema nervioso.

El efecto de una determinada partícula sobre el sistema pulmonar depende de la toxicidad intrínseca del material

Además, muchos minerales como el cuarzo, la caolinita y otras arcillas, y el talco suponen un peligro para la salud cuando tienen forma de fibra (una de las dimensiones mucho mayor que las otras). Parece probable que las partículas de cuarzo y ciertos tipos de cenizas volantes puedan interferir con la función de inducción inmunológica de los nodos linfáticos. Por otra parte, partículas de minerales supuestamente inertes pueden ser capaces de adsorber y transportar sustancias tóxicas como recubrimientos superficiales. Una vez se han depositado en los pulmones la superficie tóxica puede reaccionar con el tejido pulmonar.

Se ha comprobado la relación existente entre la contaminación atmosférica, producida por partículas en suspensión y anhídrido sulfuroso, y la aparición de bronquitis crónica caracterizada por la producción de flemas, la exacerbación de catarros y dificultades respiratorias.

También se ha comprobado como cuando coexisten en la atmósfera el SO_2 y las partículas en suspensión, estas absorben el SO_2, y al ser respiradas estas pequeñas partículas pueden transportar el SO_2 hasta el nivel alveolar de los pulmones incrementando el daño pulmonar que el SO_2 y las partículas en suspensión podrían producir por separado.

Los metales tóxicos presentes en el aire representan una amenaza para la salud humana cuando se inhalan en cantidades suficientes, debido a la tendencia que presenta el organismo a su acumulación. Por su importancia, destacaremos los efectos producidos por el plomo sobre la salud humana.

Las rutas de entrada de los contaminantes en nuestro organismo son la inhalación, absorción, ingestión e inyección. Los efectos en el organismo pueden ser irritantes, cancerígenos, asfixiantes, alérgicos, productores de dermatosis, etc... La acumulación de las partículas en los pulmones origina enfermedades como silicosis y la asbestosis. Agravan el asma y las enfermedades cardiovasculares.

Efectos sobre los materiales

Cada vez se está prestando más atención, tanto por sus repercusiones económicas como por los daños irreparables que causa sobre los objetos y los monumentos de alto valor histórico-artístico, a los efectos que la contaminación atmosférica produce sobre los materiales.

La acción de los contaminantes atmosféricos sobre los materiales puede manifestarse por la sedimentación de partículas sobre la superficie de los mismos, afeando su aspecto externo, o por ataque químico al reaccionar el contaminante con el material.

Efectos sobre visibilidad

La presencia de contaminantes en la atmósfera produce la absorción y dispersión de la luz solar, acompañados de una notable reducción de la visibilidad. Los aerosoles de tamaños comprendidos entre 1.4 y 0.8 μm son los que tienen una mayor influencia en la dispersión de la luz solar, debido a la proximidad de su tamaño a la longitud de onda de la luz visible.

Se ha observado una estrecha relación entre la disminución de la visibilidad y la presencia de sulfatos en la atmósfera. Una experiencia realizada en Suecia, ha demostrado que los períodos de mínima visibilidad se corresponden con concentraciones máximas de sulfatos y nitratos presentes en la atmósfera.

Efectos globales

Cada vez se hace más necesario realizar estudios sobre los posibles efectos que a largo plazo puede producir la contaminación atmosférica sobre los distintos ecosistemas, sobre el clima y sobre la estratosfera. Tanto las modificaciones de las características de los suelos, debidas al lavado de los elementos del mismo por las lluvias ácidas, como los cambios producidos en las grandes masas de agua por el aumento de la concentración de metales tóxicos, pueden tener consecuencias ecológicas irreversibles.

Es bien conocido que el "efecto invernadero" (aumento general de la temperatura del globo), debido al aumento

Cada vez se hace más necesario realizar estudios sobre los posibles efectos que a largo plazo puede producir la contaminación atmosférica sobre los distintos ecosistemas, sobre el clima y sobre la estratosfera



Figura 1.- Vista panorámica de la ciudad de Oviedo. Nota: Las columnas de humo del fondo corresponden a una central térmica cuya influencia en la contaminación de la atmósfera de Oviedo es escasa debido a que la dirección de los vientos es predominantemente NE-SO.

de las concentraciones de dióxido de carbono y de otros contaminantes en la atmósfera, modificaría el régimen de lluvias, produciendo alteraciones sobre las tierras cultivables y la extensión de los desiertos. Por otra parte, los sulfatos y las partículas finas que disminuyen la visibilidad pueden igualmente reducir la intensidad de la radiación solar.

