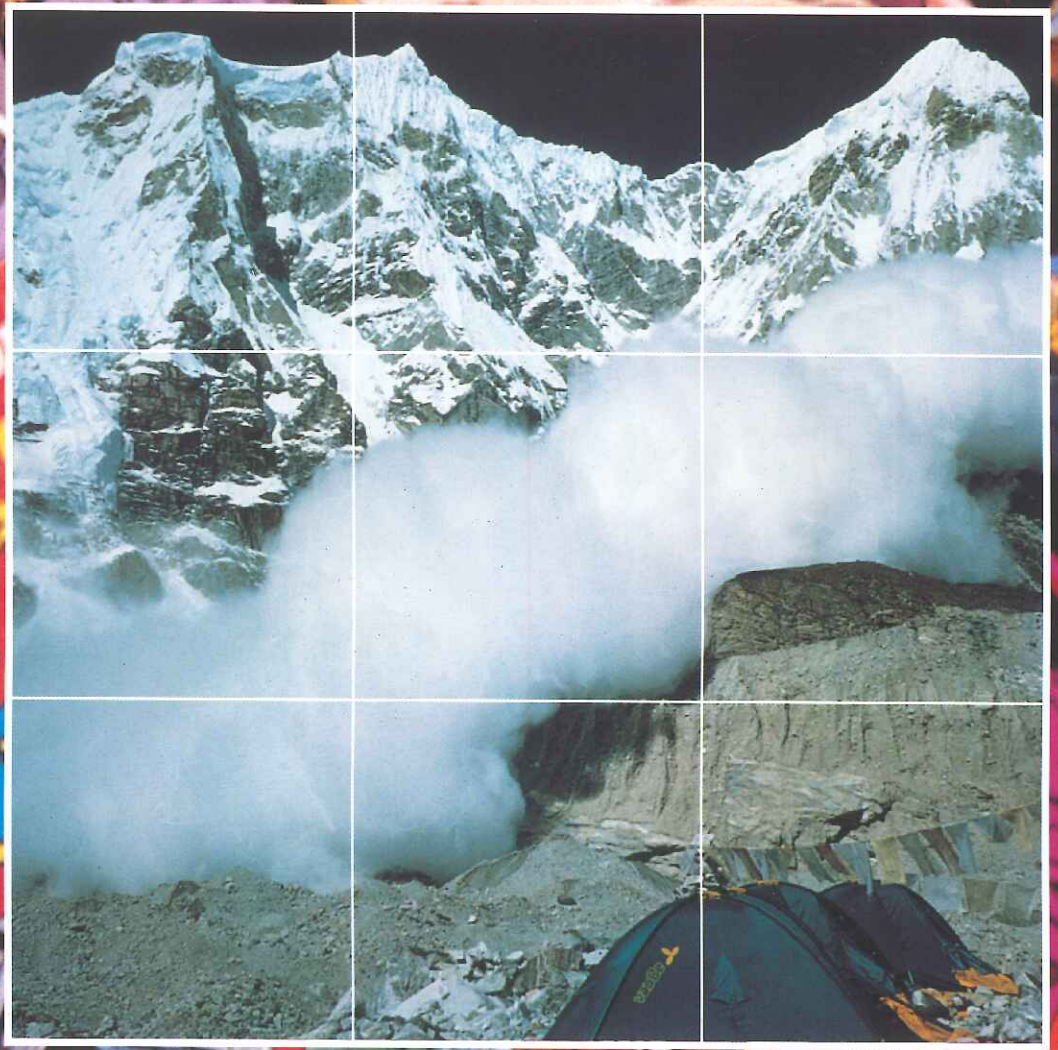
Tierra y Tecnología

REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACIÓN GEOLÓGICA

NÚMERO 18



Los aludes, un riesgo natural de alta montaña

Patrimonio geológico de Ibiza

La Geología en los nics de superhéroes

Infraestructuras rroviarias y Geología

PRIMER SEMESTRE, 1998

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 ● disponibilida

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 91-5532403
e-mail: icog@icog.es http://www.icog.es

COMITÉ EDITORIAL
Director. Editor Principal
Juan José Durán Valsero

Editores Adjuntos
Alfonso Arribas Herrera
Pablo Gumiel Martínez
José Luis Ordóñez Fernández
Jaime Palacio Suárez
Manuel Rolandi Sánchez-Solís

Colaboradores
Eleuterio Baeza Chico
Luis Barceló Vidal
Alejandro Chacón Auge
Roberto García Barbero
Roberto Parra Sánchez-Camacho
Eugenio Guerrero Serrano
Juan Pequeño Pequeño
Matilde Pertierra Rey
Lidia Ranz Villarino
Manuel Regueiro y González Barros
Benito Eladio Rivera Prieto
Leandro Sequeiros Sanromán
Luis Eugenio Suárez Ordóñez
Mercedes Vallejo Ordóñez

Corresponsales
María Reyes Alfaro Ruiz (Navarra)
Javier Burillo Panivino (Aragón)
Jesús Cruz Jiménez (Castilla-León)
Antonio Jesús González Barrios (Andalucía)
Francisco Illana Martos (Andalucía)
Pedro Muñoz Barco (Extremadura)
José Antonio Sánchez Espinosa (Murcia)

Diseño, Composición e Impresión
Gráficas Summa, S. A.
Tel. 91 326 48 56
98 526 10 00

En Portada
Recuadro: Avalancha de nieve en el Broad Peak (Pakistán)
Fondo: Cómics y Geología
Fotografía: Marc Martínez

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 18 - 1er semestre de 1998

Editorial 4

riesgos naturales
Los aludes, un riesgo natural de alta montaña 5

patrimonio geológico
Patrimonio geológico de Ibiza, divulgación y utilización. Las rutas del halcón 15

geología y ciencia ficción
La Geología en los cómics de superhéroes 23

geología y cine
El norte perdido 35
La ciudad no es para mí 36

filatelia
El mundo subterráneo en la filatelia: una visión insólita 37

concurso t & t
I Certamen Nacional de Fotografía Geológica «Emilio Elízaga» 44

evolución
Geodiversidad *versus* biodiversidad 47

historia de la geología
Una nueva aportación al estudio de la obra de Juan Vilanova y Piera 49

entrevista
Alejandro Gil Díaz, Director General del Agua de Castilla-La Mancha 53

infraestructura ferroviaria
Entrevista al Director Gerente de Mantenimiento de Infraestructura de Renfe, Manuel Benegas Capote 57
Los riesgos geológicos en la infraestructura del ferrocarril 60
Los estudios geotécnicos en infraestructuras ferroviarias 64

riesgos naturales
Inundaciones históricas en Consuegra (Toledo) 68

medio ambiente
El procedimiento de evaluación de impacto ambiental y sus nuevas perspectivas 74

tecnología
Determinación automática de las capas paramétricas y de los tramos de diagrafías geofísicas en sondeos 78

análisis documental
Las publicaciones periódicas españolas sobre Geología 88

economía ecológica
Hacia una contabilidad energética del capital mineral de la Tierra 94
Fundamentos para una gestión del agua coherente con un modelo de desarrollo 100

legislación
Las competencias profesionales del geólogo derivadas de título de Licenciado en Geología (y II) 105

arte
¿Adónde va Tindaya? 107

biblioteca 110

opinión
Los minerales industriales en la vida cotidiana 112
El «Garum»: Facies y gastronomía 114

Doñana: paraíso e infierno

No podía ser de otra manera. Al final, el paraíso terrenal se convirtió en la antesala de un escenario dantesco. Ha sido una balsa de residuos mineros, pero podría haber sido una macrourbanización, una nube tóxica procedente de no se sabe qué complejo industrial, o cualquier otro *castigo* humano. Y aquí radica el quid de la cuestión: no se puede satanizar a la minería, pues esta actividad es tan legal y necesaria como cualquier otra. El problema está en el descontrol, en la falta de coordinación, en la dejadez de las administraciones públicas, en la falta de inversiones en los aspectos de seguridad de las empresas, y así en muchas otras cuestiones donde el factor humano es fundamental. La responsabilidad ahora es como una lluvia fina que nos cala a todos, aunque a algunos el agua les llegue hasta lo más profundo de sus huesos. Casi nadie se libra.

Ahora se oyen voces por todos lados. Y silencios clamorosos. Alguien me ha contado que lo peor del espectáculo no son los lodos tóxicos, sino esa enorme representación teatral que se está montando alrededor del desastre. El problema es que nadie escucha, y la obra carece de guión y de espectadores. Quizás los únicos sean los patos del Coto. Es curioso, cuando alguien quiere hablar de la fauna de Doñana, rica y diversa donde las haya, siempre se refiere a los patos. Los patos simbolizan el ser de este Parque Nacional, más incluso que el lince, su auténtico tesoro escondido. Pues bien, patos y linces son los únicos espectadores de esta gran función, a la que asisten sin haber sido invitados y posiblemente perplejos. Que nadie les cuente el final, porque seguramente sería una desilusión para ellos.

¡Que no llueva, la virgen de la cueva! Porque como lo haga, ya está la excusa encima de la mesa; lo intentamos pero no pudimos. Nuestras naves no pueden luchar contra los elementos, una vez más. Asistimos a un baile de cifras monumentales: millones de metros cúbicos de lodo, miles de hectáreas contaminadas, decenas de miles de millones de pesetas de pérdidas, camiones, camiones y más camiones que tendrán que volver a subir lo que un mal día decidió bajar. Por lo menos, los camioneros estarán contentos, pues unos trabajos de Hércules, como son éstos, no surgen todos los días, y la vida está muy achuchada. Quienes no están contentos son los mineros, los trabajadores de la mina. Se quedan sin trabajo, y encima parecen los malos de la película. Y no lo son.

Tampoco los ecologistas están contentos. Dicen que ya lo dijeron. Y posiblemente sea verdad. También otros dijeron que no pasaba nada, que todo estaba bajo control. Error: casi nada está bajo control. Siempre existe un margen para la duda, para el fallo, para el riesgo, para la catástrofe. Nueva clave: si siempre existe una posibilidad de que algo pase, alguien debería haberlo previsto, y aún asumiendo el riesgo, tener un plan de actuación para el minuto siguiente, para el día siguiente, para el siguiente mes. ¿Alguien ha visto ese plan? Me imagino a todos los responsables de todos los Parques Nacionales españoles (y, de paso, a todos los de los parques naturales, o equivalentes, autonómicos) preguntándose si tienen un plan similar en el cajón de su despacho, a mano, donde se guardan las pistolas en las películas de suspense.

Alguien habló de competencias. Qué risa, competencias. Se supone que competencia viene de competente, de saber hacer alguna cosa. En concreto aquella para la que te pagan. Habría que preguntar a los que pagan si las administraciones implicadas han sido competentes. Si lo han sido los técnicos que han firmado los informes. Si lo han sido los políticos y los jueces que han levantado una muralla de silencio frente a los gritos aislados de aviso. Alguien debería decirle a aquel que habló de competencias que la realidad es difícilmente parcelable. Que las rayas están en los mapas, pero no suelen estar en el territorio, en el medio físico. Dicen que la presa de residuos mineros no estaba en el dominio público hidráulico. Pues estaría mal delimitado, porque todo apunta a que la balsa estaba (está) en la zona de policía del Agrio, que vierte al Guadiamar.

¿Y el futuro? La única esperanza es que la lección sirva para algo. Si Doñana sucumbiera y la sociedad española (por decir algo cercano) aprendiera la lección, la gran lección ofrecida, yo daría por bueno lo ocurrido. A quienes defendían los ecologistas, aunque ellos no lo supieran, era a los mineros, no sólo a los patos. En lo que se traducía su queja profunda no era en un no a la minería. El mensaje era diferente. Nada ha hecho más daño a las centrales nucleares que el accidente de Chernobil. El peor enemigo de algo siempre está dentro: el hacer mal las cosas, la chapuza. Lo que querían decir los ecologistas es algo tan simple como que hay que hacer las cosas bien. Y tienen razón. No siempre la tienen, pero en esta ocasión sí. Una minería bien hecha tiene cabida en la sociedad actual, que considera que deben preservarse ciertos espacios con sus características naturales lo menos modificadas posibles. Quizás los geólogos, junto con otros profesionales, tengamos algo que decir en estas cuestiones. Quizás.

Juan José Durán Valsero
Director de *Tierra y Tecnología*

Los aludes, un riesgo natural de alta montaña

Alvaro Enrique Fernández Escalante

Licenciado en Ciencias Geológicas, especialista en Hidrogeología (Universidad Complutense de Madrid, 1990) y técnico en medio ambiente (Universidad Politécnica de Madrid, 1993). Trabaja en el área de ingeniería del agua y del suelo de TRAGSATEC.

El estudio de los aludes es un tema en contínua evolución, debido al elevado número de víctimas y bienes afectados, que se realiza a distintas escalas y desde diferentes puntos de vista. Entre ellos cabe destacar el estudio de las características de los sólidos que se movilizan y de los procesos y agentes que desencadenan las avalanchas. El objetivo de este artículo es exponer una visión general de la cuestión, presentar el considerable número de variables que influyen, así como los múltiples tipos de aludes conocidos.

The understanding of avalanches is continuosly being reviewed because of the large number of goods and victims affected. It is being tackled from different points of views and at different scales. On one hand studies on the moving solids characteristics are accomplised. On the other hand the processes and agents that cause the avalanches are also studied. The objective of this paper is to introduce a general sight of the question and to review the large number of variables which influence avalanches. It also lists the different types of avalanches identified.

Introducción

Las zonas de alta montaña, entendiendo por estas aquellas situadas por encima de 1.500 m de altura, en nuestra latitud, se encuentran sometidas a la dinámica inherente a los procesos gravitacionales. Parte de este dinamismo constituye la denominada *peligrosidad del sistema nival*. Dicho peligro se convierte en un riesgo cuando interaccionan los procesos y agentes nivales con los sociales, resultando vulnerada la organización social del medio montañoso.

El estudio y control de los aludes o avalanchas se ha convertido en un tema de importancia primordial en las últimas décadas. Como consecuencia del desarrollo y de la evolución socioeconómica, ha habido grandes inversiones y un incremento en la ocupación, aunque fuera temporal, de zonas de alta montaña.



Conos de alud, estrías producidas por bólidos de hielo y deposición caótica del manto nival en la base de la cara norte del Dunagiri 2 (6.523 m). Garhwal Occidental, U.P. India.



Señales de una avalancha superficial en el Aneto.

Los aludes tienen unas implicaciones socioeconómicas importantes en cuanto a la destrucción de recursos forestales y de medios de comunicación, agravando la subsiguiente actividad de los agentes erosivos en las áreas afectadas. Igualmente numerosas edificaciones han sido destruidas, aunque el aspecto más preocupante ha sido el creciente número de vidas humanas perdidas, sobre todo deportistas y habitantes de zonas montañosas.

Por tanto, es absolutamente necesario conocer el fenómeno e identificar y entender los factores que intervienen en el movimiento de la masa helada. Este conocimiento contribuirá a predecir el riesgo, tanto en el espacio como en el tiempo, del desencadenamiento de aludes y su impacto. Así mismo, es preciso avanzar en el estado de conocimiento por varios frentes, tanto científicos, como técnicos y sociales, para poder llevar a cabo actuaciones concretas y acertadas de prevención, protección y autoprotección.

Las líneas de investigación en el ámbito científico están basadas en el estudio del manto nival y de su evolución, que presenta una cierta dependencia con las causas y situaciones en las que acontecen las avalanchas. De ahí la importancia de las mediciones periódicas de las características del manto nivoso. Desde los frentes técnico y social, las principales líneas de investigación se basan en la recopilación de datos históricos, los tratamientos estadísticos, la aplicación de nuevas tecnologías, y el estudio del impacto de los aludes en el medio natural y en el social. Todas las líneas de investigación convergen en un objetivo común : identificar y delimitar las zonas con riesgo de alud.

El panorama nacional e internacional

En la legislación española existe un vacío legal en el tratamiento de zonas sometidas al riesgo de avalancha, por lo que es preciso que exista un alto grado de conocimiento por parte de aquellos técnicos dedicados a la ordenación territorial de las zonas montañosas, que, en definitiva, son quienes tienen una responsabilidad con la sociedad en el acierto de sus previsiones y en la elaboración de programas de actuación concreta. Este grado de conocimiento debe ser, si cabe, mayor en todas aquellas personas que pueden ver su vida amenazada por el riesgo de avalancha, como es el caso de los esquiadores de montaña (49% de víctimas en el periodo 1.975-88), practicantes del esquí fuera de pista (24,8%) y montañeros (10,8%) (López Martínez, 1989).

El riesgo de aludes no es algo contemporáneo. A lo largo de la historia algunos cronistas han dejado constancia de accidentes y catástrofes producidos por efecto de las avalanchas. Sirva de ejemplo los 19.000 soldados de Aníbal que perdieron la vida al cruzar los Alpes en el año 218 antes de Cristo. Igualmente, los más de 18.000 soldados muertos en 1.916 en las Dolomitas, o el siguiente fragmento acerca de la severa amenaza sufrida en algunas localidades alpinas durante la Pequeña Edad del Hielo:

«Después que el Dios Todopoderoso ha hecho caer, los días 2, 3 y 4 de febrero de 1689 una copiosa nevada, se han producido en nuestro valle aludes en los que han perecido muchos hombres y animales (...). También se perdieron muchos bienes (...). Según parecer unánime de todo el mundo, el alud llegó con tanta rapidez y arrasó todo de tal manera que cuando se oyó, ya no había tiempo para escapar ni para suplicar a Dios ayuda"...

La recopilación sistemática de datos de aludes en el Estado español se inició en 1978, no demasiado pronto en comparación con otros países del arco alpino donde la presión social ha sido mucho mayor, al igual que la problemática.

En Suiza, la actividad investigadora fue iniciada en 1.872 e incrementada en el invierno de 1.950-51, año de grandes catástrofes, en el que el gobierno promulgó las normas para la planificación de áreas de avalancha.

En Francia comenzó la actividad cartográfica de zonas de aludes en 1.967, y recibió un fuerte impulso en 1.982, cuando fue promulgada la ley de indemnización a las víctimas de catástrofes naturales, lo que obligó al gobierno a elaborar los P.E.R. o Planes de Exposición a Riesgos naturales previsibles (C.E.M.A.G.R.E.F., 1983).

Sirva para exponer la magnitud de este riesgo natural en la actualidad los siguientes datos:

En el periodo comprendido entre 1.945 y 1.974 ha habido en Europa 719 víctimas mortales de avalancha, la mayoría en la cordillera alpina. En el periodo 1.975-1.988 ha habido en el arco alpino 1.618 *muertes blancas,* lo que supone una media de 124,5 víctimas por año (López Martínez, 1989).

En el periodo 1978-1992 se han registrado 77 «muertes blancas» en la Península Ibérica.

El número de accidentados con carácter mortal en Europa en los últimos años, según los datos de la Comisión de avalanchas de la CISA-IKAR, ha sido de 91 en el periodo 1.993-94, y de 97 en el periodo 1.994-95.

A la vista de estos datos, ha habido

una disminución de *muertes blancas* en los últimos años, a pesar del incremento de infraestructuras, ocupación de áreas de alta montaña y proliferación de los *deportes blancos*. Esto podría ser debido a que estos datos corresponden a un periodo de sequía, con menos precipitaciones y consecuentemente menos riesgo de alud, y/o al funcionamiento de programas específicos de predicción y concienciación que llevan funcionando desde hace más de dos décadas en varios países.

En la actualidad varias instituciones llevan a cabo importantes programas y proyectos encaminados a actuaciones preventivas, predictivas y de protección, tales como catálogos de aludes, cartografías de riesgos, edición de boletines de nieve y avalanchas, planes y sistemas de protección, instalación de estaciones nivo-meteorológicas, informes periódicos y frecuentes sobre el estado de la nieve en zonas de riesgo, etc.

En la Península Ibérica, el estudio y control de las avalanchas está cobrando una importancia creciente. Su ámbito está centralizado en los principales macizos montañosos, especialmente en los Pirineos. Instituciones politécnicas, universidades y empresas privadas están llevando a cabo importantes esfuerzos, algunos de los cuales se citan a continuación.



Avalancha de nieve pulverizada en una nube suspendida por el viento en el Broad Peak. Pakistán. (Foto: Coke Lasa).

Quizás el estudio más pionero se remonta a 1.984, cuando fue llevado a cabo por el Instituto Nacional de Meteorología en su centro zonal del Ebro un proyecto denominado *nivo-meteorología del Pirineo*. El Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) ha realizado un trabajo de *Cartografía en zonas de aludes del Pirineo Aragonés* (Muñoz, 1989). Se han realizado cursos de riesgos y jornadas técnicas a cargo del ITGE, ITSEMAP, y otras instituciones. Los planificadores de las estaciones de esquí han cobrado conciencia de la importancia del tema, e invierten en cursos de formación del personal, manejo de explosivos y/o artillería para la provocación de aludes. Igualmente, se han construido numerosas obras de defensa. La Federación Española de Montañismo, en conexión con Jerónimo López, de la Universidad Autónoma de Madrid, realizan un seguimiento permanente del número de víctimas afectadas.

En Cataluña, como respuesta al incremento del turismo invernal, en 1.986 fue puesto en marcha un estudio del riesgo de aludes en el Pirineo Catalán, a cargo del Servei Geológic de Catalunya, junto con la Universitat de Barcelona (Bosch y Vilaplana, 1988; Furdada y Vilaplana, 1988), estableciendo unas líneas de investigación que verán su continuidad en varios proyectos, como son el *Estudi del Risc d`Allaus al Pirineu de Catalunya* del Departamento de Política Territorial y Obras Públicas de la Generalitat de Ca-

Cuadro 1

Algunas instituciones extranjeras relacionadas con el estudio de aludes

En Norteamérica:

USDA. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. Lleva varios años actuando por la cuantía de las pérdidas humanas y forestales. En 1994 ha habido 19 muertes blancas conocidas en Canadá y USA y en 1995 han sido 43 las víctimas, cifras inferiores proporcionalmente a las europeas.

CANADIAN AVALANCHE COMMITTEE. Ottawa, Canadá.

En el Arco Alpino:

IFENA. Institut Federal pour l`Etude de la Neige et des Avalanches, en Davos, Suiza.

ANENA. Association Nationale pour l`Etude de la Neige et des Avalanches. Grenoble, Francia.