Sería posible controlar la contaminación mediante la eliminación de las fuentes, pero nos obligaría a renunciar el modo en que vivimos; por ejemplo, tendríamos que renunciar a utilizar tanta electricidad, conducir automóviles, usar calefacciones de carbón o de gas natural, o usar algo que contuviera metales o plásticos. En definitiva, nuestra vida sería casi imposible en un ambiente urbano contemporáneo. Por ello, tenemos que controlar la contaminación producida por nuestras actividades.

Objetivos

El presente trabajo contiene las investigaciones realizadas durante el periodo comprendido entre septiembre del 2000 y agosto del 2001, sobre las partículas inorgánicas existentes en la atmósfera de Oviedo, con el objeto de conocer y evaluar la calidad del aire que respiran los ovetenses.

Concretamente se planteó:

1. Caracterizar mineralógicamente las partículas en la atmósfera de Oviedo.
2. Analizar su forma y tamaño.
3. Analizar su concentración.
4. Determinar su fuente de emisión y origen.

Metodología

Con la caracterización mineralógica se determinó su identidad y composición. Las técnicas utilizadas fueron: Difracción de rayos X, Microsonda electrónica, Microscopia electrónica de barrido.

El análisis de la forma y tamaño de las partículas se realizó mediante Proceso Digital de Imágenes.

Con la concentración de las partículas de las tres estaciones automáticas de Oviedo (Palacio de los Deportes, Plaza de Toros y Purificación Tomás), proporcionada por la Sección de Calidad del Aire de la Consejería de Medio Ambiente del Principado de Asturias, se ha podido hacer una evaluación medio ambiental.

En la determinación de la procedencia y origen se han tenido en cuenta diferentes factores como: geología (Gutiérrez Claverol y Torres Alonso, 1995), tipo de suelo, obras civiles, actividades industriales, etc. de la ciudad de Oviedo y sus alrededores.

Con este trabajo se ha podido conocer finalmente si las partículas que respiran los ovetenses son perjudiciales para su salud, no sólo por su concentración sino también por su composición y tamaño.

Resultados

- Las partículas inorgánicas que se encuentran en la atmósfera de Oviedo son de dos tipos:

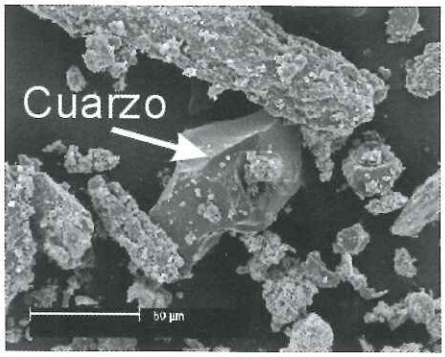


Figura 2.- Imagen de cuarzo (SiO_2) tomada con el microscopio electrónico de barrido (SEM).

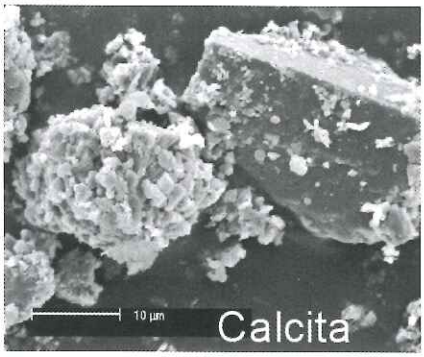


Figura 3.- Imagen de calcita ($CaCO_3$) tomada con el microscopio electrónico de barrido.