CENTRE D`ETUDES DE LA NEIGE. Saint Martin de Heres, Francia.

COMISION INTERNACIONAL DE ALUDES DE LA COMISION INTERNACIONAL DE SOCORRO ALPINO (CISA-IKAR). Gluat-Thun, Suiza.

AINEVA. Associazione interregionale di coordinamento e documentazione per i problemi inerenti alla neve e alle valanghe. Bormio, Italia.

C.E.M.A.G.R.E.F. Institución vinculada al Ministerio de Agricultura. Grenoble, Francia.

UNESCO. International Commision of Snow and Ice, París, Francia.

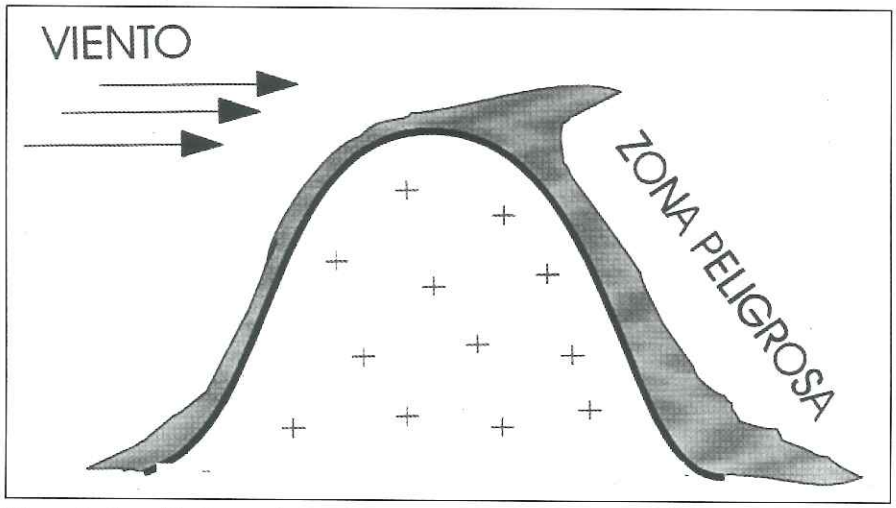


Figura 1. Creación de cornisas por efecto del viento.

talunya, El *impacto de los aludes en el Pirineo y riesgo natural asociado,* proyecto subvencionado por la CICYT en 1993, o el titulado *Aplicación de un S.I.G. a la cartografía de zonas con peligro de aludes,* en el seno del Programa de acciones integradas Hispano-Francesas del año 1993.

Recientemente, fue presentada la tesis doctoral titulada *Estudi de les allaus al Pirineu Occidental de Catalunya : prediccio espacial i aplicacions de la cartografía* (Furdada, 1996), con una metodología innovadora de cartografía de zonas de riesgo, basada en la aplicación de Sistemas de Información Geográfica y la zonificación de los peligros naturales.

Los aludes

Un alud o avalancha es un deslizamiento de nieve, hielo (compuestos indisociables) y en ocasiones roca, que se desplaza con carácter gravitacional con flujo laminar o turbulento al romperse el equilibrio entre las fuerzas de empuje y de resistencia. La velocidad de desplazamiento suele oscilar entre 50 y 300 km./hora y llegan a producir impactos de hasta 145 t/m^2 (magnitud unas 50 veces superior a la calculada para demoler la estructura de una edificación normal).

Pueden producirse por causas internas, cuando es alterado el equilibrio tensional en la masa helada por que las fuerzas motrices o de empuje sobrepasan a las de resistencia, de manera similar a los restantes procesos gravitacionales. También pueden ser consecuencia de causas externas o accidentales, como vibraciones generadas por la caída de rocas, bloques de nieve o hielo, cornisas, seracs o incluso de un árbol, sacudidas por movimientos sísmicos ,o hasta por efecto de la actividad humana.

Metodología de estudio

El estudio de los aludes se realiza por varios frentes, tanto técnicos como sociales, para poder llevar a cabo actuaciones concretas y acertadas de prevención, protección y autoprotección.

Tradicionalmente, la investigación sobre aludes se lleva a cabo abordando por separado los factores internos y externos, entendiendo por internos aquellos que suceden en el seno de la masa helada durante la transformación de la nieve, y externos los que suceden fuera de la misma.

La textura, estructura y propiedades reológicas del "*manto de nieve*" varían a lo largo del tiempo, existiendo unas fases más estables que otras. Por tanto, el entendimiento de su evolución posibilita afinar en la previsión de los aludes. Metodológicamente, esta investigación es llevada a cabo analizando por separado las propiedades físicas, como la forma de los cristales, el tamaño, el espesor de la capa de nieve o el metamorfismo de la nieve, y las mecánicas, como la cohesión, la presión confinante, la plasticidad, la elasticidad, la compresibilidad, la viscosidad y la densidad.

En la práctica el estado de la nieve resulta de la interacción en mayor o menor medida de todos los factores mencionados y de su fase evolutiva. A ellos habría que añadir otras causas, como el efecto de ondas expansivas y el tránsito de hombres o animales.

Tambien los factores externos son importantes.Los agentes y procesos externos influyen en la génesis de los aludes, pudiendo ser variables, no variables e intermedios. Los primeros son la intensidad de la precipitación, el viento, agente capaz de crear cornisas inestables (Fig.1), las tormentas, la presencia de agua líquida y la temperatura. Entre los no variables están los factores que condicionan la configura-

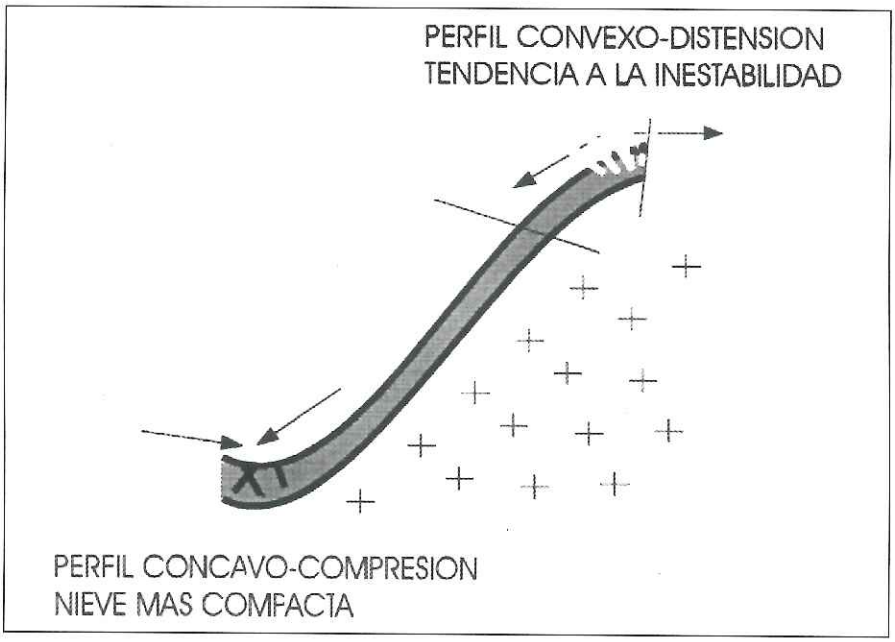


Figura 2. Influencia del perfil de la ladera en la estabilidad del manto de nieve.

ción del terreno, como la pendiente, la orientación, la morfología del terreno, el color del sustrato y la rugosidad. Los intermedios son aquellos agentes y procesos variables a medio plazo, como la cubierta vegetal.

Tipos de aludes

De las numerosas clasificaciones establecidas por diferentes criterios, han sido escogidas tres :

• Clasificación clásica en función del tipo de nieve :

- Avalancha de nieve polvo : fría, seca y de baja densidad.
- Avalancha de nieve húmeda: mojada y muy densa.
- Avalancha de placa : fría, densa y frágil.

• Clasificación de la UNESCO, habida cuenta de su grado de aceptación a escala mundial. Se Trata de una clasificación que tiene en cuenta factores morfológicos y composicionales:

• Clasificación morfológica clásica de Haefeli y Quervain, (1955), cuya relación con el terreno fue precisada por Salm en 1.987.

En la mayoría de los aludes se pueden diferenciar tres zonas: comienzo, curso y depósito. Dichas zonas no coinciden necesariamente con un perfil tipo torrencial, ya que el depósito puede llegar a producirse en la ladera opuesta.

Los principales tipos de aludes son:

A.- Avalanchas de nieve en polvo. El deslizamiento parte de un punto sencillo de una ladera, y a medida que se moviliza el manto de nieve se va ensanchando progresivamente. Suele ser nieve seca pero suficientemente compactada para movilizar un volumen de masa creciente durante el curso. Por lo general se producen con caídas térmicas por debajo de -5° C después de nevadas, generalmente durante la época fría invernal. Suelen ser rápidas y devastadoras. Su ángulo crítico ronda los 30°. Algunos autores diferencian las **Avalanchas de nieve seca o suelta**. Son características de las primeras precipitaciones invernales en caras norte o nevadas sobre sustrato duro.

B.- Avalanchas de nieve húmeda. Caso de nieve con abundancia de agua líquida que aumenta su densidad y facilita su deslizamiento desde una línea de fractura marcada, con flujo en el sentido estricto de la palabra. El peso adicional y la disposición de la fase líquida en la superficie de deslizamiento provoca desprendimientos. Es típica de la nieve *mojada.* Suele acontecer en primavera, cuando hay una mayor presencia del hombre en el medio nival, por lo que su efecto es muy dañino.

Zona	Criterio	Características, alternativas, denominaciones y código	
	A Forma del comienzo	**A1** Comenzando desde un punto (avalancha de nieve suelta) **A2** Comenzando desde una línea (avalancha de placa)	**A3** Blanda **A4** Dura
Zona de inicio	**B** Posición de la superficie de deslizamiento	**B1** Dentro del manto nivoso (avalancha superficial) **B2** Fractura de nieve reciente	**B3** Fractura de nieve antigua **B4** Sobre el suelo (avalancha de fondo)
	C Agua líquida en la nieve	**C1** Ausente (avalancha de nieve seca)	**C2** Presente (avalancha de nieve húmeda)
Zona de curso o *track*	**D** Forma del curso	**D1** Camino en pendiente abierta (avalancha sin confinar)	**D2** Avalancha en hondonada o canal (avalancha canalizada)
Zona de depósito	**E** Forma del movimiento	**E1** Nube de nieve en polvo (avalancha en polvo)	**E2** Deslizándose a lo largo del sustrato (avalancha de flujo)
	F Rugosidad superficial del depósito	**F1** Gruesa (depósito grueso) **F2** Bloques angulosos	**F3** Fragmentos redondeados **F4** Fina (depósito fino)
	G Agua líquida en los derrubios de la nieve en el momento del depósito	**G1** Ausente (depósito de avalancha seca)	**G2** Presente (depósito de avalancha húmeda)
	H Contaminación del depósito	**H1** Sin apariencia de contaminación (avalancha limpia) **H2** Contaminación presente (avalancha contaminada)	**H3** Derrubios de roca y tierra **H4** Derrubios de ramas, árboles **H5** Escombros de estructuras

Figura 3.- Clasificación morfológica internacional de las avalanchas según las normas de la UNESCO.

C.- Avalanchas de placa. Se producen por cortes de una placa a través de una fractura lineal o irregular. Dicha fractura puede producirse por la teoría del umbral de acumulación de esfuerzos o inducida por desprendimientos de cornisas, seracs, piedras, etc. La primera línea de rotura marca el inicio del deslizamiento a favor de un plano o superficie. El ángulo crítico es variable, así como el grado de cohesión interna. Es frecuente en placas de viento que involucran algún estrato subyacente, menos denso, adherido por regelación directa o puentes de hielo. También se produce después de intensas precipitaciones.

Es el tipo de avalancha más común producida por el *esquí fuera de pista.*

D.- Avalanchas de hielo. Son escasas y debidas sobre todo a movimientos del glaciar o a glaciares colgados. También conocidas como de cornisa o de serac.

E.- Avalanchas de fondo. En laderas con estratificación bien diferenciada y por lo general a cotas que rondan el inicio del rango altitudinal de alta montaña. El deslizamiento de un estrato fosilizado por nuevas nevadas sin confinar lateralmente provoca una especie de *flujo* de la nieve movilizada. Este flujo, bien sea laminar o turbulento, provoca dislocaciones en cadena dentro de la de la masa helada . Suelen producirse con tiempo despejado y caluroso, con agua libre en el sistema.

F.- Avalancha superficial. Desli-

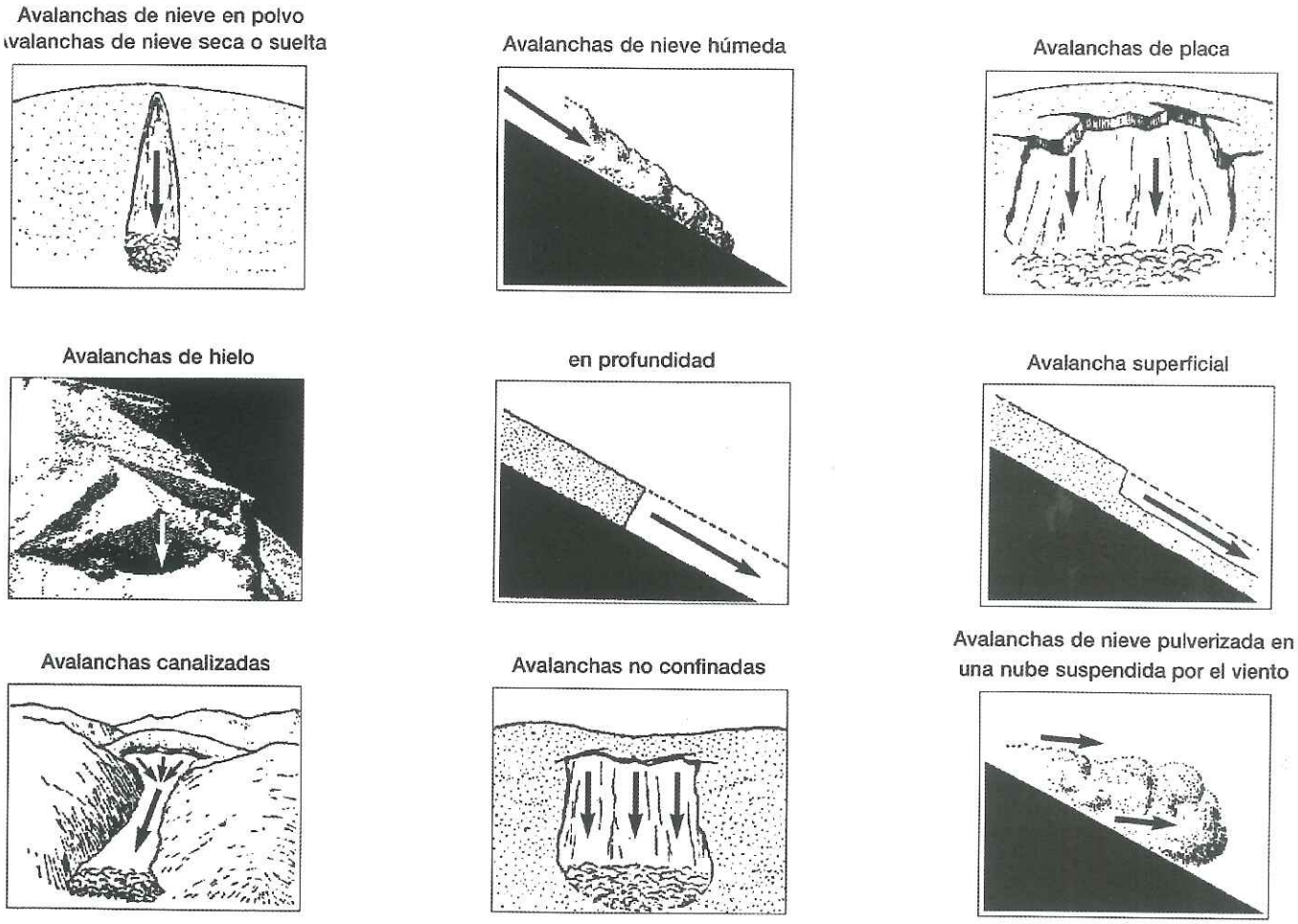


Figura 4.- Principales tipos de avalanchas (basado en Haefeli y Quervain, 1.955 y Salm, 1.987, modificado de Verstapen, 1.983).

zan solamente capas suprayacentes a favor de una superficie de despegue por variaciones reológicas en la vertical. Las placas de viento se incluyen en este tipo, con un desmembramiento de la placa en bloques angulosos.

G.- Avalanchas canalizadas. Se producen a favor de oquedades o canales propicios para el desprendimiento de la masa helada. Se suelen formar a favor de fracturas de las montañas, algunas de las cuales son designadas "corredores" por los alpinistas. Cuando la canal tiene mucha inclinación se suelen desprender antes de que la concentración sea muy voluminosa.

H.- Avalanchas no confinadas. En una zona abierta y desde una línea de rotura.

I.- Avalanchas de nieve pulverizada en una nube suspendida por el viento. Su designación la define. La velocidad puede llegar a sobrepasar los 200 km/h y tener gran poder destructivo, ya que al efecto del fuerte viento se une la carga de nieve.

Hasta aquí han sido expuestos los principales procesos y agentes que intervienen en el movimiento de un manto de nieve, así como los principales tipos de aludes identificados.

Quedaría por tanto ver en que estado se encuentra la puesta en práctica de estos conocimientos, especialmente los métodos de estudio, sistemas de pre-



Avalancha no confinada en el Langtang Lirung, Siabru Besi, Nepal. (Foto: Miguel A. Serrano).

vención y predicción, víctimas y casos y programas en curso sobre aludes.

En la actualidad varias instituciones llevan a cabo importantes programas y proyectos encaminados a actuaciones predictivas, preventivas y de protección, tales como catálogos de aludes, cartografías, edición de boletines de nieve y avalanchas, planes y sistemas de protección, creación de estaciones nivo-meteorológicas, informes periódicos y frecuentes sobre el estado de la nieve en zonas de riesgo, etc.

Medidas de protección

El **efecto dañino** de la avalancha está determinado principalmente por el material movilizado, la velocidad de desplazamiento, la onda expansiva emitida y, en ocasiones, el viento acompañante. Ante tan amplio panorama a controlar, las medidas adoptadas son enfocadas de manera preventiva, aunque existen otras medidas *activas* de actuación puntual.

Por su vinculación con las ciencias de la tierra, se exponen de forma más detallada el seguimiento del riesgo *espacial,* mediante la elaboración de mapas de riesgo de aludes, y *temporal* mediante la creación de estaciones nivo-meteorológicas.

Los mapas de riesgo de aludes

Los mapas de riesgo de avalanchas son un elemento de gran importancia a la hora de abordar ordenaciones territoriales en áreas montañosas. Su finalidad básicamente consiste en identificar y delimitar las zonas con riesgo de alud. Estos mapas deben integrar los restantes riesgos existentes en el ámbito montañoso que puedan influir en el desencadenamiento de aludes, como la interacción con la red hidrográfica o la geodinámica torrencial.

En los mapas de avalanchas desarrollados en Francia en las dos últimas décadas, a escala 1:20.000, 1: 5.000 y 1: 2.000, han sido tenidos en cuenta numerosos parámetros, tales como la geomorfología del terreno, orografía, condiciones meteorológicas, pendientes, orientación de las laderas a la insolación, orientación con respecto a los vientos reinantes, estado habitual de la nieve, etc. Dependiendo de la escala, que suele oscilar entre 1 :5.000 y 1 :25.000, suelen aparecer reflejados los siguientes elementos : límites del área potencialmente peligrosa, partes de la avalancha perfectamente diferenciadas, velocidad esperada, volumen, áreas afectadas por avalanchas previas., etc. También son cartografiadas las estructuras de defensa naturales o antrópicas.

Según el grado de riesgo se emplean distintos colores y una serie de signos convencionales, designando las



Avalancha canalizada a través de una zona de fractura en el Langtang Lirung, Siabru Besi, Nepal.
(Foto: Miguel A. Serrano).

Medidas predictivas y preventivas	• RECOPILACIÓN EXHAUSTIVA DE DATOS SOBRE ALUDES : Encuestas. Archivos históricos. Fichas de recogida de datos sobre el riesgo de aludes. Catálogos de aludes.
	• ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LA MASA HELADA : Factores que influyen en el estado de la nieve. Propiedades físicas y mecánicas. corto plazo. largo plazo. Experimentación en laboratorio y sobre el terreno. Factores que influyen en el desencadenamiento de los aludes. Examen recubrimiento nieve. Sondeos. Perfiles. Ensayos.
	• SEGUIMIENTO DEL RIESGO **Temporal** Creación de estaciones nivo-meteorológicas. Observación diaria de datos nivometeorológicos. Edición de boletines de nieve y avalanchas. **Espacial** Cartografía. Determinación y delimitación zonas de avalancha. Mapas de riesgo.
Medidas de protección	• PLANES Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN TERRITORIO. • PLANIFICACIÓN ACTUACIONES. - defensa activa. - defensa pasiva. - defensa temporal. Programas de prevención y protección. Sensibilización, concienciación y educación. Instrucción de técnicos



Avalancha no confinada en el Langtang Lirung, Siabru Besi, Nepal. (Foto: Miguel A. Serrano).



Avalancha de nieve húmeda en la cara sur del Fuayna Potosí (6.100 m) Cordillera Real (Bolivia), tomada por dos alpinistas, buenos conocedores de los factores desencadenantes de aludes, que abandonaron la ascensión momentos antes, como consecuencia del estado de la nieve. (Foto: Miguel de Merlo).

zonas propensas a la rotura, áreas convexas, cornisas, densidad y tipo de vegetación, entre otros parámetros.

Los colores internacionalmente adoptados son :

- Rojo. Zonas en las que la probabilidad de que se produzcan avalanchas destructivas es muy alta. El periodo de recurrencia es de 30 años y la magnitud mínima es de 3 t/m^2.
- Azul. Zonas de probabilidad media de generación de aludes. Es viable construir, salvaguardando ciertas normas. Debe ser establecido un plan de vigilancia y control, así como contar con la infraestructura suficiente para una eventual evacuación.
- Blanco. Áreas sin riesgo.

La realización de mapas de riesgo supone un importante compromiso por parte de los técnicos vinculados a la ordenación territorial, quienes deben tener en cuenta que en ocasiones hay intereses confrontados, por lo que la precisión de los mapas ha de ser alta.

La elaboración de mapas de riesgo de aludes se realiza atendiendo a una serie de técnicas: estereografía, foto aérea y de satélite, topografía detallada, reconocimiento de campo, encuestas a la población, datos empíricos, señales previas, conocimiento determinístico, cálculo probabilístico, entre otras.

La reciente aplicación de sistemas de información geográfica (S.I.G.) posibilita la elaboración permanente de Mapas de Localización Probable de Aludes, cuyos datos cartográficos y descriptivos están georreferenciados, (Furdada, 1.996).

Creación de estaciones nivo-meteorológicas

Son creadas con la misión de informar diariamente del estado de la nieve y del riesgo de alud de acuerdo con una escala establecida. Para ello se realiza una observación diaria de los siguientes datos nivometeorológicos (la fiabilidad de los programas de predicción es buena en la medida en que lo son los datos en los que se basa).

Observaciones nivometeorológicas diarias, según Bosch (1989) son :

1. Altura de nieve reciente.
2. Altura de nieve total.
3. Temperatura máxima del aire.
4. Temperatura mínima del aire.
5. Temperatura de la nieve a menos de 10 cm.
6. Dirección e intensidad del viento.
7. Penetración del primer tramo de la sonda.
8. Aspecto de la superficie de la nieve.
9. Tipo de aludes.

Informes del estado de la nieve

Los informes del estado de la nieve serán completos cuando además de informar de las características analizadas, nos informen de la forma, carga y estado de las superficies nevadas, la heterogeneidad en su distribución, sus características especiales y sobre todo el grado de seguridad para la práctica de los «deportes de invierno». Dicho pronóstico debe definir la zona y el momento idóneo, ya que las condiciones pueden cambiar con rapidez. Deben ser identificadas, además de las áreas de mayor riesgo, las avalanchas previas observadas. El pronóstico pierde validez si las condiciones meteorológicas difieren de las previstas durante su redacción.

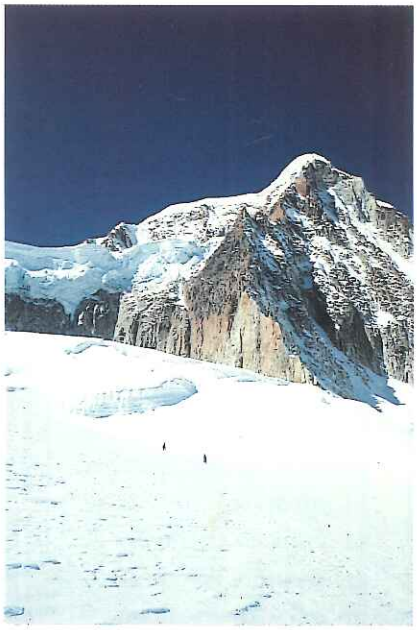
Cabe esperar que sea añadido el *límite geográfico de las nevadas*; *el límite de la nieve*, que suele diferir del anterior y que es la altitud mínima en la que se presenta una capa de nieve en un momento (estación) y lugar (solana-umbría) determinados; y el *límite de la neviza* : isolínea que une los puntos que separan la nieve de la neviza.

Otras medidas

La edición de boletines de nieve y



Cono de alud de hielo en el Circo de la Nava. Sierra de Gredos.



Barrera de seracs y glaciar en el Pico del Norte (6.080 m), Cordillera Real (Bolivia).

avalanchas (ver por ejemplo, METEO-France, 1995-96), y la recogida sistemática de datos sobre aludes son otras medidas completentarias útiles.

En España, en 1987 el Servei Geológic de Catalunya comenzó a recopilar el mayor número posible de datos sobre aludes, mediante la difusión de una ficha que puede ser cumplimentada por toda persona que presencia una avalancha. Dicha ficha puede ser enviada, para su registro, al Servei Geológic de Catalunya, Aptdo. 466 F.D., 08080 BARCELONA.

Agradecimientos

Quisiera manifestar mi agradecimiento a Jerónimo López Martínez, profesor de la Universidad Autónoma de Madrid, a Juan José Duran Valsero, así como a todos aquellos compañeros que tan amablemente han aportado información y fotografías.

Bibliografía

Bosch y Martí, X. (1989) *Los programas de predicción de riesgo de aludes. Justificación, fundamentos, precedentes y situación actual.* Encuentro internacional Catástrofes y sociedad. Itsemap (Mapfre). Madrid.

Colbeck, S. (1980) *Dynamics of snow & ice mases.* Academic Press. Hanover, New Hampshire.

Colbeck, S. *et al.* (1990) *The international clasification for seasonal snow on the ground.* International commision on snow and ice (ICSI). World Data Center of Glaciology, University of Colorado.

Fraser, C. (1974) *Avalanches. Lessons in defence and control.* Ed. J. Murray. Londres.

Furdada, G. (1996) *Estudi de les allaus al pirineu occidental de Catalunya: prediccio espacial i aplicacions de la cartografía.* Geoforma ediciones. Logroño.

Furdada, G. (1989) *Predicción de zonas con peligro de alud. Consecuencias socioeconómicas de la falta de planificación territorial.* Encuentro internacional Catástrofes y sociedad. Itsemap (Mapfre). Madrid.

López, J. (1988) *El riesgo debido a los aludes. Riesgos geológicos. Serie geología ambiental. IGME.*

López, J. (1989) *Análisis del riesgo y de los accidentes por aludes de nieve.* Encuentro internacional Catástrofes y sociedad. Itsemap (Mapfre). Madrid.

López, J. (1985) *Los aludes de nieve en España. Un riesgo natural a tener en cuenta.* Revista Piornal nº 11. Madrid,.

Male, D. (1968) *The seasonal snowcover.* United States Department of Agriculture, Forest Service (USDA FS). Handbook nº 194.

McClung, D y Schaerer, P. (1996) *Avalanchas. Manual Técnico.* Ed. Sua Edizioak, Desnivel.

Méteo-France. (1995/96) *Le guide avalanche de Méteo-France.* Méteo-France.

MOPU. (1990) *La nieve en el Pirineo español. Estudio de los recursos hídricos procedentes de la fusión nival en alta montaña. (Programa ERHIN).* Madrid.

Rodés, P. (1992) *Aludes.* Ed. Ergon. Barcelona.

Salm, B. y Gubler, H. (1987) *Avalanche Formation, movement and effects.* International Association of Hydrological Sciences. Publication nº 162. Wallingford.

Unesco. (1981) *Avalanche Atlas.* Illustrated International Avalanche Classification. Paris. UNESCO.

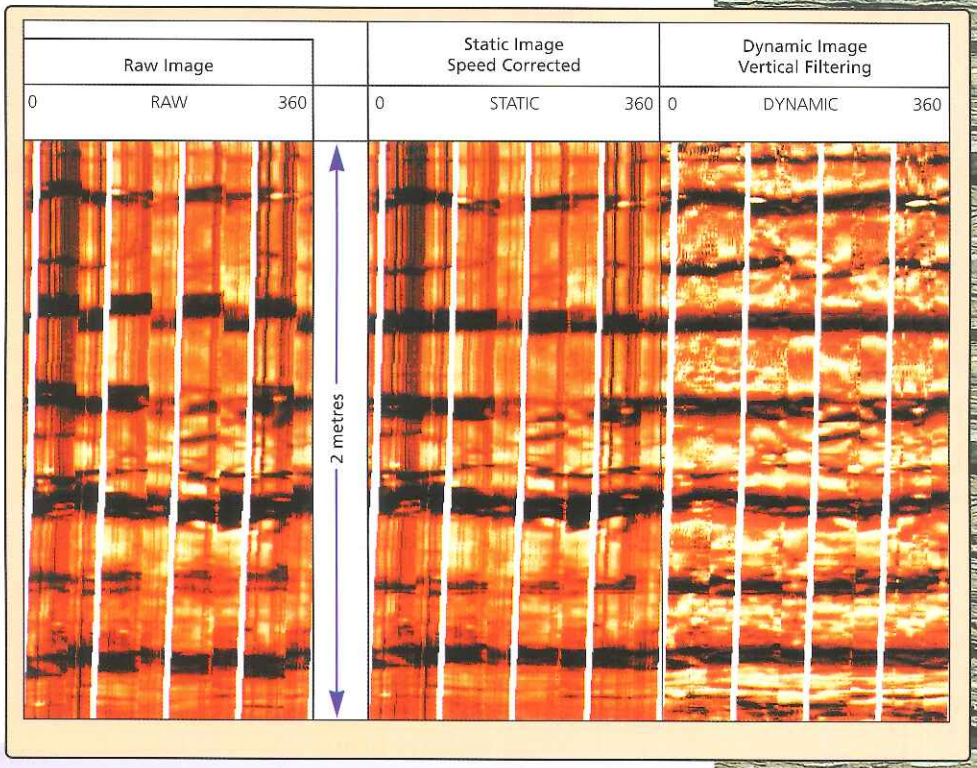
Vilaplana, J. (1989) *Los aludes: un riesgo mal conocido.* Encuentro internacional Catástrofes y sociedad. Itsemap (Mapfre). Madrid.



Enormes barreras de seracs en la cara norte del Tirsuli, al término de la temporada monzónica. Garhwal Occidental, U.P. India.

Z&S: "LA SOLUCIÓN CORRECTA EN UN MUNDO REAL"

Z&S SON ESPECIALISTAS EN PROCESO DE DATOS Y CONTROL DE CALIDAD DE todo tipo de imágenes de sondeo y dipmeter. Debido a que somos independientes de las compañías de testificación, le ofrecemos nuestros servicios de proceso de diagrafías y control de calidad. Nuestro objetivo es lograr los mejores resultados posibles con los datos aportados. Z&S GEO*Science* usa RECALL, nuestro versátil software para almacenar datos de pozos y realizar análisis. El proceso de datos se realiza a través de aplicaciones de dipmeter, imágen de sondeo e impresión, denominadas respectivamente: INCLINE, IMAGE y SPATIAL. Estas aplicaciones acceden directamente a la base de datos RECALL.



Why should Z&S process your borehole image and dipmeter data?

Z&S have the processing solution for all tools...

- Z&S can fully process all borehole image and dipmeter tools from any acquisition contractor
- Resistivity image logs: Schlumberger FMS, FMI; Halliburton EMI; Atlas STAR2
- Acoustic image logs: Atlas CBIL; Schlumberger UBI; Halliburton CAST; BPB AST
- Dipmeter logs; 4-arm. 6-arm, 8-button, 12 button.

Z&S have the experience...

- Processing is carried out by interpretation geologists who are aware of the geological importance of resulting images and dips
- Z&S have experience of quality control and image interpretation pitfalls in horizontal or highly deviated wells.

Z&S are independent...

- Z&S are independent of wireline acquisition companies, therefore providing objective log quality control
- We take a stepped approach to data processing, and will only continue if justified by the data quality and after liaison with our clients
- We can provide impartial advice on choice of logging tool for optimum results, at the well planning stage
- Assessment of data prior to analysis, particularly for historic well data
- We have established good working relationships with all logging companies.

RECALL
INCLINE
IMAGE
PETROS
SPATIAL
SONIC

Z&S GEOScience

Z&S Geology Limited Kettock Lodge, Campus 2, Balgownie Drive, Bridge of Don, Aberdeen AB22 8GU, Scotland, UK.
TELEPHONE: (+44) 1224 822555 FAX: (+44) 1224 823777

"ESPECIALISTAS EN IMÁGENES DE SONDEO Y DIPMETER"

For further information on how Z&S can help you more accurately assess bed resisitivity, contact your nearest Z&S office:

http://www.zands.com/

LONDON **(44) 181 202 2433** ABERDEEN **(44) 1224 822555** HOUSTON **(1) 281 445 0767**
STAVANGER **(47) 51 84 96 96** COPENHAGEN **(45) 33 147333** PERTH **(61) 8 9322 4244**

Patrimonio geológico de Ibiza, divulgación y utilización. Las rutas del halcón

Jaime Palacio Suárez

Director de Investigación Geológica y Geología Aplicada de INYPSA. Miembro de la S.E.G.A.O.T y del Club Español de la Geología.

Como resultado de la realización del Inventario, Tratamiento y Catalogación del Patrimonio Geológico de la Isla de Ibiza, se analizan los treinta y cinco lugares estudiados y se propone: su utilización, atendiendo a su interés y contenido, su divulgación, aprovechando la infraestructura turística existente y su protección, teniendo en cuenta la existencia en la isla de once Áreas Naturales de Especial Interés.

Thirty-five studied locations, resulting from the project Inventory, Treatment and Catalogue of the Geological Heritage of the Island of Ibiza *are analysed. The following proposals are made:* Utilisation *attending to interest and content,* popularisation *using the existing tourism infrastructure and* protection *taking into account the existence at the island of eleven* Natural Areas of Special Interest.

Introducción

En plena ruta del sol de los antiguos fenicios, Ibiza está situada en la parte occidental del Mediterráneo. Tiene una extensión de 572 km^2 y 210 km de costa (la tercera del archipiélago balear, que, junto con Formentera, forma las "Islas Pitiusas" o con "pinos" de los griegos).

Desde el punto de vista geológico, la Isla de Ibiza forma parte de las Cordilleras Béticas, ocupando una posición intermedia entre los afloramientos alicantinos y los de la Isla de Mallorca.

A grandes rasgos la Isla de Ibiza puede considerarse constituida por el apilamiento de una serie de láminas cabalgantes de SE a NO, estructuradas en amplios pliegues volcados, con algunos de sus flancos intensamente laminados.

En el sector suroriental, los materiales aflorantes presentan características estratigráficas próximas a las de las Unidades Intermedias con facies de mar abierto, a diferencia del sector noroccidental con series asimilables al Prebético Interno, más próximas al continente.

Se pueden distinguir tres grandes unidades cabalgantes, emplazadas durante la tectogénesis alpina (Mioceno medio en la región).

– **Unidad de Aubarca**. En principio puede considerarse el autóctono relativo en la isla, estando integrada por materiales mesozoicos, especialmente del Cretácico inferior y Mioceno, con importantes recubrimientos cuaternarios.

– **Unidad de Llentrisca - Rey**. Constituida por diversas subunidades, cabalga sobre depósitos miocenos y cretácicos de la Unidad de Aubarca, con un trazado evidente en el sector suroccidental pero mucho más difuso al alcanzar los depósitos cuaternarios del entorno de la Bahía de San Antonio.

– **Unidad de Ibiza**. Es la más elevada tectónica y topográficamente. Aflora extensamente por todo el sector suroriental y está constituida por sedimentos jurásicos y cretácicos que cabalgan sobre los depósitos miocenos de la Unidad de Llentrisca-Rey.

El estudio del Patrimonio Geológico de Ibiza se ha planteado con dos objetivos complementarios: en primer lugar, llevar a cabo el inventario general de los "lugares de interés geológico" del área indicada y, en segundo lugar, y a partir de los datos obtenidos en la fase anterior, *realizar las recomendaciones concretas para la mejor y mayor utilización posible de las áreas o espacios inventariados.*

El primero y más general de los objetivos del estudio del Patrimonio Geológico de un determinado territorio, debe ir encaminado a lograr el mayor grado de conocimiento de las características de un proceso de inventariado suficientemente amplio, en forma de muestreo y con un grado de detalle tal que permita una evaluación tanto del lu-

gar estudiado como del significado regional y social del mismo.

El estudio e inventariado no sería suficiente si no va acompañado de propuestas de divulgación, tanto en lo que se refiere a los rasgos geológicos en sí, como a la consideración de la estructura administrativa de la región, el comportamiento socioeconómico de su población y el de sus visitantes reales y potenciales.

Es bien sabido que la divulgación, absolutamente imprescindible, conlleva el riesgo de deterioro, que es directamente proporcional a la falta de planificación y protección, durante su utilización turística o recreativa e incluso el riesgo de su destrucción por explotación o utilización de sus recursos. En los casos en que incidan intereses económicos (privatización, coleccionismo, etc.) es imprescindible asegurar la protección antes o simultáneamente a la divulgación.

Uno de los objetivos que deben cumplir los lugares o áreas de interés que conforman el Patrimonio Geológico de una región o comarca es la representación, lo más correcta posible, de las características geológicas de la misma, de forma que se pueda llegar a través de él a un conocimiento geológico lo más real posible, siendo 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.

Es evidente que habrá que destacar también aquellos riesgos que se puedan considerar anómalos, dentro del contexto geológico regional, aunque *su rareza no debe puntuar mucho más que el propio interés del rasgo.*

		INTERÉS POR SU CONTENIDO								POR SU UTILIZACIÓN			
Nº	ÁREAS Y LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO DENOMINACIÓN	GEOMORFOLOGICO	ESTRATIGRAFICO	ESTRUCTURAL	SEDIMENTOLOGICO	PALEONTOLOGICO	MINERALOGICO	MINERO	GEOTÉCNICO	TURISTICO	CIENTIFICO	DIDACTICO	ECONOMICO
78	Calizas con esponjas de Punta Grossa-Faro des Botafoch		M*		B					B	M	B	
79	Playa y dunas des Cavallet	M*								A	B	M	
80	Playa de Sa Trincha o Mitjorn	M*			B			M		A	B	M	
81	Las Salinas-Pont de Baix	M								B	B	M	M
82	Serie mesozóica de Cala Jondal	B	M*							M	M	B	
83	Costa acantilada y glacis de Punta Porroig	M*			M					M	B	M	
84	Cabalgamiento y acantilados de la Torre del Pirata	M	M	M*						A	M	M	
85	Cabalgamiento y glacis de Cala D'Hort	B		M*	B					A	B	M	
86	Mirador de L'Atalaia de Sant Josep	A								A	B	A	
87	Complejo dunar de Cala Conte	M*		B						A	B	B	
88	Sección mesozóica de Na Foradada	B	M	M*	B					A	M	M	
89	Dolina de Can Francolí	B			M					B	B	M	
90	Polje de Santa Inés	B								B	B	M	
91	Polje de San Mateo	M*								B	B	M	
92	Sinclinal de Cala Eubarca	B	B	M*						M	M	M	
93	Cantera de San Miguel		M*					B		B	M	B	M
94	Triásico de Isla Blanca		M*		M	B				M	M	B	
95	Barras cretácicas y acantilados de Penyal de S'Águila	M	B		B M*	B				A	M	M	
96	Cretácico de Sa Ferradura	B	M*	B		B				M	M	B	
97	Rasa de S'Illa Murada	M*			M					M	B	M	
98	Cova de Can Marça	A	B	M						A	M	A	M
99	Cala de Benirrás	B	B	M*						A	B	M	
100	Triásico de Punta Negra		B	M*						M	M	B	
101	Discordancias de Cala des Porcs		B	B						A	B	M	
102	Calizas y dolomías de San Juan		B		B					B	M	B	
103	Ritmita de Cala Xarraca		B		M*					M	M	B	
104	Mioceno postectónico de Cala Portinatx		B		M* M	M*				A	M	B	
105	Bioconstrucciones calcáreas de Cala D'En Serra				M*	B				M	M	B	
106	Cabalgamiento de Port de Ses Caletes		M	A						M	M	M	
107	Margas y margocalizas de Cala San Vicente	B	M*		M					A	M	M	
108	Rasa de Pou des Lleo-Punta D'En Valls	M	B	M	A	M				B	A	M	
109	Mioceno de Cala Mastella		B		B		B			M	B	B	
110	Recuperación de las márgenes y desembocadura del río Sta. Eularia	M			B				M*	A	B	M	
111	Calizas de Cala Llonga	B	M*		M					A	M	B	
112	Pliegues de Cap Martinet	B	B	M*						B	B	M	

M* = Interés principal A = Alto M = Medio B = Bajo

Tabla 1. Listado de las áreas y lugares de interés geológico de la isla de Ibiza.

Prospección y evaluación del patrimonio

Basándose en estos criterios se ha elaborado una relación de *treinta y cinco (35) lugares o puntos de Interés Geológico.*

En la cuantificación de los datos se han tenido en cuenta varios parámetros: extensión superficial de los rasgos, influencia en el entorno, monotonía o variabilidad de cada rasgo, representatividad y repetición del mismo, singularidad del rasgo, etc.

En la relación y cuadros que se adjuntan se resumen los resultados de la evaluación e inventario realizados en la Isla de Ibiza. Las **tablas** numeradas de **2 a 4** representan la distribución de los lugares que conforman el Patrimonio Geológico de Ibiza atendiendo al tipo de interés principal, al grado de los tipos de interés y al grado de interés según su potencial utilización.

La Isla de Ibiza es conocida internacionalmente por su carácter turístico, pero encierra una riqueza geológica y geomorfológica que, unida a sus peculiares características botánicas, dan lugar a un paisaje de singular belleza.

Todo ello hace necesario e imprescindible el conocimiento y divulgación de un Patrimonio Geológico, prácticamente desconocido incluso para los iniciados.

Las habituales limitaciones (humanas, técnicas y presupuestarias) han obligado a estudiar el Patrimonio Geológico de Ibiza meditando y valorando los tipos de interés que concurrían en cada uno de los lugares elegidos como

GEOMORFOLOGIA		**10**		**28,5 %**
– Playas y Dunas	**3**		**8,5 %**	
– Acantilados y miradores	**2**		**5,5 %**	
– Procesos kársticos	**4**		**11,5 %**	
– Rasas y Penillanuras	**1**		**2,8 %**	**68,5 %**
EVOLUCION GEOLOGICA		**24**		
ESTRATIGRAFICO	**6**		**17,0 %**	
SEDIMENTOLOGICO	**7**		**20,0 %**	
ESTRUCTURAL	**8**		**22,8 %**	
REGISTRO PALEONTOLOGICO	**1**		**3,0 %**	
MINERO Y MINERALOGICO	**2**		**5,7 %**	
ANTROPICOS		**1**		**3,0 %**
TOTALES		**35**		**100,0 %**

Tabla 2. Distribución atendiendo al tipo de interés principal.

TIPO DE INTERÉS	GRADO DE INTERÉS					
	A	M	B	TOTAL	%	
GEOMORFOLOGICO	2	11	9	22	25,00	25
TECTONICO	1	9	3	13	14,77	15
ESTRATIGRAFICO	–	10	12	22	25,00	25
SEDIMENTOLOGICO	1	11	8	20	22,73	23
PALEONTOLOGICO	–	2	5	7	7,95	8
MINERALOGICO	–	–	1	1	1,14	1
MINERO	–	1	1	2	2,27	2
GEOTECNICO	–	1	–	1	1,140	1
TOTAL	**4**	**45**	**39**	**88**	**100,00**	**100**

Tabla 3. Distribución y grado de los tipos de interés (A = Alto; M = Medio; B = Bajo).