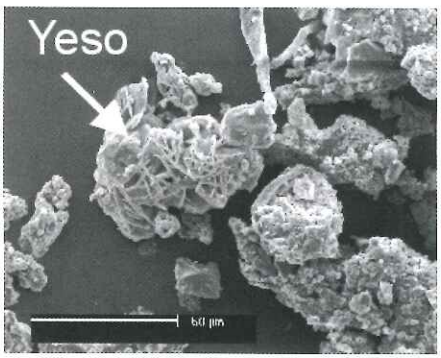


Figura 4.- Imagen de yeso ($CaSO_4.2H_2O$) tomada con el microscopio electrónico de barrido.

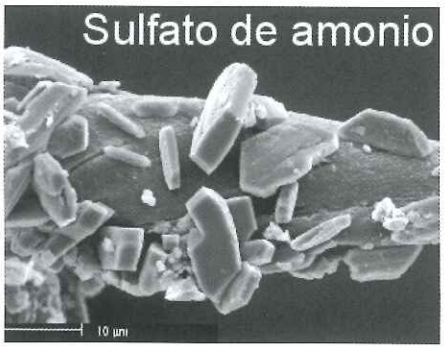


Figura 5.- Imagen de sulfato de amonio (mascagnita, $((NH_4)_2SO_4)$ tomada con el microscopio electrónico de barrido.

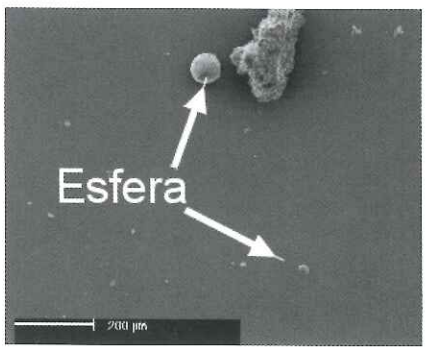


Figura 6.- Imagen de esferas compuestas de silicatos de aluminio, calcio, hierro, etc. tomada con el microscopio electrónico de barrido.

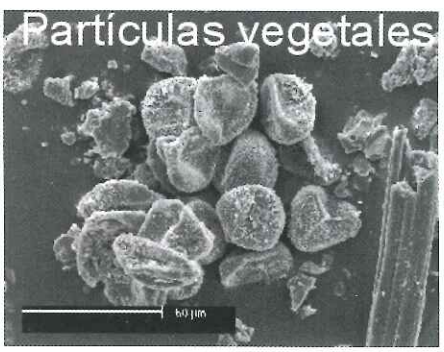


Figura 7.- Imagen de partículas vegetales tomada con el microscopio electrónico de barrido.

- De origen natural: Cuarzo (SiO_2) (**figura 2**), calcita ($CaCO_3$) (**figura 3**), parte del yeso ($CaSO_4.2H_2O$) (**figura 4**), dolomita ($CaMg(CO_3)_2$), halita (NaCl), hematites (Fe_2O_3), moscovita ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), feldespato potásico ($KAlSi_3O_{10}$).
- Son puestas en suspensión por la acción eólica y en resuspensión por la acción del tráfico rodado.

- De origen no natural: Parte del yeso, wüstita (FeO), wollastonita ($CaSiO_3$), y compuestos de plomo (cerusita ($PbCO_3$), seleniuros de Pb), mascagnita ($(NH_4)_2SO_4$) (**figura 5**), esferas (**figura 6**) y partículas de silicatos de aluminio, calcio, hierro y otras de óxidos de hierro y de elementos ligeros como el carbono.

  Proceden de la combustión de los carburantes de los automóviles y del carbón y gas ciudad utilizado en las calefacciones domésticas y de las reacciones de éstos y de los gases emitidos con los del aire.

Las partículas de origen natural son las de mayor tamaño y las de origen no natural son las de menor tamaño y tienden a agregarse

También se encuentran restos vegetales (**figura 7**) como polen, esporas, tallos, etc.