	ALTO	MEDIO	BAJO	TOTAL
INTERES TURISTICO	14 (40 %)	12 (34 %)	9 (26 %)	**35 (32,4 %)**
INTERES DIDACTICO	2 (6 %)	20 (57 %)	13 (37 %)	**35 (32,4 %)**
INTERES CIENTIFICO	1 (3 %)	18 (51 %)	16 (46 %)	**35 (32,4 %)**
INTERES ECONOMICO		3 (8,5 %)		3 (2,8)

Tabla 4. Distribución atendiendo a su utilización.

PROPUESTA DE UTILIZACION	Nº	VALOR	V/N	N %	V %
TURISTICO	35	75	2,14	32,40	38,46
DIDACTICO	35	59	1,69	32,40	30,26
CIENTIFICO	35	55	1,57	32,40	28,20
ECONOMICO	3	6	2,00	2,80	3,08
TOTALES	**108**	**195**	**1,80**	**100,00**	**100,00**

Valor = Grado de interés (Alto x 3 + Medio x 2 + Bajo x 1).
Tabla 5. Valoración de las propuestas de utilización.

representativos, así como su incidencia sobre la región, la cuantificación de sus posibles usos y la previsión de los datos que puedan aconsejar o hacer muy difícil una protección.

Por último está el hecho fundamental, sobre todo teniendo en cuenta la casi imposibilidad de inventariar *todos* los lugares de interés que conforman el Patrimonio Geológico de una región de cierta envergadura, de que "a partir de los puntos elegidos pueda reconstruirse la historia geológica, su morfología y procesos actuales y sus características de utilización del territorio, recursos y actividad humana en su incidencia sobre el soporte geológico" (Elízaga, *et al.*, 1980).

Los datos se representan en la **Tabla 1** con diferentes entradas en función del tipo y grado de interés, de su contenido y del tipo de propuestas de utilización.

El orden de colocación corresponde a un barrido de Este a Oeste y de Sur a Norte (el de las agujas del reloj) partiendo de la localidad de Ibiza.

Los 35 puntos inventariados y catalogados se han numerado del 78 al 112 como continuación de los 77 lugares que conforman el Patrimonio Geológico de la Isla de Menorca (Elízaga, *et al*, 1988).

Utilización

La valoración de utilización del inventario se resume en la **Tabla 4,** atendiendo al grado de interés asignado a las diferentes propuestas.

Destacan entre los 35 lugares inventariados 17 grados altos de propuesta de utilización, pero también debe señalarse que con grado medio existen 53 propuestas de utilización, resaltando su multiplicidad de usos.

De la misma forma que los tipos de interés, se han analizado las propuestas de utilización y los resultados se exponen en la **Tabla 5.**

Destaca como conclusión que entre los 35 lugares inventariados la presencia de interés didáctico, científico y turístico con relaciones V/N (valor/número de espacios) es máxima en el caso de interés turístico, disminuyendo esta relación para los intereses didáctico y científico por este orden (la propuesta de utilización económica está sobrevalorada y no es representativa).

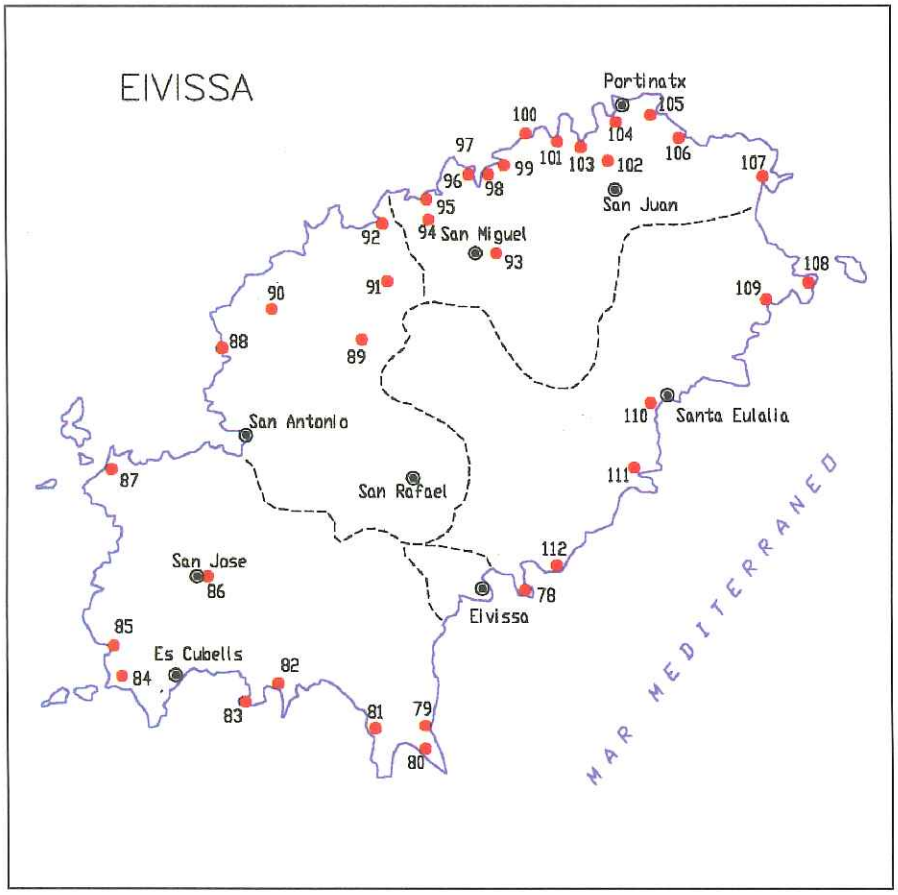


Figura 1. Situación de los lugares de interés geológico.

Divulgación del patrimonio geológico

Como ya se ha indicado, la mayor divulgación se realiza durante la elaboración del inventario, seleccionando y valorando aquellos puntos que presenten mayores facilidades a la visita, o aquellos lugares de observación que permitan ver la belleza de un paisaje natural en el que sea fácil analizar sus elementos y evaluación.

Un proyecto de divulgación debe incluir al menos tres aspectos diferentes:

– Ordenación de los puntos según itinerarios o rutas de fácil recorrido.

– Publicaciones de diferente rango, desde el uso elemental para centros escolares, hasta publicaciones para personas de mayores conocimientos geológicos.

– Finalmente señalización apropiada para una fácil orientación y llegada a los lugares de interés.

Los niveles de divulgación por tanto deben ser tres:

– Un primer nivel dirigido a personas sin, o con muy poca, preparación en el conocimiento de la naturaleza. Debe tener una fuerte carga turística y didáctica capaz de poder ser distribuida a través de los centros escolares de Enseñanza Primaria y Centros de Iniciativas y Turismo, autonómicos o de la isla.

– Un segundo nivel con mayor carga de utilización didáctica, conteniendo una explicación de los rasgos geológicos de nivel medio y relacionando entre sí procesos o rasgos que puedan ser vistos en lugares próximos. Su canalización debe tener lugar a través de centros de Enseñanza Secundaria o equivalentes y Oficinas de Turismo.

– El tercero debe incluir un análisis con metodología científica de los rasgos geológicos de los diferentes puntos, destacando aquellos aspectos científicos y didácticos que representen ejemplos espectaculares o sean claramente visibles. Su canalización debe llevarse a cabo a través de los Seminarios de Ciencias Naturales de los Institutos Nacionales de Bachillerato y Asociaciones científicas de Protección de la Naturaleza.

Rutas del halcón

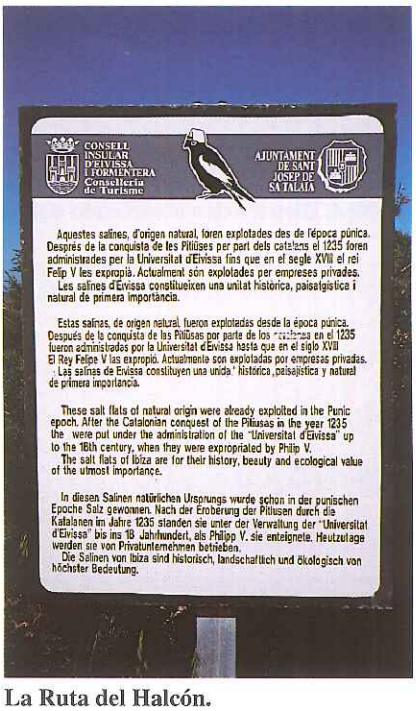
En diversos lugares turísticos de la isla de Ibiza el visitante se encontrará con distintos paseos y excursiones para realizar ya sea a pie o en bicicleta.

El emblema de estas rutas, el *Falco Eleonorae,* es un ave singular de la que se calcula que, en todo el mundo, existen unas 6000 parejas, que crían todas en el Mediterráneo, Canarias y la costa noroccidental de Africa. En noviembre todos los ejemplares emigran a Madagascar para pasar el invierno y en Ibiza crían especialmente en las islas de Es Vedra y Tagomago.

Estos paseos o "Rutas del Halcón", dan acceso a las mejores vistas panorámicas, playas, caminos pintorescos o simplemente opciones para conocer los alrededores del rincón elegido de la isla.

Estas rutas están marcadas por postes de colores que las diferencian unas de otras, el símbolo como ya se ha expuesto, es el halcón *Eleonor* y al comienzo de las mismas un cartel indicador muestra el recorrido e indica, del tres al uno, el grado de dificultad; un uno para los más difíciles y un tres para los más fáciles. Debe aclararse que estas graduaciones están pensadas para personas sin excesiva preparación deportiva.

Se propone pues la *utilización de*



La Ruta del Halcón.

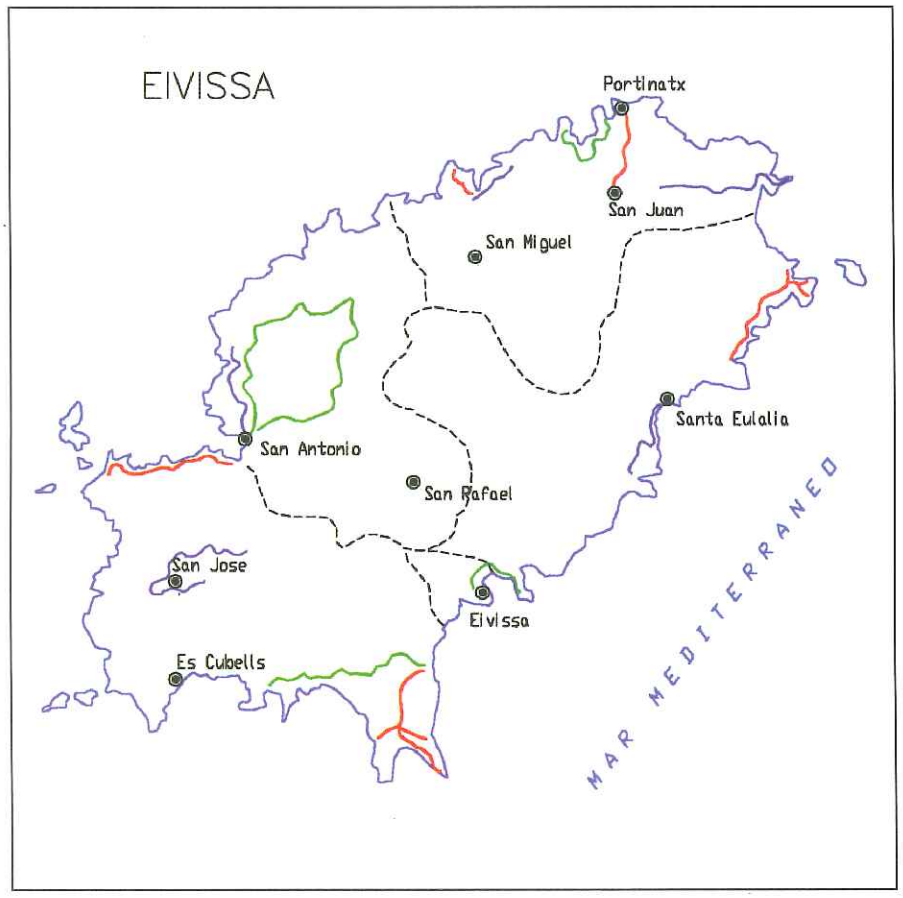


Figura 2. Rutas del Halcón y patrimonio geológico.

esta infraestructura para una buena divulgación del Patrimonio Geológico de la Isla de Ibiza, dada la gran coincidencia entre las Rutas del Halcón y los Lugares de Interés Geológico inventariados.

Ruta de Eivissa

• ***"Circuito clásico".*** Bordea el puerto de Ibiza (pesquero y deportivo) para terminar en el Faro des Botafoch. El trayecto cuenta con una alternativa recomendable: cruzar el puerto con una "golondrina" (Barca de Talamanca) que tiene su embarcadero junto al monumento a los corsarios (se dice que es el único en el mundo) y el tramo final hacerlo a pie hasta Botafoch (a pie grado 2, en bicicleta 3).

Pueden observarse en esta ruta dos lugares de interés :

– CALIZAS CON ESPONJAS DE PUNTA GROSSA - FARO DES BOTAFOCH

– PLIEGUES DE CAP MARTINET

Rutas de Sant Josep de Sa Talaia

• ***"Playa D'en Bossa - Salines - Cavallet".*** Ruta de baja dificultad tanto a pie como en bicicleta (grado 3). Comprende una visita a las playas de "es Codolar, es Cavallet y Ses Salines", las Salinas propiamente dichas y la torre de "Punta de ses Portes". Tanto "es Codolar" como "Ses Salines y es Cavallet" disponen de bares y restaurantes.

Lugares de interés geológico en esta ruta:

– PLAYA Y DUNAS DES CAVALLET

– PLAYA DE SA TRINCHA O MITJORN

- LAS SALINAS - PONT DE BAIX

• ***"Playa d'en Bossa - Sant Jordi-Sa Caleta".*** Ruta igualmente de grado 3 tanto a pie como en bicicleta, es decir fácil. Pasando por la Iglesia de Sant Jordi (S. XIV) el camino continúa hacia "Sa Caleta" y finaliza en la playa "des Jondal". En las calas existen bares y restaurantes.

En esta ruta se pueden observar los siguientes lugares de interés geológico:

– LAS SALINAS - PONT DE BAIX

– SERIE MESOZOICA DE CALA JONDAL

– COSTA ACANTILADA Y GLACIS DE PUNTA PORROIG

• ***"Sant Josep - Sa Atalaia".*** El grado de dificultad es elevado incluso para ir a pie (grado 1). La "Atalaia de Sant Josep", con más de 400 m sobre el nivel del mar, es el punto más alto de la isla y permite observar una interesante panorámica del sur de la misma.

Como áreas de interés geológico asociadas a esta ruta estarían :

– CABALGAMIENTO Y ACANTILADOS DE LA TORRE DEL PIRATA



Cordón de cantos de Es Codolar. Ses Salines - Pont de Baix.

– *CABALGAMIENTO Y GLACIS DE CALA D'HORT*

– *MIRADOR DE L'ATALAIA DE SANT JOSEP*

• ***"Cala de Bou - Platjes de Conte"***. Este itinerario es de longitud media, puede hacerse tanto a pie como en bicicleta (grado 3). Está clasificado como Área Natural de Especial Interés. Deben destacarse las puestas de sol tanto en invierno como en verano.

Como zona de interés geológico se ha inventariado

– *COMPLEJO DUNAR DE CALA CONTE*

Rutas de San Antoni de Portmany

• ***"San Antoni - Cova de Santa Agnés - Cala Salada"***. Interesante ruta al norte del municipio que coincide con el "camí de cas Ramons". En el primer tramo se encuentra la Cova de Santa Agnés, otra parte de la ruta va al mirador de "can Bernadet", desde donde se disfruta de una bella vista de la bahía. Además de la playa, cala Salada y sa Foradada, en la zona de "ses fontanelles" existe una cueva con pinturas prehistóricas.

Las dificultades de la ruta (grado 2) no son excesivas, salvo el tramo de "ses fontanelles" que no está indicado para bicicleta.

Como lugar de interés geológico puede observarse :

– *SECCION MESOZOICA DE NA FORADADA*

• ***"San Antoni - San Agnés de Corona - Pla de Corona"***. Este itinerario está pensado para mostrar el medio rural, es largo pero no presenta gran dificultad. Resultan especialmente interesantes, dadas las características de los puntos de interés geológico, el "Pla de Corona" y la zona de "els Brolls" (en catalán "broll" significa brote = surgencia).

Los lugares de interés geológico asociados a esta ruta son :

– *DOLINA DE CAN FRANCOLI*

– *POLJE DE SANTA INES*

– *POLJE DE SAN MATEO*

y ya un poco más al norte :

– *SINCLINAL DE CALA EUBARCA*

Rutas de Sant Joan de Labritja

• ***"Port de Sant Miquel - Torre des Molar"***. Este fácil itinerario permite conocer el "caló des Moltons" y la "cala d'en Ferrer" así como embarcaciones y embarcaderos típicos de los pescadores del lugar. Al llegar a la torre de defensa la vista resulta muy interesante.



Cabalgamiento de calizas del tránsito Jurásico - Cretácico (Tithónico - Valanginiense) sobre margas miocenas (Burdigaliense) en las islas de Es Vedrá y Es Vedranell.

Como lugares asociados a esta ruta están:

– *CRETACICO DE SA FERRADURA*

– *RASA DE S'ILLA MURADA*

Al sureste de San Miguel

– *CANTERA DE SAN MIGUEL*

y al Este y en la costa

– *TRIASICO DE ISLA BLANCA*

– *BARRAS CRETACICAS Y ACANTILADOS DE PENYAL DE S'AGUILA*

• ***"Port de San Miquel - Cova de Can Março - Benirras"***. Se trata de un paseo corto de unos 4 km, pero con pendientes bastante fuertes (grado 1) para hacerlo en bicicleta. En Benirrás hay instalaciones donde se puede comer y beber. Esta playa fue (en los años 60) lugar de reunión del movimiento hippy, especialmente en días de luna llena.

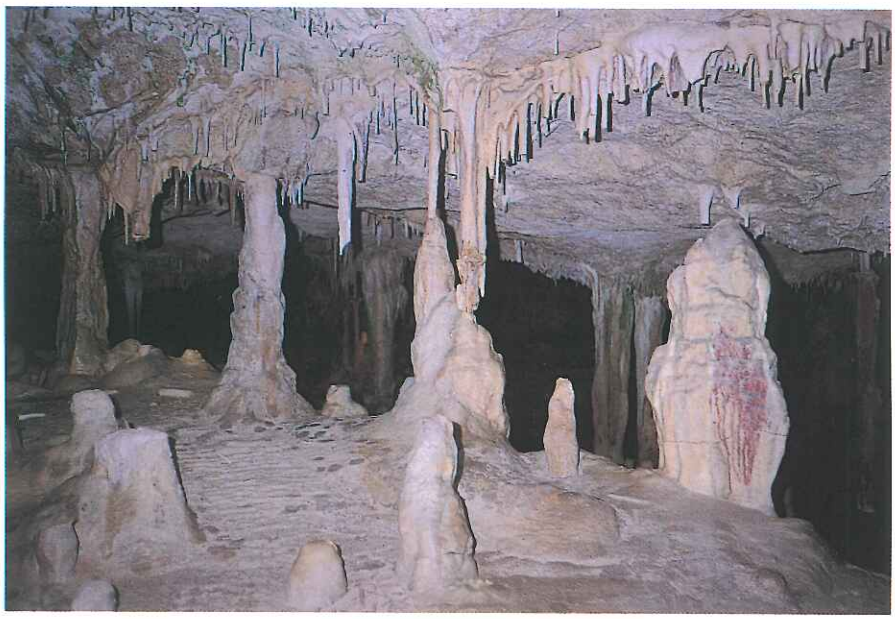
Los lugares de interés asociados a esta ruta son:

– *COVA DE CAN MARÇA*

– *CALA DE BENIRRAS*

y un poco más al noreste también en la costa:

– *TRIASICO DE PUNTA NEGRA*



Karst en las calizas cretácicas, en facies urgonianas, de la Cova de Can Março.



Calcarenitas y bioconstrucciones calcáreas del Mioceno (Tortoniense - Messiniense). Cala d'en Serra.

• ***"Cala Xuclar - Cala Xarraca - S'Illot des Renclí".*** Itinerario de unos 10 km, que transcurre casi siempre por la costa, lo que permite ofrecer vistas interesantes de sus calas.

Asociado a estas rutas se encuentran los siguientes lugares de interés:

– *DISCORDANCIA DE CALA DES PORCS*

– *RITMITA DE CALA XARRACA*

– *MIOCENO POSTECTONICO DE CALA PORTINATX*

• ***"Sant Joan de Labritja".*** Antigua ruta de carro, por la que los habitantes de la zona se trasladaban a Sant Joan. Ruta eminentemente deportiva por su longitud y sus cuestas, por lo que no es recomendable en verano, especialmente en las horas centrales del día.

De sur a norte se pueden observar los siguientes lugares de interés asociados a esta ruta :

– *CALIZAS Y DOLOMIAS DE SAN JUAN*

- *MIOCENO POSTECTONICO DE CALA PORTINATX*

- *BIOCONSTRUCCIONES CALCAREAS DE CALA D'EN SERRA*

- *CABALGAMIENTO DE PORT DE SES CALETES*

• ***"San Vicent de sa Cala - Cala San Vicent - Punta Grossa".*** En realidad están señalizadas como dos rutas diferentes: una el tradicional camino payés, que conecta el pueblo con la cala del mismo nombre y otra, con mayores pendientes y dificultad, hasta llegar a "punta Grossa", desde donde se puede disfrutar de una vista maravillosa.

En relación con estas rutas se encuentran los siguientes lugares de interés geológico:

– *MARGAS Y MARGOCALIZAS DE CALA SAN VICENTE*

Rutas de Santa Eularia des Riu

• ***"Es Canar - Pou des Lleo".*** La ruta arranca del centro turístico "des Canar" y recorre una franja costera hacia el norte, de longitud media y recomendada para bicicletas, visitando diversas playas con bares y restaurantes. El "Faro de punta Prima", la playa de "Pou des Lleó" y "Punta d'en Valls", con vista sobre la isla de Tagomago, son algunos de los lugares, junto con "Cala Boix", que hacen de esta ruta una de las más interesantes.