- Las partículas más abundantes durante el periodo estudiado han sido calcita y cuarzo.
- Las partículas de origen natural son las de mayor tamaño y las de origen no natural son las de menor tamaño y tienden a agregarse.
- El área máxima registrada para las partículas ha sido de 22.815 μm^2 y la longitud máxima de 384 µm.
- El porcentaje de las partículas mayores a 5 µm de diámetro, que son las que quedan retenidas en la cavidad nasal o las mucosas de la tráquea, es de un 16%.
- Las partículas de diámetro entre 0.5 y 5 µm se depositan en los bronquiolos, pero son eliminadas a las pocas horas mediante expectoración, gracias a la acción de los cilios. En la atmósfera de Oviedo son las más abundantes y se encuentran en un porcentaje del 84%.
- Las partículas menores a 0.5 /m son las de mayor riesgo para la salud del ser humano pues se depositan en los alveolos pulmonares, pudiendo provocar enfermedades como la bronquitis crónica. Sin embargo, no suponen ningún riesgo para la salud de los ovetenses ya que se encuentran en la atmósfera en un 0,7%.
- Las partículas son muy irregulares y muy poco equidimensionales.
- El valor promedio mayor de la concentración de las partículas es el registrado en la estación de Palacio de los Deportes, seguido de Purificación Tomás y Plaza de Toros. Se debe a que el tráfico es más intenso en la primera estación. En las otras dos estaciones la concentración es similar, aunque en la segunda sólo se justifica por una mayor actividad en la construcción.
- En la estación del Palacio de los Deportes, donde el tráfico es muy intenso, las horas de máxima concentración coinciden con las horas punta. En la Plaza de Toros es de 11 a 12 de la mañana y en la estación de Purificación Tomás es muy variable.
- El valor límite de la concentración de las partículas (150 $\mu g/m^3$, ley 38/1972 de 22 de diciembre) en el periodo estudiado no se ha alcanzado en ningún caso.
- El valor promedio de la concentración de las partículas registrada en las estaciones de Palacio de los Deportes y Plaza de Toros ha disminuido un 16 y un 27 %, respectivamente, frente a los registrados en el periodo comprendido entre 1993 y 1997 (Ferrón de la Fuente, 1999). Este hecho se debe a que Oviedo no es una ciudad industrial, se usa cada vez menos carbón en las calefacciones de la ciudad y existen cada vez más calles peatonales en la misma.

Como colofón a este estudio se puede decir que la atmósfera de Oviedo es limpia ya que:

- Sus constituyentes, los gases y las partículas, no superan los niveles de concentración límite, siendo la peatonalización y la limpieza de las calles, y el uso cada vez más restringido del carbón en las calefacciones de la ciudad las causas más importantes de este hecho.
- Las partículas, en relación a su composición y tamaño, no suponen peligro para la salud humana, particularmente para las enfermedades relacionadas con el sistema pulmonar ya que el porcentaje de las que pudieran suponer riesgo, las inferiores a 0,5 µm, es muy bajo (0,7%).

Notas

[1] $\mu m = 10^{-10}$ m

[2] El microscopio electrónico de barrido permite obtener imágenes de partículas con tamaños del orden del µm y análisis semicuantitativos de los elementos que las componen.

Referencias bibliográficas

Ferrón de la Fuente, E. (1999). *Calidad del aire en Asturias 1986-1997*. Ed. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias. Gobierno del Principado de Asturias.

Guthrie, G.D., Jr. & Mossman, B.T. (Ed.) (1993). *Health effects of mineral dusts. Reviews in Mineralogy*, Vol., 28. Mineralogical Society of America (P.H. Ribbe ed.).

Gutiérrez Claverol, M y Torres Alonso, M. (1995). *Geología de Oviedo. Descripción recursos y aplicaciones*. Ed. Paraíso, Oviedo.

Marfunin, A.S. (Ed.) (1998). *Advanced Mineralogy*, Vol. 3: *Mineral matter in space, mantle, ocean floor, biosphere, environmental, management, and jewelry*. Capítulo 5: "Environmental mineralogy", radiation mineralogy (Bambauer, H.U., Ed.). Springer.

Sanz-Sá, J.M. (1991). *La contaminación atmosférica*. Ed. MOPT (Unidades Temáticas Ambientales de la Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente), Madríd.