Facies de dolomías «franciscanas» en el Muschelkalk de la Rasa de Pou des Lleó. Punta d'en Valls.

Asociados a ellas se encuentran los siguientes puntos:

– *RASA DE POU DES LLEO - PUNTA D'EN VALLS*

– *MIOCENO DE CALA MASTELLA*

• ***"Cala Llonga - Santa Eularia".*** Esta ruta puede realizarse a pie o en bicicleta (grado 3 y 2 respectivamente) y transcurre a lo largo de la costa entre pinares y sabinas uniendo "Cala Llonga" con "Santa Eularia des Riu" (el único río de la isla, y cuyo caudal prácticamente desaparece en épocas de estiaje).

Asociada a esta ruta se pueden observar los siguientes lugares de interés:

– *RECUPERACION DE LAS MARGENES Y DESEMBOCADURA DEL RIO STA. EULARIA*

– *CALIZAS DE CALA LLONGA*

Patrimonio geológico y espacios naturales protegidos

Una vez realizado el inventario de lugares de Interés Geológico de la Isla de Ibiza, se ha podido comprobar que la mayor parte del Patrimonio Geológico (85%) está afectado por alguna figura de protección. Así, 30 de los 35 Lugares de Interés Geológico inventariados, se encuentran incluidos dentro de seis de los once espacios naturales protegidos por ley del Parlament Balear (1/1991), bajo la figura de Áreas Naturales de Especial Interés.

Siguiendo el sentido de las agujas del reloj de Este a Oeste y de Sur a Norte el resultado de la relación **espacios protegidos - lugares de interés geológico**, es el siguiente.

– *Ses Salines. Área Natural de Especial Interés (1076 ha)*

PLAYA Y DUNAS DES CAVALLET

PLAYA DE SA TRINCHA O MITJORN

LAS SALINAS - PONT DE BAIX

– *Cala Jondal. Área Natural de Especial Interés (281 ha)*

SERIE MESOZOICA DE CALA JONDAL

COSTA ACANTILADA Y GLACIS DE PUNTA PORROIG

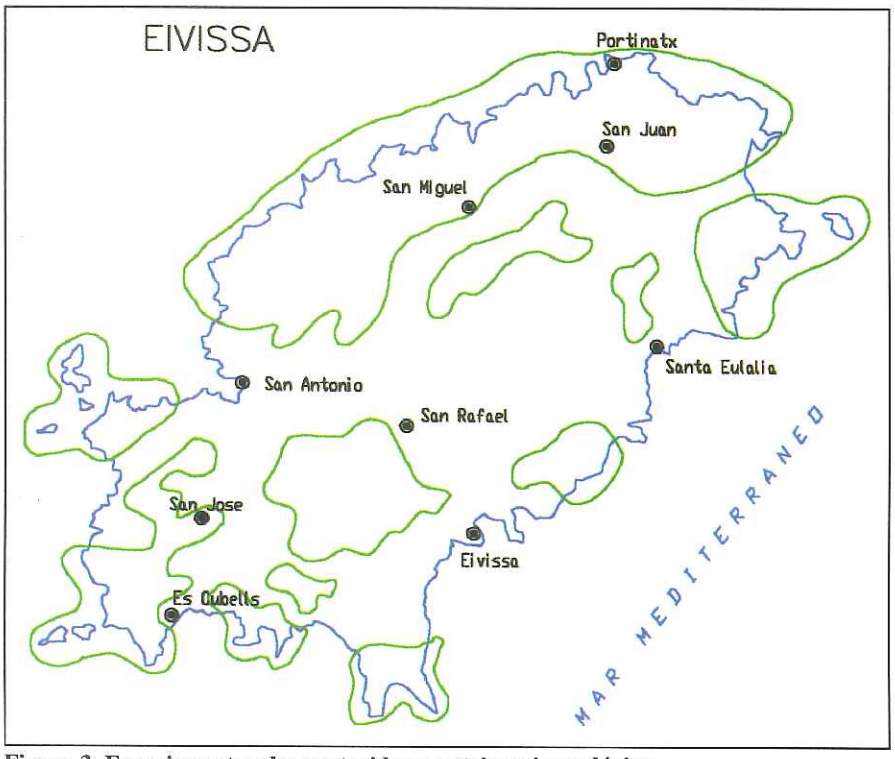


Figura 3. Espacios naturales protegidos y patrimonio geológico

– Cap Llentrisca - Sa Talaiassa. Área Natural de Especial Interés (2.907 ha)
CABALGAMIENTO Y ACANTILADOS DE LA TORRE DEL PIRATA
CABALGAMIENTO Y GLACIS DE CALA D'HORT
MIRADOR DE L'ATALAIA DE SANT JOSEP
Cala Conte - Cala Bossa. Área Natural de Especial Interés (335 ha)
COMPLEJO DUNAR DE CALA CONTE
–Auments d'Eivissa. Área Natural de Especial Interés (12.327 ha)
SECCION MESOZOICA DE NA FORADA
DOLINA DE CAN FRANCOLI
POLJE DE SANTA INES
POLJE DE SAN MATEO
SINCLINAL DE CALA EUBARCA
TRIASICO DE ISLA BLANCA
BARRAS CRETACICAS Y ACANTILADOS DE PENYAL DE S'AGUILA
CRETACICO DE SA FERRADURA
RASA DE S'ILLA MURADA
COVA DE CAN MARÇA
CALA DE BENIRRAS
TRIASICO DE PUNTA NEGRA
DISCORDANCIAS DE CALA DES PORCS
CALIZAS Y DOLOMIAS DE SAN JUAN
RITMITA DE CALA XARRACA
MIOCENO POSTECTONICO DE CALA PORTINATX
BIOCONSTRUCCIONES CALCAREAS DE CALA D'EN SERRA
CABALGAMIENTO DE PORT DE SES CALETES
MARGAS Y MARGOCALIZAS DE CALA SAN VICENTE
– Massis de Sant Carles. Área Natural de Especial Interés (3.673 ha)
RASA DE POU DES LLEO - PUNTA D'EN VALLS
MIOCENO DE CALA MASTELLA

Únicamente cinco (5) lugares de Interés Geológico, de los treinta y cinco inventariados, no están incluidos dentro de alguna de las once Areas Naturales de Especial Interés y son, igualmente a partir de Ibiza y de Sur a Norte y de Este a Oeste, los siguientes :

CALIZAS CON ESPONJAS DE PUNTA GROSSA - FARO DES BOTAFOCH
CANTERA DE SAN MIGUEL
RECUPERACIÓN DE LAS MÁRGENES Y DESEMBOCADURA DEL RÍO STA. EULARIA
CALIZAS DE CALA LLONGA
PLIEGUES DE CAP MARTINET

Esta circunstancia unida al hecho de la existencia de rutas turísticas como las del Halcón ya descritas, permite albergar cierto optimismo sobre las posibilidades de divulgación del Patrimonio Geológico de Ibiza, si las autoridades locales y/o autonómicas dedican el interés y los recursos necesarios para divulgar y proteger una realidad digna de ser conocida y comprenden que, el Patrimonio Geológico constituye, además, una potencial fuente de ingresos si se gestiona adecuadamente.

Bibliografía

- AZEMA, J.; CHABRIER, G.; CHAUVE, P. y FOURCADE, E. (1979). Nouvelles donnees stratigraphiques sur le Jurassique et le Cretacé du Nord-Ouest d'Ibiza (Baleares, Espagne). Geologica Rom. 18, 1-21.
- DUQUE, L.C.; MURCIA, V.; ABRIL, J.; GARCIA SALINAS, F. y ELIZAGA, E. (1978). Proyecto previo de puntos de interés geológico. Instituto Geológico y Minero de España. IGME (Inédito).
- DURAND - DELGA, M.; FRENEIX, S.; MAGNE, J.; MEON, H.; RANGHEARD, Y. (1993). La série saumâtre et continentale d'âge Miocéne moyen et supérieur d'Eivissa (ex-Ibiza, Baléares). Acta Geológica Hispanica 28 (1) : 33 - 46.
- ELIZAGA, E.; ABRIL, J.; DUQUE, L.C.; GARCIA SALINAS, F. y MURCIA, V. (1980). Los puntos geológico - mineros de interés singular como patrimonio natural: su inventario y metodología de estudio. I. Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Volumen de Comunicaciones. 21 p. Santander.
- ELIZAGA, E.; PALACIO SUAREZ, J.; GONZALEZ LASTRA, J.A. y SANCHEZ DE LA TORRE, L. (1980). Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico del Sector Occidental de la Cordillera Cantábrica (Vertiente Septentrional. IGME). (Inédito).
- FOURCADE, E.; CHAUVE, P. y CHABRIER, G. (1982). Stratigraphie et tectonique de l'île d'Ibiza, témoin du prolongement de la nappe subbétique aux Baléars (Espagne). Eclogae geol. Helv. 75, 2. 415-436.
- GONZALEZ LASTRA, J.; ELIZAGA, E.; PALACIO SUAREZ, J. y SANCHEZ DE LA TORRE, l. (1981). Los puntos de Interés Geológico y Minero. Metodología (Sector Septentrional de la Cordillera Cantábrica). III Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente. Santiago de Compostela.
- CONSELL INSULAR D'EIVISSA I FORMENTERA. CONSELLERIA DE TURISME (1985). Ibiza. Una isla para ver, Consell Insular d'eivissa. Ayuntament de la Ciutat d'Eivissa.
- CONSELL INSULAR D'EIVISSA I FORMENTERA. CONSELLERIA DE TURISME (1985). Ibiza. Paseos - Excursiones - Rutas, 5 vol. Eivissa - Sant Josep - Sant Antoni - Sant Joan - Santa Eularia - Consell Insular d'Eivissa.
- CONSELL INSULAR D'EIVISSA I FORMENTERA. CONSELLERIA DE TURISME (1994). Ibiza, la isla. Rutas en "mountain bike".
- PALACIO, J.; ELIZAGA, E.; ALAMEDA, J. y BLAS, I. (1988). Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico de la Isla de Menorca. IGME (Inédito).
- PALACIO, J.; ELIZAGA, E.; GONZALEZ LASTRA, J. y SANCHEZ DE LA TORRE, L. (1981). Importancia de los Puntos de Interés Geológico y Minero en la Gestión Ambiental y en la Ordenación del Territorio. III Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente. Santiago de Compostela.
- RANGHEARD, Y. (1971). Etude géologique des îles d'Ibiza et de Formentera (Baléares). Mem. Inst. Geol. y Min. España, 82. 340 p.
- SIMO, A. (1982). El Mioceno Terminal de Ibiza y Formentera. Tesis de Licenciatura, 165. Dto. de Petrología. Universidad de Barcelona (inédito).
- VARIOS AUTORES (1996). El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización. MOPTMA. Serie Monografías, 112 p.

La Geología en los cómics de superhéroes

Marc Martínez

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universitat de Barcelona y diplomado en Hidrogeología por el CIHS. Actualmente trabaja en el ITGE como hidrogeólogo. También ha sido un asiduo degustador de todo tipo de cómics.

La lectura de los cómics, y en especial la de un género tan particular como es el de superhéroes, ha acompañado la niñez y adolescencia de muchos españoles. Un fantástico universo se abre, sin fronteras ni límites al conocimiento, donde la humanidad es defendida por héroes de unos pérfidos villanos, dotados ambos de increíbles poderes y tecnología avanzada. Dimensiones paralelas, viajes por el tiempo y por el espacio, vida extraterrestre, culturas perdidas, y sobre todo, un sinfín de aventuras en las que la geología también tiene cabida.

Reading comics, specially such a particular type as superhero comics, has acompannied childhood and adolescence of a lot of spanish. A fantastic universe opens up with no frontiers or limits to knowledge, where human kind is defended by heroes fighting against villainous, both endowed with incredibles powers and advanced tecnology. Parallel dimensions, time and space travels, extraterrestrial life, lost cultures and a great many adventures where geology also has a place.

1. Introducción

El concepto de los superhéroes es genuinamente estadounidense. Cúmulo de virtudes civiles y patrióticas, simbolizaron los valores de su país y han acompañado a sus ciudadanos en todos los grandes acontecimientos de este siglo como la II Guerra Mundial, la Guerra Fría, las revueltas estudiantiles, Vietnam, la dimisión de Nixon y demás sucesos que conforman la historia contemporánea de Estados Unidos, y por extensión, de la humanidad. Sus personajes han sufrido el azote de las drogas, delincuencia y de la corrupción. Aunque existen muchas editoriales, hablar de superhéroes es hablar de dos *majors* que sentaron las bases para este tipo de cómics: Marvel Comics y DC Comics, que han publicado, por ejemplo, **Spiderman** o **Conan el bárbaro,** en el primer caso, y los clásicos **Supermán** y **Batman** en el segundo.

Algunos personajes han sido llevados al cine con desigual fortuna; si **Supermán** fue un éxito, nadie se acuerda, con suerte, de las películas setenteras sobre **Spiderman**. También se asomaron al Séptimo Arte, **Conan**, **Flash Gordon,** y recientemente, **Batman**, entre otros.

Estos cómics llegaron a España en la década de los 60 de la mano de la hoy desaparecida **Ediciones Vértice**, que publicaba principalmente los pertenecientes a Marvel Comics, en blanco y negro, con formatos modificados, en un principio no muy respetuosos. Tras ella recogieron el relevo otras editoriales (Bruguera, Surco) y en la actualidad son distribuidos por Ediciones Fórum. También Ediciones Vértice publicó los personajes de DC Comics (que ya habían tenido una irregular distribución por la mejicana Ediciones Novaro y Ediciones Bruguera) y en la época del artículo por Ediciones Zinco.

Este artículo no pretende hacer una recopilación sistemática de las historias y personajes que están relacionados, directa o indirectamente, con la geología, ya que resulta materialmente imposible disponer de los miles de ejemplares publicados, sino que intenta reflejar con diversos ejemplos el concepto existente de las ciencias geológicas y el tratamiento recibido.

El período considerado comprende desde **el inicio de la década de los años 70 al de los 90**, etapa de la que se dispone de abundantes ejemplares.

2. ¿Qué es un superhéroe?

Los superhéroes son personajes evidentemente ficticios: humanos (de todas las razas existentes e incluso extinguidas), mecánicos, extraterrestres

(marcianos o allende el sistema solar), ultraterrenos, cadáveres, de diferente condición social pero que coinciden en estar dotados de sorprendentes poderes (propios o artificiales) complejo carácter y difícil vida personal. Son personajes torturados, que deben llevar otra vida, secreta, lo que les ocasiona perjuicios familiares y sociales, añadidos a los derivados de disponer de unas facultades que los demás no tienen y que ellos no deseaban. Ello les supone una guerra interior debida al rechazo de ese gran poder, a la responsabilidad de poseerlo y de emplearlo para el bien.

La naturaleza de estos poderes es muy variada; comúnmente la superfuerza complementa otras facultades mucho más características: son capaces de trepar por las paredes, correr a gran velocidad, disminuir o aumentar de tamaño a voluntad, inflamarse, proyectar rayos de cualquier tipo de energía, ser elásticos, inmortales, invisibles, metamórficos, teleportarse, volar y un largo etcétera.

Estos poderes tienen diferentes orígenes; cuando son propios del individuo se debe a *manipulación genética o mutaciones espontáneas* (**Los Eternos** o la **Patrulla X**), por pertenecer a *otras especies* distintas a la humana (**Namor**, **Thor**) o por *provenir de otros mundos* (**Supermán**). Habitualmente son poderes *adquiridos*, resultando de cambios fisiológicos extraordinarios causados por accidentes en laboratorios (**Flash**), arañas radiactivas (**Spiderman**), mezclas químicas (**Hombre-Cosa**), radiactividad variada (**El Increíble Hulk**), rayos cósmicos (**Los Cuatro Fantásticos**), diversos elixires (**Capitán América**), etc. Pueden derivar del *empleo de la magia* (**Doctor Extraño**, **Capitán Marvel**) o del *uso de diversos aparatos y armaduras*, diseñadas o no por sus usuarios y dotadas de increíbles prestaciones (la armadura del **Hombre de Hierro**, el anillo de **Linterna Verde**). Asimismo pueden ser *organismos artificiales* (**El Hombre Máquina**, **La Visión**) creados por científicos con buenas o malas intenciones, y que han adquirido consciencia de su existencia.

En ocasiones tienen un talón de Aquiles (sobre todo los personajes de DC Comics): El poder del anillo de **Linterna Verde** es afectado por la luz amarilla, el **Detective Marciano** no soporta el fuego y **Supermán** puede ser vencido gracias al uso de la Kriptonita.

Claro que existen personajes que no disponen de estas facultades extra; son los justicieros implacables (a la usanza de Charles Bronson), que imparten la justicia del ojo por ojo, declarando la guerra al crimen organizado, motivados por algún trágico suceso familiar; el claro paradigma es **Batman**. No obstante, disponen de multitud de aparatos o *gadgets* y de una gran inteligencia; todo ello los iguala a los supervillanos y generalmente les da una decisiva ventaja.

Los superhéroes suelen vestir con máscaras y disfraces llamativos y chillones, de *lamé* brillante, que con el transcurrir de los años se han ido ajustando, hasta combatir al Mal enfundados en un tanga o en mallas. Este uniforme se adhiere al cuerpo como una segunda piel, resaltando unas figuras perfectas e hipermusculadas, a excepción de los que han padecido mutaciones poco estéticas (y aún así tienen músculos). Adoptan alias o nombres de guerra muy llamativos como los vistos anteriormente o: **Antorcha Humana**, **Dan Defensor (Daredevil)**, **Dr. Medianoche**, **Hombre Hora**, **Lobezno**, **Manhunter**, **Mr. Miracle**, **Patriota**, **Rondador Nocturno**, **Tormenta** o **Tío Sam** ..., aunque algunos pueden dar lugar a equívocos malintencionados, sobre todo en su traducción, como **La Cosa** o **El Castigador**.

Cuando el enemigo es muy poderoso los superhéroes arriman el hombro (aunque se debe más a políticas editoriales de promoción y venta) constituyendo supergrupos como **Los Vengadores** (Marvel Comics) o **La Liga de la Justicia** (DC Comics).

También los dibujantes y guionistas europeos han creado sus series de personajes heroicos (Corto Maltés, Den), pero siempre enmarcados dentro de una concepción teóricamente más adulta, denominándose **cómix**, para diferenciarlos de los cómics americanos. No obstante Gran Bretaña, con personajes como **Dan Dare**, **Juez Dredd** o **Zarpa de Acero**, es el país que más se acerca a la visión americana.

¿Qué decir de los supervillanos? Son el reverso tenebroso de los superhéroes. Están dominados por unas pasiones y deseos oscuros (generalmente ambición y codicia), que, a su vez, causan su derrota. Casi todos los superhéroes tienen su particular archienemigo (como el profesor Mortiarty de Sherlock Holmes), que suele personificar aquello contra lo que luchan: **Lex Luthor** es el opuesto a **Supermán**, **Joker** de **Batman** o **Cráneo Rojo** del **Capitán América**. No obstante, en ocasiones llegan a redimirse, como en el caso de **Magneto**, un villano clásico de la **Patrulla X**, de la que pasa a formar parte.

Los personajes y sus aventuras se encuentran enmarcados en una realidad única para todos ellos que los entrelaza; se puede afirmar que existe un *Universo Marvel* y un *Universo DC* para todas las colecciones de los distintos héroes.

Por último, decir que suele ser habitual la revisión del origen oficial de los personajes, cambiando o ampliándose cada cierto tiempo. Es posible que la génesis de algunos de los superhéroes y supervillanos aquí descritos haya cambiado en los últimos años.

3. Temáticas realizadas con las Ciencias Geológicas

La búsqueda de argumentos, situaciones y protagonistas relacionados directa o indirectamente con los temas geológicos ha permitido agruparlos en las diferentes especialidades (aunque con una considerable manga ancha): Paleontología, Paleoantropología, Tectónica y Vulcanismo, Ciencias Ambientales, Hidrogeología, Geología del Petróleo, Minería y Petrología.

3.1. Paleontología: amor a los saurios

La coexistencia entre hombres y dinosaurios es un atractivo recurso empleado con cierta frecuencia. El acercamiento ha sido diverso, como viajes al pasado, manipulaciones genéticas, mundos ocultos, accidentes dimensionales espacio-temporales o supervillanos habilidosos.

Viajes al pasado

En la serie británica **Flesh** (Ed. Eagle) se aventura una atrevida explicación a la extinción de los dinosaurios: la caza indiscriminada por parte de los hombres del futuro con el fin de enlatar su carne y enviarla al siglo XXIII. Para cumplir este propósito se han instalado factorías en diversos pe-

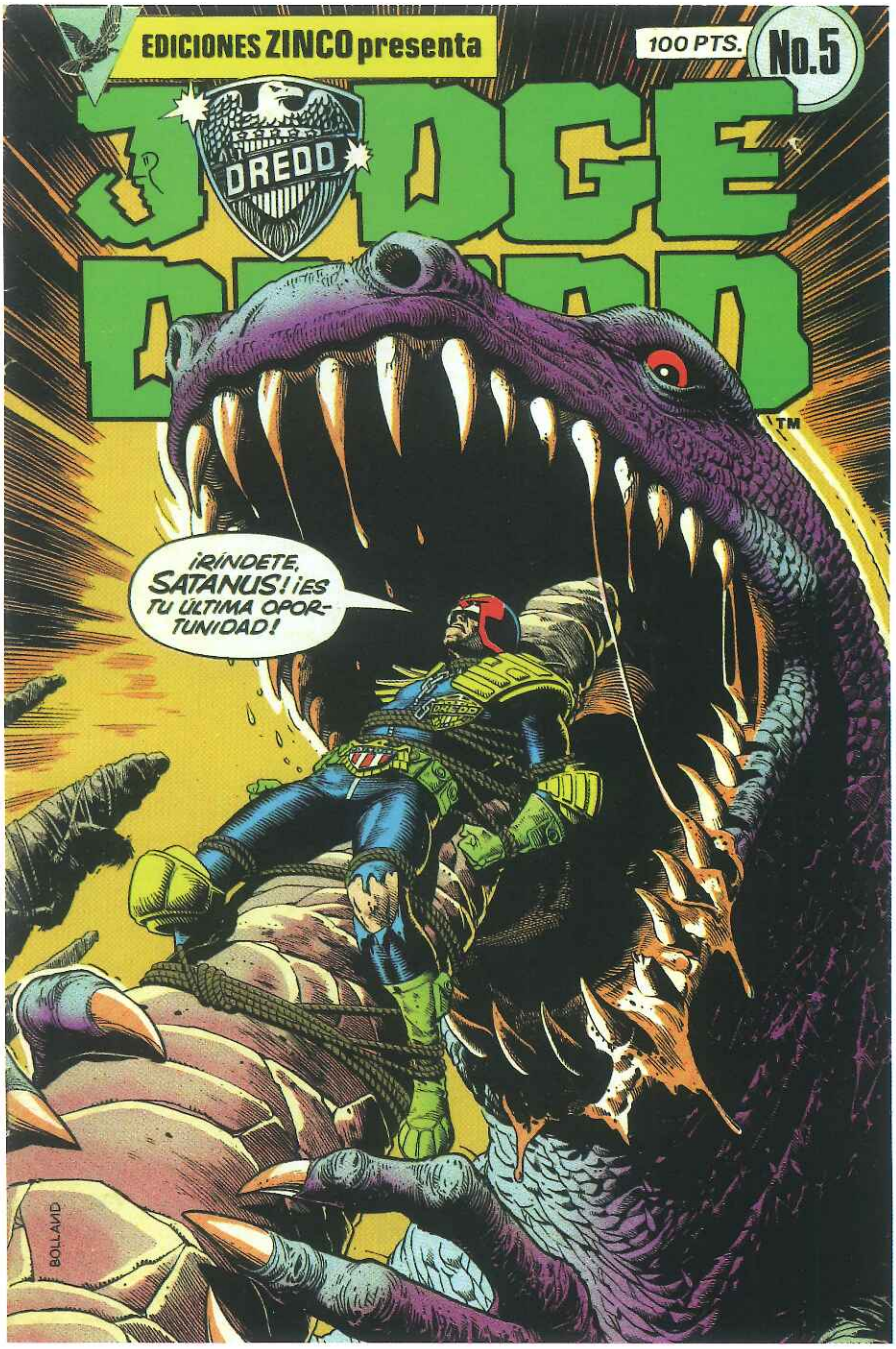


Figura 1. Judge Dredd (Bolland).

ríodos geológicos (Jurásico para la carne o Triásico para la pesca). Este floreciente negocio, incluso con viajes turísticos (gentileza de la compañía Trans-Time), queda truncado en el Jurásico por la destrucción completa de la factoría llevada a cabo por los dinosaurios carnívoros hambrientos y furiosos ante la disminución de sus presas, liderados por un tiranosaurio tuerto y vengativo. Su versión en el Triásico se ambienta en una macroplataforma pesquera, acosada por un notosaurio resentido apodado *El gran Hambriento*. Mordiscos, sangre y mucha acción caracterizan a esta colección, que constituye un claro precedente de **«Parque Jurásico»**.

Genetistas osados

Otro personaje de la Editorial Eagle, el **Juez Dredd,** muestra un mundo futuro post-apocalipsis nuclear donde la humanidad habita en dos grandes ciudades: Megacity One y Two. En torno a ellas, radiaciones y desolación, la Tierra Maldita. Y en esta última se ubica el *Saurion Valley*, antiguo parque lúdico con dinosaurios vivitos y coleando (recreados en laboratorios por manipulación genética y empleando como soporte huevos de caimán o artificiales, ¿les suena?), que sobreviven devorando incautos mutantes y colonos en busca de la tierra de promisión **(figura 1).** Un grupo de estos dinosaurios son exhibidos en Megacity One, en el *Circo Prehistórico de Skinner* cuya promoción recuerda alguna escena de cierta película reciente sobre los mismos.

Mundos ocultos

La Tierra Salvaje (Universo Marvel) es una especie de mundo perdido *doyleano*, situado en una depresión de la Antártida. Clima tropical, vegetación exuberante y fauna extinta (animales del Jurásico al Pleistoceno) conviven con tribus perdidas y cultos antiguos. Y con ellos su héroe particular, Lord Kevin Plummer, más conocido como **Ka-zar**. Este remedo de Tarzán, también de origen inglés, prefiere vivir libre en esta selva, acompañado de Zabú, un tigre de dientes de sable. Esta tierra ha sufrido los desmanes, entre otros, de su archivillano, **Garokk**, de aspecto pétreo, además de recibir visitas periódicas de superhéroes urbanitas (**Spiderman** y **la Patrulla X**) para combatirlos. Sin embargo, este idílico lugar fue reducido a cenizas en su totalidad por la intervención de un supervillano galáctico, **Términus**, aunque más tarde fue regenerado por el **Alto Evolucionador** (del que se hablará posteriormente), ayudado de un redimido **Garokk**. Los dinosaurios, tras este renacimiento, parecen haber adquirido una peligrosa inteligencia.

Tal vez aprovechando la moda del Triángulo de las Bermudas, los guionistas de Marvel Comics abrieron un nuevo frente, situando en este triángulo un extraño continente, de aspecto muy parecido a la Tierra Salvaje, con dinosaurios, aztecas y alienígenas. Y es aquí donde se desarrollan las peripecias de un grupo de supervivientes de un accidente aéreo, liderados por un preso (aunque inocente) apodado **Skull**.

Anomalías espacio-temporales

Algunos fenómenos, generalmente intencionados, causan un desgarro

en la continuidad espacio-temporal que provoca una serie de anacronismos, con la presencia de dinosaurios y seres del presente y futuro. Existen varios ejemplos de causas que provocan estas anomalías, como son:

-El combate de la **Patrulla X** con **El Adversario**, enemigo acérrimo de la Humanidad, que pretende destruir la realidad, en la maxi-aventura *La caída de los mutantes*.

-El caos causado por el **Anti-Monitor**, un ser de antimateria, en la maxiserie de DC Cómics, **Crisis en las Tierras Infinitas**, tratada en el apartado de Ciencias Ambientales (**figura 2**).

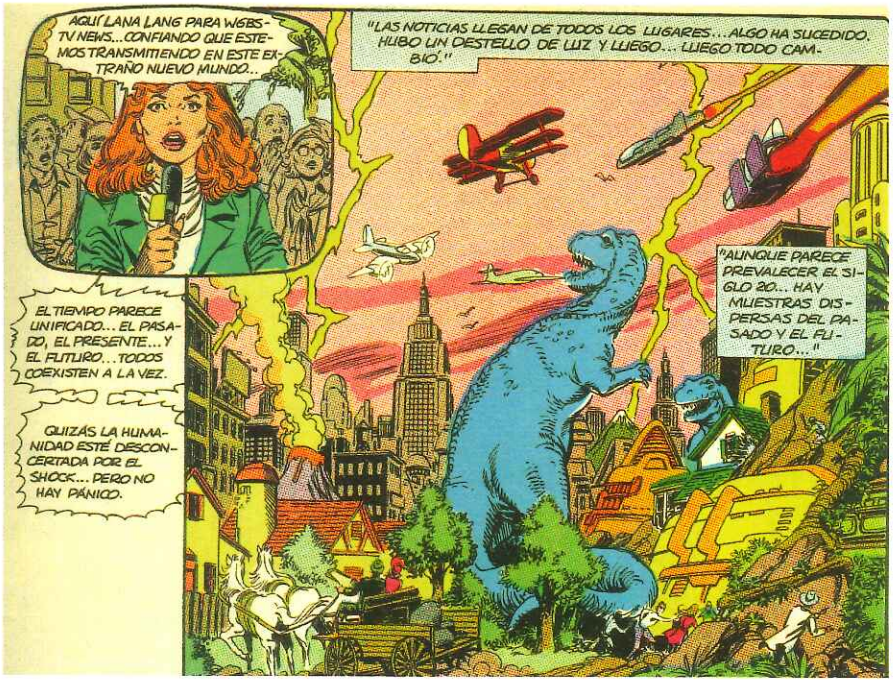


Figura 2. Crisis en las Tierras Infinitas, nº 5 (Wolfman/Pérez).

Supervillanos habilidosos

Es posible dar vida a fósiles de saurios mediante un aparato que proyecta un rayo retro-generador que los recubre de carne. Dicho aparato es propiedad de **Stegron**, el villano hombre dinosaurio. Desea liberar *a sus hermanos de cola larga* para pasear por Nueva York y luego conquistar el mundo. Sin embargo elige un mal momento, el inicio del Invierno. Es derrotado por Spiderman, mientras los dientes le castañetean.

3.2. Paleoantropología: demasiados reyes de la creación para un solo trono

Los estudiosos de los albores de la humanidad se pueden llevar más de una sorpresa si las teorías expuestas en los cómics son ciertas, dando al traste con las teorías evolutivas. Se han descrito ramas desconocidas de la humanidad, también manipuladores genéticos alienígenas y terrestres, así como la futura evolución de la humanidad.

Antes de adentrarse en estas teorías debe recordarse que España ha sido pionera en el *cómic prehistórico*, con **Purk, el Hombre de Piedra**, una especie de Guerrero del Antifaz paleolítico de abundante cabellera que le acercaba más a un seguidor de **Los Chunguitos** que a un *Homo sapiens* «arcaico».

Primos Lejanos

Existe otra especie humana, el *Homo mermanus*, comúnmente conocidos como hombres submarinos y que respiran agua. Viven en los océanos formando diversos reinos y ciudades, siendo Atlantis el principal y el rey **Namor**, un mestizo que puede respirar aire, su principal defensor, aunque siempre airado y vehemente; primero pega y luego vuelve a pegar al grito de «*Imperius Rex*». Esta desarrollada sociedad tiene sus propias lacras sociales, pero sufren de paranoia causada por los actos de los habitantes de la superficie. En el Universo DC existe otro reino de Atlantis, gobernado por **Aquaman**, con similares orígenes y problemas.

Manipulaciones alienígenas

El prolífico **Jack Kirby**, pilar fundamental del cómic americano, guionista y dibujante de muchos superhéroes conocidos y otros de menos suerte en diferentes editoriales (como el Capitán América, Los Cuatro Fantásticos o Mister Miracle) creó para el Universo Marvel la serie **Los Eternos**, en la que postula, como si fuera un episodio de **Expediente X**, la manipulación genética de nuestros antecesores homínidos por parte de unos extraterrestres de gran tamaño (algo así como La Giralda) denominados *Los Celestiales*. El resultado de estas prácticas no fue únicamente la especie humana, sino también otras dos: *los desviantes*, seres molecularmente inestables y deforme aspecto que han originado las leyendas de monstruos y demonios de la humanidad, y *los eternos*, seres inmortales y bellos, que viven buscando la espiritualidad en las cimas de las montañas y que han sido confundidos en la antigüedad con los dioses del Olimpo. Los Celestiales ya han realizado diversas visitas, castigando en una a los desviantes por atacarles con la destrucción de sus ciudades y condenándolos a vivir ocultos bajo tierra; este evento se registró en la historia de la Humanidad como el Diluvio Universal. Ahora han vuelto para juzgar su obra, y si tras 50 años concluyen que ha sido un fracaso, el mundo *c'est fini*. Los eternos **Ikaris**, **Sersi** o **Makarri** intentarán evitar que la humanidad y los desviantes interfieran este Juicio Final para que éste sea favorable.

Jack Kirby aventuró otra hipótesis sobre la intervención de inteligencia extraterrestre en la particular adaptación que realizó de la novela de Arthur C.Clarke **«2001, una odisea del espacio»** (publicada en España por Ed. Bruguera).

Otros alienígenas, el **Imperio Kree**, experimentaron con la genética en la Tierra, creando una especie que sirviera como carne de cañón en sus futuras confrontaciones con otras razas estelares. Así aparecieron en el Cosmos marveliano **Los Inhumanos**, que tuvieron su bautismo de fuego editorial

ante **Los Cuatro Fantásticos** y vivían ocultos primero en el Himalaya y luego en la Luna.

Manipulaciones terrestres (no exclusivamente humanas)

Los **desviantes**, necesitando esclavos para los trabajos fatigosos, crearon diferentes sub-especies que con el tiempo se rebelaron, viviendo en desconocidas cavidades subterráneas: son los gortokianos, moloides y tiranoides. Los **gortokianos** han sido exterminados accidentalmente por las pruebas nucleares subterráneas y el único superviviente, **Grotesco**, busca venganza. Los **moloides** y **tiranoides** han sido vasallos de dos supervillanos denominados el Hombre-Topo y Tirannus, enemigos entre otros de Los Cuatro Fantásticos, La Masa o la Patrulla X. A estos se añaden los **Hombres-Lava**, resultado de una mutación mágica de los gortokianos, con una piel pétrea que soporta las altas temperaturas de la lava, en la que se zambullen. También **Magneto**, en sus correrías subterráneas ha encontrado restos y tecnología de civilizaciones pretéritas. Todo ello hace que la litosfera sufra de un auténtico *overbooking*, y lleva a pensar que no son únicamente los domingueros los que ensucian las cuevas.

Asimismo algunos **científicos humanos** han explorado los intrincados caminos de la evolución, llegando uno de ellos, H.E. Wyndham, a crear una máquina capaz de acelerarla, que aplica a sus animales en su centro de investigación de **Wundagore**, creando los *Hombres nuevos*. Más tarde, y para evitar la maligna influencia de la humanidad, se traslada con sus creaciones a un nuevo planeta, bautizado como **Wundagore II**. Sin embargo, al igual que Victor Frankenstein, sus *hijos* se rebelan y para salvar la vida Wyndham se aplica el acelerador, transformándose en un ser muy poderoso, *El Alto Evolucionador* (Universo Marvel).

Lo que la evolución nos depara

El Darwinismo ha sido llevado al paroxismo con las mutaciones espontáneas del *Homo sapiens* a *Homo superior*. Este nuevo escalón evolutivo, vulgarmente conocido como *mutantes*, da la casualidad que posee variadas facultades sobrehumanas, a saber: atravesar objetos, autoclonación, control del clima, dominio del magnetismo, emisión de todo tipo de rayos y energías, gritos sónicos, sanación, superfuerza, teleportación y telequinesis entre otras. Marvel Comics tiene en los mutantes un auténtico filón que le ha permitido abrir una línea editorial con varios títulos: **Patrulla X** (o X-Men en inglés) es su estandarte, pero también han surgido **Alpha Flight**, **Los Nuevos Mutantes**, **Excalibur**, **X-Force**, **Factor X** o **Lobezno**.

Los mutantes no conocen su condición hasta que sus poderes se manifiestan durante la pubertad, siendo rechazados y perseguidos por ellos. Gran parte del éxito editorial debe atribuirse al guionista **Chris Claremont**, que tomó la **Patrulla X** en el segundo número de su segunda etapa dotando a la nueva formación de compleja personalidad y desarrollando sus aventuras en un mundo amenazante. Esta sociedad sufre un incremento del racismo y la intolerancia que alcanza el *summum* con limpiezas étnicas, masacres y genocidio de los mutantes. También plantean los guiones si es justificable el empleo de la lucha armada, en este caso por otros mutantes como **Magneto**, para defenderse de los ataques brutales sufridos.

La primera formación de la **Patrulla X** estaba constituida por **La Bestia, El Angel, Cíclope, La Chica Maravillosa y el Hombre de Hielo** aunque su *alma mater* es el **Profesor Xavier**, hombre de paz, telépata poderoso (y alopécico por ello), postrado en una silla de ruedas (aunque en ocasiones ha vuelto a caminar) con la loable pretensión de que la humanidad los acepte sin miedo. Para ello ha creado la *Escuela Xavier para jóvenes talentos*, una especie de academia privada de élite donde entrena a sus discípulos en el uso de sus poderes. Algunos de los miembros abandonaron el grupo, dando paso a otros nuevos como **Tormenta, Rondador Nocturno, Coloso, Lobezno, Banshee o Ariel**, renovándose progresivamente. También se han producido bajas significativas, por ejemplo **Ave de Trueno** y **Fénix**.

Para finalizar este apartado, ateniéndose al aspecto y poderes, los mutantes más relacionados con las ciencias geológicas son:

-Avalancha (Dominic Petros), miembro de la Hermandad de Mutantes Diabólicos, y de la Fuerza de la Libertad: Malvado amnistiado, crea ondas de choque que levantan el **suelo** (para desesperación de los edafólogos) y provocan derrumbamientos.



Figura 3. Los nuevos mutantes, nº 11 (Claremont/Buscema).

-Coloso (Peter Rasputin), miembro de Patrulla X: Sensible mutante soviético, con alma de artista, dotado de gran fuerza y cuerpo recubierto de **«acero orgánico»**.

-El hombre de Hielo (Bobby Drake), miembro de Patrulla X, Los Campeones y Los Nuevos Defensores: Eterno repetidor estudiantil, con aspecto de témpano. Congela el vapor de agua formando una especie de **rayos de hielo** con los que combate a sus enemigos.

-Magma (Amara Aquila), miembro de Los Nuevos Mutantes: Mutante de incierto origen, proveniente de Nueva Roma, ciudad romana olvidada de la Amazonia, posee el **dominio de la lava y fuerzas elementales de la tierra**, creando volcanes y terremotos **(figura 3).**

-Magneto, fundador de la Hermandad de Mutantes Diabólicos, aspirante a conquistador del mundo, miembro de la Patrulla X: Autoproclamado amo del **magnetismo**, ora héroe, ora villano, controla todos aquellos materiales susceptibles de estar influenciados por campos magnéticos (¡cuántas dataciones paleomagnéticas habrá estropeado!) **(figura 4).**

-Polaris (Lorna Dane), miembro de Patrulla X y Factor X: También domina el magnetismo, pero pierde sus poderes a manos de su hermana Zaladane, villana de la Tierra Salvaje con ínfulas. Esta última tiene la desgracia de tropezarse con Magneto en su fase villanil, dando buena cuenta de ella;

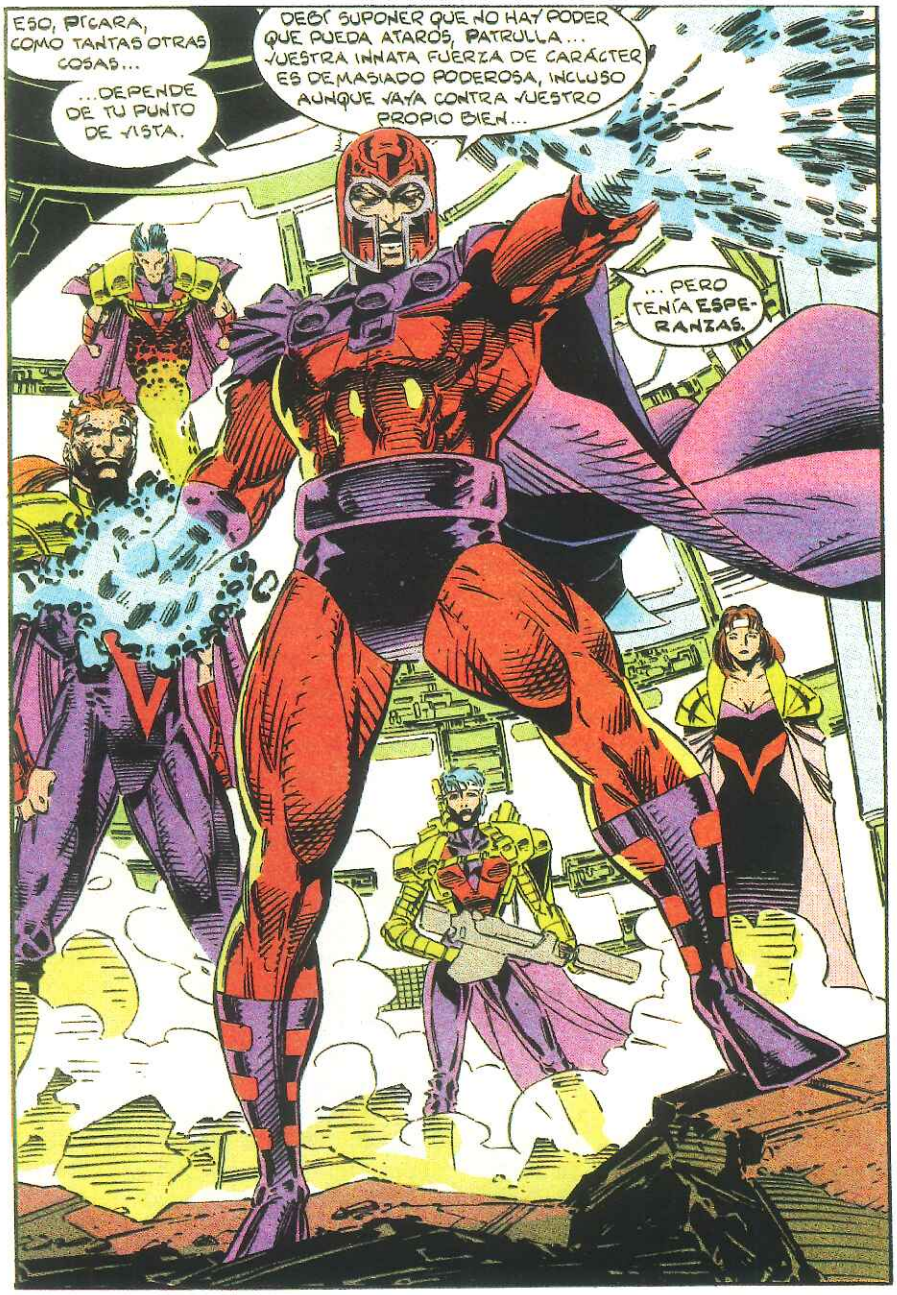


Figura 4. X-MEN, nº 3 (Claremont/Lee).