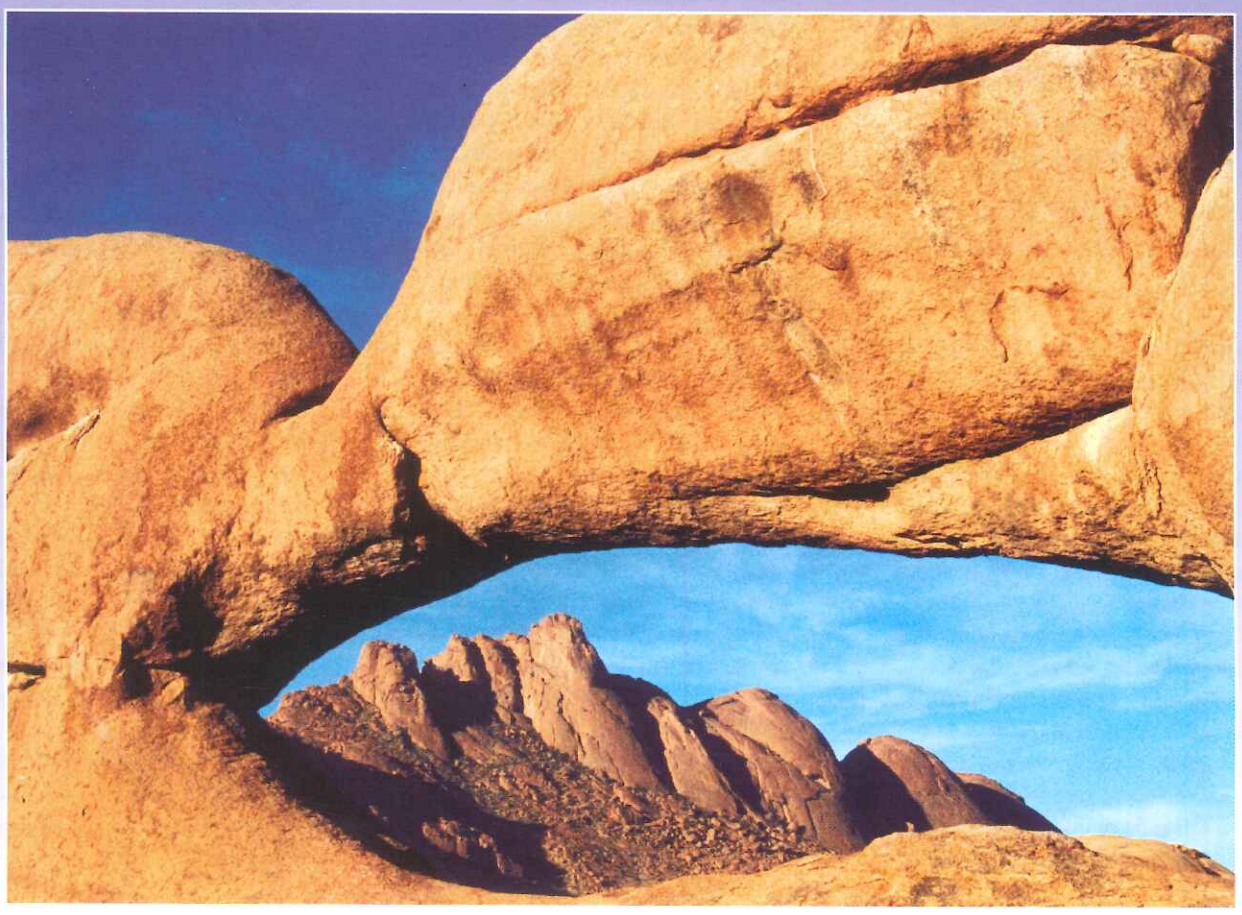
V CERTAMEN NACIONAL
DE FOTOGRAFÍA DEL ICOG
Emilio Elízaga 2002

Reunidos en Madrid a 18 de noviembre de 2002 los miembros del Jurado del ***V Certamen Nacional de Fotografía 'Emilio Elízaga'*** formado por las siguientes personas:

D. Luis E. Suárez Ordoñez. Presidente del ICOG.
D. José Luis Barrera. Vicepresidente del ICOG.
D. Manuel Regueiro y Gonzalez-Barros. Secretario General del ICOG.
D. Javier Ceballos Aranda. Geólogo y fotógrafo. Miembro Fundador de la Asociación Española de fotógrafos de la Naturaleza.
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.