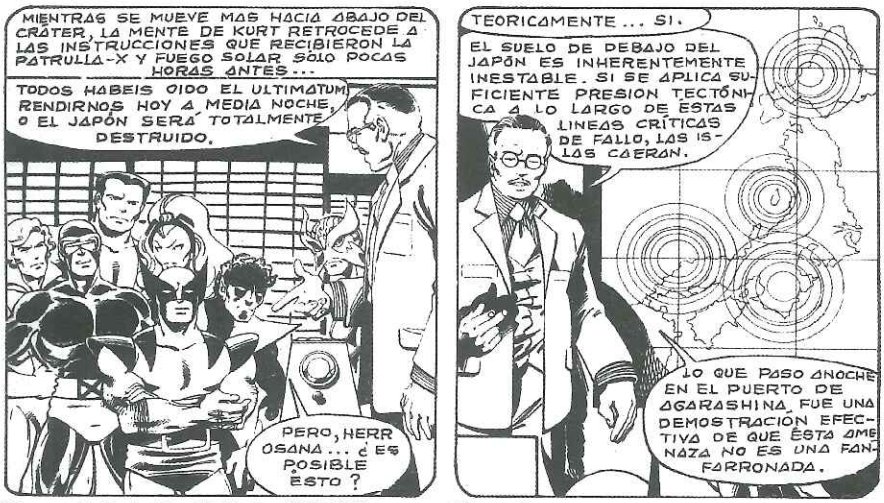


Figura 5. Patrulla-X, V. 3, nº 32 (Claremont/Byrne).

-Saurón (Karl Lykos). Amigo de Ka-zar: Buena persona que vive retirada en la Tierra Salvaje, torturada por su otro yo interior, un Mr.Hyde con **aspecto de pteranodonte** de fuertes poderes hipnóticos.

3.3. Tectónica y Vulcanismo: ¿alguien ha encargado un terremoto?

La manipulación de las placas terrestres y fuerzas convectivas de la astenosfera es un método empleado por algunos supervillanos para conseguir sus abyectos propósitos, generalmente adquirir dinero o poder, e incluso lograr la dominación del mundo. La **Patrulla X** se enfrenta en Japón a **Moses Magnum**, un científico mutado que pretende hundir las islas empleando la Fuerza Magnum, que proyecta de su cuerpo hacia el centro de la Tierra **(figura 5).** Su deseo es ¡ser nombrado Emperador del Japón!

Otros supervillanos pretenden elevar un continente hundido (en este caso Lemuria) inyectando aire y agua mediante la bomba de una plataforma petrolífera (auténtica física simplificada), exterminando de paso a sus habitantes submarinos para robar sus conocimientos; sin duda el villano, **Warlord Krang**, y sus colegas de la **Banda de la Serpiente** no andan muy duchos en física y geología, y por eso son derrotados por el **Nómada** (una personalidad temporal del Capitán América en crisis de identidad).

El **Hombre-Topo**, un supervillano habitual en la serie de los **Cuatro Fantásticos**, que vive en *«un mundo a incontables millones de kilómetros bajo la superficie»(sic)* emplea tecnología **desviante** para robar de la superficie barrios enteros, dejando una gran agujero, con el fin de causar conflictos internacionales y aprovecharse de ello.

Otros héroes, algo novatos, pueden causar, con su buena intención, funestos resultados. Así los **Señores de la Tierra**, una secta de la época del Imperio Romano, en su intención de detener a **Berseker**, un ser mutado, de inmenso poder y excesiva violencia, provocan la erupción del Vesubio, destruyendo Pompeya, Herculano y atrapando al villano en la lava hasta la actualidad, que es liberado accidentalmente unos arqueólogos. Afortunadamente ahí están **Los Vengadores** para frenarlo.

También el dominio de las fuerzas del interior de la Tierra se emplea para objetivos más modestos. **Magneto** instala una de sus bases secretas en el interior de la caldera de un volcán antártico, conteniendo el magma por un complejo sistema técnico que se va al garete tras un combate con la **Patrulla X**.

Algunos seres, por su propia naturaleza, son capaces de manipular la energía interna de los planetas para causar cataclismos, generalmente de pequeña escala. Además de **Magma**, superheroína mutante descrita anteriormente, se conocen:

-Terremoto. Miembro de la **Guardia Imperial Shi'ar**. Superhéroe en su sistema solar, aunque ha sido combatido por la **Patrulla X**. Como su nombre indica, es capaz de causar temblores y derrumbamientos.

-Geo-Force. Miembro del grupo **Outsiders** (Universo DC). Miembro de la familia Real de un país centroeuropeo.

Puede ocurrir que los guionistas redefinan las fuerzas de la Física elemental. El **Increíble Hulk** tropieza con una isla que flota en el aire (como en la canción de Alberto Cortez), resto de una civilización alada ya extinguida, en la que se encuentra un único ser vivo, la **Bi-bestia**, ansioso de compañía femenina.

3.4. Ciencias ambientales: más que impacto, tortazo ambiental

El impacto en los cómics puede deberse generalmente a las consecuencias de los combates contra los supervillanos, a sus malévolos planes, a las pruebas nucleares o incluso ser inherente a la naturaleza física de algunos personajes. También se tratará en este apartado el impacto ambiental a escala planetaria.

Explosiones nucleares, escapes radiactivos

Las diversas pruebas nucleares causan inesperados efectos, bien a las personas o al entorno. En el primer caso, la Bomba Gamma produce en el Dr. Bruce Banner, genio científico, su transformación física en el **Increíble Hulk** (o **la Masa**), un inmenso ser de piel verde, poco cerebro e hipermusculado, que viaja dando saltos kilométricos. Las mismas radiaciones crearon a supervillanos como la **Abominación** o **El Líder**, éste último con cabeza de pepinillo y gran intelecto, aficionado a dominar el mundo aunque sea trasladándose al pasado para bañar a los primitivos pobladores de la Tierra con rayos gamma, para que adquieran gran inteligencia. Otras bombas crearon al **Hombre de Cobalto** o al **Hombre de Arena**.

El impacto al entorno suele ceñirse a la destrucción de poblaciones subterráneas como la civilización gortokiana y a la de las ciudades submarinas (**Namor** se pasa la vida vengando las afrentas de este tipo causadas por los hombres de la superficie). También puede crear una isla viviente, una burla de Gaia, denominada **Krakoa**, que se alimenta de la energía de otros mutantes (¡menudo gourmet!).

Impacto supervillanil

Dentro de las consecuencias de las luchas contra los supervillanos o de sus funestos planes se engloba **Slash Maraud** (DC Comics), donde unos marcianos peludos, los **cambiantes**, inyectan una sustancia (*Plasma-ADN*) en la corteza terrestre con el fin de cambiar el medio ambiente y hacerlo habitable para ellos, pero letal para los humanos. Como improvisada jeringuilla utilizan la Torre Eiffel, en un París devastado, dentro de una sociedad decadente que se emborracha y languidece esperando su propia desaparición. Sólo unos cuantos resistentes, liderados por **Slash Maraud**, deciden combatir a los cambiantes, ayudados por el **Doctor X**, extraterrestre creador del plasma y arrepentido (un Sajarov *cambiante*). Durante cinco años se producirá el cambio ambiental gradual, apareciendo extrañas formaciones litológicas y faunísticas salpicando la geografía terrestre.

Garra amarilla, el hombre metáfora del *peligro amarillo* (junto a otro denominado **El Mandarín**, que no es un flan) manipula la formación de las olas con el fin de crear una macroola que arrasará Nueva York. Afortunadamente **Nova** (Universo Marvel), junto a **Nick Furia** consigue derrotar al villano empleando unos denominados *rayos hidrónicos*(!!!) para reducir el tamaño de la ola. ¡Cuán útil sería este rayo para las marejadas! En otras ocasiones algún iluminado emplea otros métodos, como **Agamenon**, el ideólogo soviético de la Operación *«Espada del Juicio»*, consistente en detonar una macrobomba nuclear a 7.000 m de profundidad en el océano para crear un nuevo astro (aparece la obsoleta teoría de la génesis lunar) y provocar así un gran tsunami con agua radiactiva. Esta ola arrasará las costas americanas (¡encantador!). Afortunadamente, ahí está una antigua novia suya –Natasha Romanoff, alias **la Viuda Negra**– con su amigo **La Cosa** para evitarlo.

Personalidades peligrosas

También existen unos seres cuya presencia ya de por sí resulta impactante, al desprender emanaciones radiactivas. Es el caso del **Eslabón Perdido**, ingenuo villano, que combate a **Hulk** en un pueblo minero del carbón.

Impacto planetario

A esta escala existen varios y demoledores ejemplos. Un ser proveniente de otro universo (en el que lo era todo), denominado **El Todopoderoso**, construye un planeta acrecionando fragmentos robados a otros mundos, *incluso de la Tierra* (de donde se lleva algún barrio), para crear un escenario propicio en el que combatirán una selección de superhéroes y otra de supervillanos del Universo Marvel (cual Mundial futbolero) elegidos *ad-hoc* con el fin de satisfacer su curiosidad sobre el comportamiento y los deseos humanos. Todo ello sucede en la maxiserie **Secret Wars**.

Sin duda el mayor impacto ambiental es la desaparición de la vida en la Tierra y en otros planetas. Para ello Stan Lee y Jack Kirby crearon a uno de los supervillanos más poderosos del Universo Marvel, **Galactus**, el devorador de mundos **(figura 6).** Su función vital consiste en alimentarse de todas aquellas sustancias que mantienen la vida, dejando tras de sí la carcasa inerte del planeta. Pero existen más seres capaces de tal hazaña: *Karanada «El vacío que devora»* es otra variación de monstruo estelar en el siglo XXXI, al que se enfrentan **Los Guardianes de la Galaxia** (Universo Marvel). Su rasgo principal es que tras su paso deja los planetas vacíos de vida y con un embriagador olor.



Figura 6. Clásicos Marvel, nº 18 (Lee/Kirby).

Otra entidad cósmica, conocida como **Fénix**, es capaz, al ser dominada por su lado siniestro, **Fénix Oscura**, de destruir un sol y con él todo un sistema planetario poblado por cinco mil millones de habitantes. Al final, consumida por los remordimientos, consigue suicidarse.

Y por último, el impacto ambiental llevado al paroxismo acontece al afectar a la propia realidad teniendo lugar en la magnífica maxiserie **Crisis en las Tierras Infinitas** (DC Comics). En el Universo DC se habían creado con el transcurso de los años distintas dimensiones con tierras paralelas: Tierra-1, Tierra-2, Tierra-3, Tierra-4, Tierra-X, etc, donde se situaban las aventuras de diferentes superhéroes, o bien instalaban a superhéroes provenientes de la adquisición de otras editoriales (como el **Capitán Marvel** de la compañía Fawcett, los de la Quality o Charlton). El guionista Marv Wolfman y George Pérez a los pinceles decidieron reducir estas tierras paralelas a un único planeta (y por ende a un solo universo), donde acomodarían a todos los superhéroes. Esta aventura, brillante y épica, enfrenta a todos los héroes contra el **Anti-Monitor**, que pretende la destrucción del **Multiverso** y registró las bajas de superhéroes tan significativos como **Supergirl** o **Flash**.

Ecologismo combativo

A veces la naturaleza decide tomar cartas en el asunto y combatir los efectos perniciosos del progreso. **Arácnido** es un ser simbiótico, constituido por miles de pequeños insectos, con consciencia única, la de la naturaleza. Reivindica el fin de la energía nuclear, de la destrucción de la selva, del uso de los pesticidas y de la lluvia ácida. A él se une un superhéroe medio paranoico (que ha visto todas las películas de Rambo y se las ha creído) llamado **Halcón** (DC Comics) y juntos combaten a un pérfido defoliante, **Toxicator**. Muy concienciador.

3.5. La Hidrogeología: elixires y brujos de segunda

Pocos ejemplos se han podido encontrar sobre este tema. La obtención del elixir de la vida eterna es el tema más recurrente. Así la posesión de la fuente de la Juventud es motivo de pelea entre **Tirannus**, un legionario romano que bebió de ella y el **Hombre-Topo**, empleando como contendientes en sus peleas en el mundo subterráneo a diversos superhéroes, como La Masa o la Patrulla-X.

Indiana Jones (Marvel Comics) se cruza con dos extraños personajes que buscan manantiales de características químicas muy determinadas, que les permiten crear el **elixir de la inmortalidad**.

Pero el ejemplo más claro de la interrelación hidrogeología/superhéroes tiene lugar en la serie **el Motorista Fantasma** (Universo Marvel), un *Hell Angel* literal de cráneo despellejado y llameante. Uno de sus enemigos es el **Brujo del Agua**, que mediante magia negra domina el agua, pudiéndole dar diversas formas. Tras una de sus luchas, la torturada personalidad humana del Motorista, **Johnny Blaze**, decide rescatarlo de la prisión con el loable fin de que, cual zahorí supervillano, halle el agua necesaria para un pequeño pueblo. Todo ello ocurre en el episodio *«Las aguas de la hechicería corren profundas»* **(figura 7).**

3.6. El petróleo y las energías alternativas

La compañía petrolífera por excelencia del Universo Marvel es la **Roxxon Oil**. Aunque en un principio es víctima de malvados como **La Banda de la Serpiente** (serie del Capitán América), posteriormente cambia de bando e intenta encontrar **la Corona Serpiente**, cuyo empleo da gran poder, para lo cual instala una plataforma petrolífera. Asimismo se ha entrometido en la investigación estatal de fuentes de energía alternativas, infiltrándose y saboteando el **Proyecto Pegaso.**

También el **Brujo del Agua** es capaz de dominar el petróleo, creando demonios de oro negro (*djinns*), para permitir a su patrono que consiga el trono de Arabia. En esta ocasión es derrotado por el **Motorista Fantasma**, junto al **Caballero Árabe**, superhéroe local.

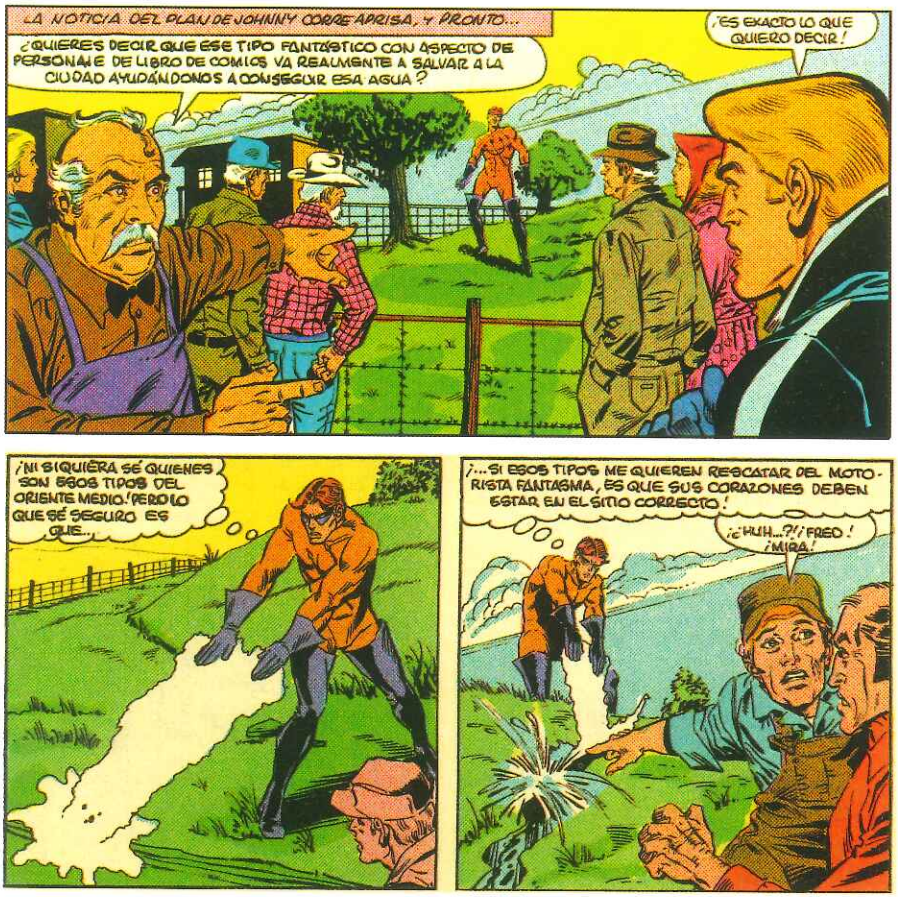


Figura 7. Motorista Fantasma, nº 3 (Fleisher/Kupperberg).

3.7. Mineralogía-Prospección Minera: un nuevo campo de exploración

En el mundo de los cómics se han descrito diversos minerales desconocidos, necesarios para poner en funcionamiento avanzada tecnología o que forman aleaciones de gran dureza.

The Butcher (DC comics) es un guerrero lakota (piel roja) que busca a los asesinos de sus padres para obtener su venganza, y descubre a la compañía *Namdorph*. Las tierras de sus padres poseían *«unos extraños y escasos cristales»* (de nombre desconocido) necesarios para construir un rayo de partículas de defensa estratégica.

Un grupo de superhéroes que harían las delicias de más de un minero si cayesen en sus manos son los **Metal Men** (Universo DC), creados por el *Dr. Will Magnus*. Son seres artificiales dotados con el poder de un metal determinado: Estaño, Hierro, Mercurio, Oro, Platino y Plomo.

Los nuevos minerales y rocas más importantes «descubiertos» en los cómics son los siguientes:

-Adamantium (Universo Marvel): Metal más duro conocido, que se ha empleado en cirugía y en recubrir, contra su voluntad, los huesos de **Lobezno**, dotándole de unas garras hechas de este metal, con las que destripa a sus enemigos.

-Arcilla radiactiva (Universo Marvel): Utilizada por el **Amo de las Marionetas** (enemigo de los Cuatro Fantásticos) para dominar a las personas empleadas como modelo para sus figurillas.

-Cavorita (Universo Marvel): Cristal de matriz energética elevada, que refinado proporciona energía más veloz que la luz pero que también puede destruir el mundo mediante una implosión.

-Kriptonita (Universo DC): Fragmento o meteorito proveniente del planeta Kripton, ante cuya presencia Supermán pierde los poderes. Puede ser amarilla o azul.

-Piedras Lunares (Universo Marvel): Existen dos tipos de estas rocas, que otorgan diversos poderes a los que las poseen: **Piedra Lunar** es un ladrón que roba de un museo una roca procedente de la Zona azul de la Luna (área con restos de una antigua civilización), trasfiriéndole poderes. Fue vencido por el **Capitán América**. Posteriormente le fue robada la piedra por la Dra. Karla Sofen, psiquiatra con ambiciones, adoptando también la misma identidad. La otra piedra lunar es una joya recogida por el astronauta Jameson que lo transforma en un temible **hombre-lobo**.

-Vibranium (Universo Marvel): Metal escasísimo, que sólo se encuentra en dos lugares: en la Tierra Salvaje y en Wakanda (Africa), minúsculo reino gobernado por T'Challa o **Pantera Negra**, y que se ha enriquecido por su comercio, lo que ha permitido un importante desarrollo tecnológico. Su particularidad es que absorbe las vibraciones, siendo imprescindible para los cohetes espaciales y demás mecanismos de precisión. Seres de otras dimensiones lo han empleado para abrir puertas a sus mundos, como en la invasión de la Tierra Salvaje. También la Roxxon Oil busca crear vibranium artificial.

-Yaka (Universo Marvel): Metal del planeta Centauri IV, que empleaban sus moradores para fabricar flechas. Su característica especial es que se puede controlar con un agudo silbido.

3.8. Petrología: los seres litológicos, un nuevo panteón

No, no corresponden a antiguas mitologías ni se ha cometido una errata. En este apartado se agrupan algunos de los superhéroes y supervillanos que por sus especiales características están más cercanos a figurar en la clasificación de Streckeisen que a considerarse como seres vivos.

-Blok; (Universo DC), miembro de la Legión de Superhéroes, siglo XXX: Originario del desaparecido planeta Dryad, en el que habitaban una raza de rocas vivientes.

-Cabeza de Diamante (Arch Dyker); (Universo Marvel), supervillano. Miembro de la Banda del Cóndor: Delincuente vocacional, fuerza la entrada en un Instituto científico para robar gemas preciosas y es afectado por un láser potenciado con diamante **(figura 8).**

-La Cosa (Ben Grimm);(Universo Marvel), superhéroe. Miembro de los Cuatro Fantásticos: Uno de los superhéroes más conocidos. Magnifico piloto de pruebas de todo tipo de vehícu-



Figura 8. Selecciones Marvel presenta: Nova. (Wolfman/Buscema).



Figura 9. Clásicos Marvel, nº 18 (Lee/Kirby).

los, es mutado por efecto de los rayos cósmicos en un ser cuya piel tiene el aspecto de ladrillos anaranjados. Ha superado su rechazo inicial al monstruoso aspecto, definiéndose como una *belleza de ojos azules* **(figura 9).**

-Hombre de Arena (William Baker);(Universo Marvel), supervillano. Miembro de los Cuatro Temibles: Delincuente afectado por las radiaciones de una explosión nuclear en un desierto, transformándose sus células en arena. Ello le permite una gran movilidad y plasticidad, además de poderse proyectar contra sus enemigos. Esbirro de alquiler, ha trabajado, entre otros, para **El Líder** y **Garra Amarilla**. Habitual de **Los Cuatro Fantásticos** y **Spiderman (figura 10).**

-Hombre Molécula (Owen Reece); (Universo Marvel), supervillano: Científico mediocre víctima de un accidente en un laboratorio atómico, es capaz de dominar las moléculas inorgánicas. En un principio canaliza su poder a través de una varita. Vencido periódicamente por **Los Cuatro Fantásticos** y **Los Vengadores** debido a su inestabilidad emocional, sigue una terapia psiquiátrica. Participa en las **Secret Wars**, donde, increíblemente, liga con una de las villanas.

-Martinex; (Universo Marvel), miembro de los Guardianes de la Galaxia, en el siglo XXXI: Habitante humanoide del planeta Plutón, único superviviente del ataque del Imperio Badoon, que sojuzgó al Sistema Solar. Su aspecto es cristalino, evolucionado para aguantar los fuertes cambios térmicos de Plutón. Es capaz de generar rayos de frío y de calor extremos.



Figura 10. Selecciones Marvel presenta: Nova, V.1, nº 30 (Wolfman/Buscema).

-Monolito de Isla Muara; (Universo Marvel), supervillano galáctico: Monstruo de aspecto pétreo, proveniente del espacio exterior, queda atrapado por un tótem en una isla tropical, adquiriendo el aspecto de una montaña; al ser sustraído dicho tótem para exponerlo en un museo, despierta de su letargo. Derrotado por **Los Vengadores**.