Acuerdan otorgar los siguientes premios:

1er PREMIO [Colegiado]. 'La mirada de la tierra'. *Jesús Garrido Manrique.*



APARTADO COLEGIADOS

A - 2º PREMIO. 'Montaña de arena'. *Jorge Rey Salgado.*
3er PREMIO. Ha quedado desierto.

B - Mención Especial. 'La geometría del volcán'. *Leonor Carrillo Vigil.*

C - Mención Especial. 'Rizo de piedra'. *Ismael García Jiménez.*

APARTADO DE NO COLEGIADOS

D - 1er PREMIO. 'Inevitables alteraciones del terreno'. *José Mª Jiménez Gómez.*

E - 2º PREMIO. 'Plegamiento'. *José Torres Tabanera.*

F - 3er PREMIO. 'Lapiaces'. *Joaquín Souto Varela.*

G - Mención Especial. 'Mud Pools'. *Luis Federico Souto Soubrier.*

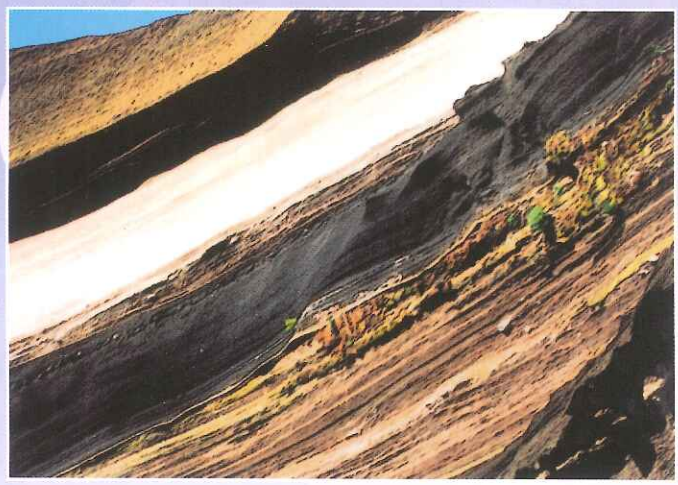
A



D



B



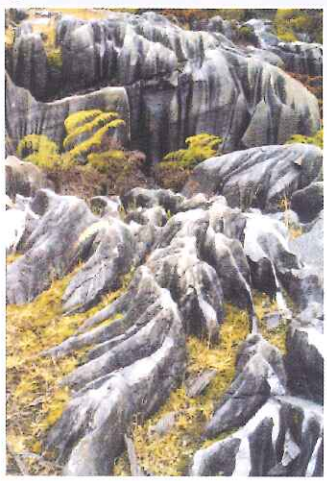
E



C



F



G



Muchas empresas se juegan su futuro utilizando software ilegal.

Para evitarle cualquier posible conflicto legal por la utilización de programas sin su correspondiente licencia de uso y ayudarle a la modernización tecnológica de su empresa, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos en colaboración con Microsoft le ofrece, en las mejores condiciones, dos formas de actualizar su software:

10%
Deducción Fiscal
al adquirir software para pymes
Ley 6/2000

1. Junto a la compra de cualquier producto de hardware: ordenadores y periféricos.
2. A través de Open Multilicencia: un programa de descuento por volumen.

Consulte a su distribuidor sobre cómo puede ponerse al día hasta con un **50%** de ahorro a la hora de adquirir **Microsoft Windows 2000** y **Microsoft Office 2000***.

No olvide que, legalmente, es necesario adquirir una "licencia de uso" del programa Microsoft Windows y Microsoft Office para cada ordenador que utilice dichas aplicaciones.

Esta oferta exclusiva para miembros del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos la encontrará en:

LOSINTEL

Ronda de Poniente, 4, 1ºA
28760 Tres Cantos. Madrid
Telf.: 91 806 11 63

Microsoft
ESTÉ SEGURO. Es Legal
900 97 15 65
GRATUITO

Si desea ampliar información llame a nuestra *Línea de Asesoría* para la pyme 902 197 198
*Descuento estimado sobre P.V.P

Microsoft®