4. El geólogo superhéroe. Conclusiones

No, lamentablemente no existe ningún superhéroe geólogo del que se tenga constancia. Las profesiones de los superhéroes suelen tener mayor *riesgo accidental*: son investigadores biólogos, electrónicos, físicos, industriales, médicos o químicos; la geología no les permite adquirir ningún tipo de poder. No obstante hay unos pocos relacionados con temas afines a las ciencias geológicas; algún investigador ha explorado el interior de la corteza como **Cave Carson**, espeleólogo que posee un vehículo-topo con el que viaja por la litosfera (Universo DC). También un oceanógrafo, el Dr.Walter Newell, realiza sus investigaciones del suelo submarino equipado con un traje especial, dotado de rayos eléctricos y adoptando el extraño nombre de **Pastinaca** (Universo Marvel). Sin embargo en ambos casos se trata de personajes complementarios de protagonistas de más envergadura. Igual ocurre con los supervillanos, entre los que sí existe una geóloga, aunque no se trata de una malvada al uso, sino de una persona manipulada por **Loki**, el dios de la mentira nórdico. A ella, de nombre Jeanne Chetrien, **Esculpidora,** se le ha concedido el don de manipular las rocas. Sin embargo, este regalo tiene un precio, la pérdida de la capacidad de imaginación, por lo que renuncia a él, no sin antes combatir junto a sus compañeros a las fuerzas combinadas de la **Patrulla X** y **Alpha Flight**.

Las ciencias geológicas son empleadas por los guionistas de soporte *científico* de sus argumentos. Terremotos, erupciones, cataclismos cósmicos, etc, encuentran una *adecuada* justificación dentro de un entorno fantástico en el que todo puede suceder. Los fenómenos geológicos acontecidos están supeditados a que las capacidades propias del superhéroe de turno permitan salvar la situación y de paso, al planeta, hasta la siguiente aventura.

Sin embargo, este mundo no debe juzgarse con estrictos criterios científicos y su falta de rigor (en ocasiones evidente) puede quedar mitigada por una cierta introducción de conceptos de modo más ameno que en los libros de texto. En los cómics se pueden conocer ideas básicas de biología, física, geología o química, al igual que en los relatos de ciencia-ficción, y permite desarrollar una mirada más abierta a la ciencia: tal vez un *creacionista* norteamericano tendrá una visión diferente de la evolución si se convierte en un asiduo lector de cómics de mutantes. Además, son un escaparate de las tensiones sociales del momento, desde el *Black Power* de los años 60, a las drogas y el creciente racismo actual.

Por ello, no es lícito despreciarlos sin más, ya que constituyen un medio de comunicación de ideas propio de este siglo, y como tal deben considerarse, teniendo además, interés artístico y siendo muy, muy entretenidos.

Bibliografía consultada

García-Aranda C.L. et al (1997): *«Cronología X. V.2. Renovación»*. Colección Classicomic nº2. Alberto Santos Editor.

Ediciones Bruguera: **Spiderman** nº 42.

Ediciones Fórum: **Clásicos Marvel** nº 18, **Classic X-Men** nº 43, **El Increíble Hulk** nº 4, 20, 21, **Especial Invierno Factor X, Patrulla X** «La Guerra de la Evolución», **Indiana Jones** nº 2, **Los Cuatro Fantásticos** nº 82, **Los Vengadores** nº 8, 9, 10, 19, 24, 25, 26, 29, 30, 32, **Patrulla X** nº 1, 2, 9, 10, 28, 30, 36, 40, 57, 60, 82, 85, 86, 87, **Los Nuevos Mutantes** nº 10, 11, **Secret Wars** nº 1. **X-Men** nº 3.

Marvel Comics: **The Guardians of the galaxy** nº 3.

MC ediciones: **2000 AD** nº 15, 16, 17, 18, 19, 22.

Ediciones Surco: **Motorista fantasma** nº 2, 3, 4.

Ediciones Vértice: **Capitán América** V.3. nº 36, 41, **Ka-zar** V.2 nº 8, **La Masa** V.3 nº 13, 34, 39, **Los Cuatro Fantásticos** V.3. nº 1, 4, 10, 17, 27, 28, 29, 30, **Los Defensores** nº 6, 7, **Los Vengadores** V.2. nº 46, **Ms. Marvel** V.1 nº 3, 4, **Patrulla X** V.3 nº 29, 30, 31, 32, **Selecciones Marvel** nº 12, 14, 22, 30, 33, 34, 37, 38, **Spiderman** V.3 nº 63-I, **Superhéroes** V.2. nº 46, 89, 100, 122, 130, **Triple acción** V.1 nº 10, **Werewolf** V.2 nº 18.

Ediciones Zinco: **The Butcher** nº 1 al 5, **Crisis en Tierras Infinitas** nº 5 al 8, **Juez Dredd** nº 5, 11, **Slash Maraud** nº 1 al 6, **Universo DC** nº 16.

BOLETIN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE

Cerámica y Vidrio

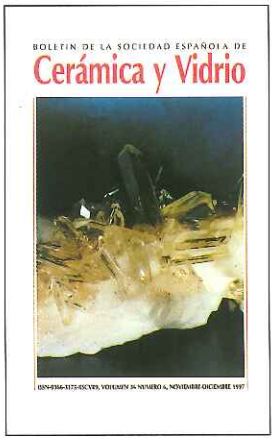
Director: J. Bakali
Redactor asociado: A. Durán
Redactor Jefe: E. Criado

Sociedad Española de Cerámica y Vidrio
Ctra. Antigua de Madrid-Valencia, km 24,300
28500 Arganda del Rey. MADRID
Teléfono: (91) 871 18 00 - 04
Fax: (91) 870 05 50
E-mail = secv@icv.csic.es
ISBN: 0366-3175-BSCVB-9

La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio edita bimestralmente, desde 1960 y sin interrupción, el Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, revista de carácter científico y técnico, que se distribuye a todos los miembros de la SECV y se intercambia con las principales revistas internacionales, estando presente en las más importantes bibliotecas especializadas de todo el mundo.

Ofrece artículos y trabajos originales, revisiones bibliográficas y notas técnicas, incluyendo resumen de los mismos en inglés. Publica también recensiones de nuevos libros que aparecen en el mercado mundial, noticias de actualidad, mercado, economía, nuevos productos y procesos, información general de congresos, reuniones y ferias, tanto nacionales como internacionales, etc., en el campo de la Cerámica y el Vidrio.

Cuenta también con secciones de Foro Joven e Investigación e Industria que ofrecen noticias, opiniones e información sobre temas que afectan a jóvenes profesionales y a centros y laboratorios de investigación y desarrollo, dando un panorama de la realidad científica-técnica del sector.





El Boletín de la SECV forma parte de los fondos documentales de distintas bases de datos bibliográficas. Entre éstas, Índice Español de Ciencia y Tecnología; Chemical Abstracts; PASCAL; Georef; SDIM; Silica y WCA recogen de forma sistemática los trabajos originales publicados en la revista.

Pendiente introducción SCI.

Todos los trabajos recibidos se someten antes de su publicación a la revisión crítica de dos supervisores.

***Órgano de difusión:** ALAFAR, AICE, CEVISAMA y CEVIDER.*

TEMÁTICA

El Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio está abierto a todas las colaboraciones que se puedan presentar en las siguientes áreas de campo de los materiales cerámicos y vítreos:

- Materias primas.
- Ladrillos y tejas.
- Porcelanas.
- Esmaltes y pigmentos.
- Cerámica estructural.
- Electrocerámica.
- Refractarios.
- Materiales compuestos.
- Vidrios.
- Preparación de materiales.
- Nuevos métodos de procesamiento.
- Caracterización de materiales.
- Propiedades de materiales.
- Aplicaciones especiales.
- Arte y diseño.
- Arqueometría.

HOJA DE SUSCRIPCIÓN

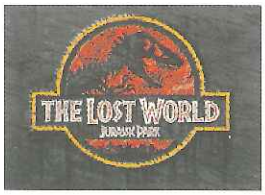
Deseo suscribirme al Boletín de la Sociedad Española de CERÁMICA Y VIDRIO

Nombre y apellidos: ..... Tel.: .....
Institución: ..... Fax: .....
Dirección: ..... e-mail: .....
Código postal: ..... Ciudad: ..... País: .....
❒ Adjunto cheque por valor de pesetas: ..... ❒ Domiciliación bancaria:
Banco/Caja de Ahorros: .....
Oficina nº: ..... Dirección: ..... Cuenta nº: .....

Firma

PRECIO DE LA SUSCRIPCIÓN

- Suscripción anual (6 números al año): 15.000 pesetas.
- Número suelto: 3.500 pesetas (incluidos gastos de envío).



El norte perdido

por Marc Martínez

Cuatro años. Cuatro años de silencio artístico y de sueños rotos. El retorno de Spielberg con «El Mundo Perdido» –secuela de «Parque Jurásico» y basada en la novela del mismo nombre de Michael Crichton– se puede calificar, cuanto menos de discreta, y para más de uno, de decepcionante. De alguien con tan demostrado talento y maestro en un género que reinventó (como es el cine de aventuras) se esperaba más emoción y hechizo. Sin embargo, esta película es un frío producto de Hollywood, realizada con gran profesionalidad y esmero, digna para cualquier otro director, pero sin ese toque mágico y particular del Universo Spielberg y sí con una evidente apatía en su realización.

Si la novela en la que se basa ya era de por sí un mediocre guión cinematográfico, su reescritura tampoco se puede considerar afortunada. Así, el conjunto resultante parece construido a partir de varios injertos de títulos míticos del cine: aunque troncalmente recuerda a «King Kong», hay escenas que retrotraen a las películas de safaris (como «Hatari») y de monstruos antediluvianos («Gorgo», «Godzilla»); no obstante, el planteamiento del film es prácticamente un calco o fotocopia de su precedente «Parque Jurásico», aunque conducida de manera más torpe; éste se puede resumir en pocas líneas: arriban a una isla para cumplir una misión (evaluar un parque, rodar un documental o capturar animales), pero por inesperados avatares todo se tuerce, debiendo luchar y huir para salvar su vida (lo que no todos consiguen) abandonando al final la isla en un helicóptero. Es un idéntico planteamiento que muestra el poco amor al riesgo para incorporar ideas innovadoras, apostando por las conocidas de éxito asegurado. La única novedad respecto a la primera película, aunque tampoco muy lograda, reside en la última parte del film, que se desarrolla en la ciudad de San Diego.

Otras coincidencias, más en detalle, se pueden agrupar de la siguiente manera:

1) DEFINICIÓN DE LOS PERSONAJES: Reaparece el inefable y escéptico Doctor Malcolm, junto a un nuevo tierno infante (que tensará la acción con sus gritos y sustos) y a otra paleontóloga (por eso de la lucha de sexos); sin embargo las coincidencias son mayores en los personajes secundarios: comparten la presencia de abogados y/o gestores, fundamentalmente egoístas, centrados en el lucro del negocio que administran, y que, debido a su poca clarividencia en los asuntos paleontológicos, suelen ser devorados por sus propias inversiones, en forma de hambrientos tiranosaurios, convertidos a su vez en expertos degustadores de este tipo de *Fast-food* estresado. También repite el mismo modelo de malvado estúpido (informático corrupto o cazador sádico) a los que su tonta autosuficiencia sirve para acabar como menú del día de algún bichejo al que han despreciado previamente.

2) SAURIOS: En ambas películas el primer contacto de los protagonistas con ellos causa la misma expresión de asombro. También los expedicionarios son perseguidos con perseverancia por tiranosaurios y velocirraptores, mostrando la misma afición a alimentarse con nocturnidad, como cualquier persona a dieta comiendo a escondidas, y adelantando una nueva teoría sobre su desaparición: la culpa fue de la alimentación desequilibrada. Repiten los tiranosaurios en su cerril odio a los vehículos motorizados; si en la primera se ensañaban con un Range-Rover, despeñándolo, en la presente, y por eso del mayor presupuesto, se afanan en lanzar un equipado camión-científico por un imponente acantilado, deteniéndose únicamente para *compartir tapa*.

3) ESCENARIOS: La espectacular entrada a la isla Nublar del primer film, que crea un ambiente de expectación y predisposición a las emocionantes aventuras que devendrán, se transforma en «El mundo perdido», en su llegada a la isla Sorna, en un rutinario viaje turístico por cualquier calita de la Costa Brava. La antigua instalación en la que se refugian los héroes recuerda sospechosamente al centro turístico de «Parque Jurásico», aunque muy desvencijada.

Respecto a los nuevos personajes cabe decir que no son muchos, y se encuentran poco desarrollados en profundidad, convirtiéndose generalmente en aperitivos o entremeses (según el tiempo en pantalla) para los saurios mientras esperan a los platos fuertes. El cazador profesional encarnado por Pete Postlethwaite comete errores más propios de un pardillo que de un experto (entre otros no comprobar los cartuchos de su escopeta), el fotógrafo ecologista es exageradamente combativo (es la imagen que tienen en la actualidad los norteamericanos del *ecologismo activo*), rayano en la delincuencia, y el ingeniero resulta un bocado apetecible.

También deben destacarse ciertas lagunas en el guión (¿quién ataca a los tripulantes del barco si el tiranosaurio está encerrado en la bodega?) o resoluciones demasiado simples y esquemáticas (la persecución nocturna por las calles de San Diego).

Otro detalle lo supone la publicidad nada subliminal a la que someten al espectador (del estilo de las teleseries) ¿quién no se fija en la marca de la cámara fotográfica, la de vídeo o en la del coche todo-terreno? También incluye algún guiño cinéfilo: en un video-club de San Diego se ve un póster del «King Lear» protagonizado nada menos ¡que por Arnold Schwarzenegger!

Se puede concluir que «El mundo perdido» es una discreta película de aventuras propia de un consumo estival y un rápido olvido (otro ejemplo es «La Roca») en las que lo de menos es una buena historia quedando ésta subordinada a un encadenamiento de espectaculares escenas de acción acompañadas por convincentes efectos especiales. Los auténticos protagonistas de la cinta son los saurios, y todos los desdibujados personajes únicamente sirven para dar pie a su intervención. Aunque todas las comparaciones son odiosas, la cinta «Aliens» de James Cameron, de esquema muy similar, consigue a mi parecer un equilibrio perfecto historia-monstruos-personajes-efectos, originando una magnífica y trepidante película, a años-luz de la que nos concierne, sobre todo siendo su director Steven Spielberg. Su protagonista Sigourney Weaver (la inolvidable *Ripley*) fue nominada al Oscar (¿creen que alguno de los actores de «El Mundo Perdido» pueden ser nominados, a excepción, tal vez, de la mamá Tiranousaria?).

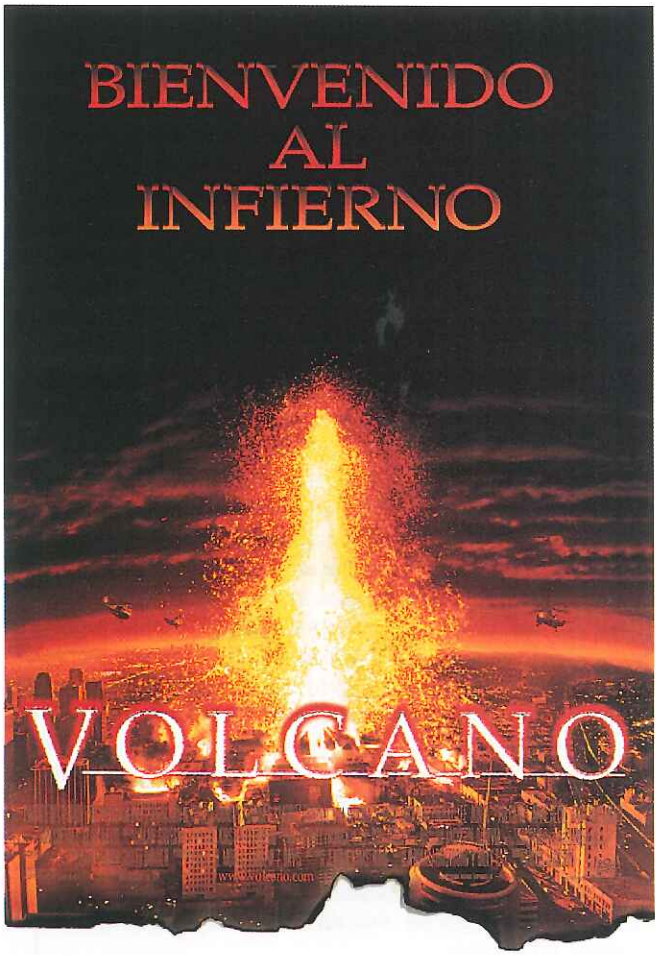
EL MUNDO PERDIDO-PARQUE JURÁSICO. Director: Steven Spielberg. **Protagonistas:** Jeff Goldblum, Pete Postlethwaite, Julianne Moore, Arliss Howard, Mamá Tiranosauria. USA, 1997.

La ciudad no es para mí

por Marc Martínez

No, no se trata de un documental sobre el planeta natal del Señor Spock, ni de una película sobre mitología griega. Es la última película de catástrofes catastróficas, realizada por Mick Jackson, *reputado* creador, entre otras joyas, de la celebérrima «El guardaespaldas». Y la cinta es mediocre, un vulgar vehículo hollywoodiense para lucimiento de abundantes y magníficos efectos especiales, aunque apoyados en un previsible y anodino argumento, aderezado con varias e insulsas historias personales (muy propio de este tipo de películas), obteniéndose un conjunto deslabazado. Pero lo que resulta excesivo son esos arrebatos de presunta *creatividad* y *lirismo* que padece el director. Esos accesos le llevan a emplear excesivas ralentizaciones de imágenes con el fin de acentuar la tensión de algunas escenas, lo que a la postre resulta superfluo e innecesario; también esas visiones le permiten crear, en un arranque de genialidad daliniana algunas escenas *de autor* dignas de otro gran maestro, a quien no tiene nada que envidiar, como fue **Ed Wood**. Así, una burda alegoría a la igualdad racial se transforma justo en lo contrario, en un canto a la diferenciación social y racial: Un niño es ayudado por un policía a buscar a su madre. A la pregunta de este último de cómo es ella, el niño, atónito ante el idéntico aspecto de la multitud (blancos y negros), sucia del polvo de una explosión, exclama: «¡no sé, todos son iguales!» pero inmediatamente cae un chaparrón duchando a todos los presentes y devolviéndolos a su *lugar en la sociedad*. Otra escena en la que alcanza las cotas de surrealismo de **«Un perro andaluz»** (aunque, obviamente, sin pretenderlo) muestra cómo un perro ofrece su hueso a la colada de lava que avanza impasible por el salón-comedor de su casa ¡y ni siquiera es de raza!

Por lo demás, la historia es muy elemental: En las alcantarillas de Los Ángeles, ciudad blanco de catástrofes reales y fílmicas, multirracial y policultural, se abre una gran falla (debido presumiblemente a las obras de ampliación del Metro), ascendiendo el magma que origina una violenta erupción con el consiguiente caos y devastación. A diferencia de su homóloga **«Un pueblo llamado Dante's Peak»**, en la que los protagonistas corrían para salvar su vida, aquí la Administración Municipal se enfrenta presurosa al volcán para intentar atajar sus efectos y encauzar la lava hacia el mar. Para ello cuenta con los servicios del jefe de desastres (o algo así) encarnado por Tommy Lee Jones, al que asesora, entre lección y lección de tectónica, una bella geóloga (Anne Heche) del Instituto Californiano de Ciencias de la Tierra, deseosa de pillar marido. Ella es especialista en sismología, pero es reconvertida rápidamente en experta vulcanóloga por necesidades del guión (y es que sabemos de todo); además es una *gran conocedora y autoridad* en el comportamiento errático de las bombas volcánicas. Estos papeles protagonistas tópicos y típicos, no revisten demasiado interés. Donde sí reside es en la amplia nómina de secundarios. Descubrir cuál de ellos será achicharrado resulta un entretenimiento añadido al film. Así aparece el estricto policía, en conflicto con el negro rapero, la



médico abnegada, su novio (el egoísta especulador inmobiliario) que recibe su merecido castigo donde más le duele, además de otra geóloga, más insegura y de ardiente final, o el terco operario del metro, único personaje que fuma, hecho premonitorio y punible, ya que, entre rezo y rezo, acaba consumido cual colilla, en un charco de lava. Tampoco falta el dichoso niño que siempre se pierde (y siempre rescatan), el heroísmo policial y bomberil, y las citas de temática religiosa, en las que descubrimos que San Mateo es el preferido de los geólogos (!!!). Y todo ello es seguido por decenas de periodistas de radio y televisión, que tanto retransmiten (a la manera de **Matías Prats**) cómo dos bomberos son engullidos por una colada, cómo completan los ratos muertos, entre calamidad y calamidad, con diversos reportajes de *interés social*.

Finalmente se puede resumir que **Volcano** es una película de tantas, sin un estilo propio y que se limita a seguir el terreno allanado por otras películas de catástrofes de similar corte. Nada nuevo bajo el sol.

VOLCANO. Director: Mick Jackson. **Protagonistas:** Tommy Lee Jones, Anne Heche, G. Hoffman, El Volcán. USA, 1997.

El mundo subterráneo en la filatelia: una visión insólita

Manuel J. González-Ríos

Director del Museo Andaluz de Espeleología.

Introducción

Desde que aparece el primer sello de correos, a mediados del siglo XIX, el hombre ha sentido deseos de coleccionar estas pequeñas obras de arte. Las primeras ediciones filatélicas estaban ilustradas habitualmente con imágenes de personalidades representativas de cada país: presidentes, reyes, personajes ilustres, etc. Con el tiempo, comenzaron a representarse monumentos, paisajes, obras de arte o simplemente a conmemorar algún que otro centenario o efeméride.

El mundo subterráneo y todo lo que lo rodea, no ha pasado desapercibido a los creadores de estas pequeñas obras. Así podemos contemplar los paisajes kársticos, las cavidades subterráneas, los animales que viven en el interior de la Tierra, y –cómo no–, los vestigios de los seres humanos y de los animales prehistóricos que las ocuparon. Todo ello ilustrado en diferentes efectos filatélicos: sellos, matasellos, enteros postales, franqueos mecánicos y otros.

El paisaje kárstico

El mundo subterráneo se desarrolla primordialmente en materiales carbonatados, aunque también se pueden encontrar importantísimas cavidades en otros materiales solubles, como el yeso, la sal y el hielo. De igual manera, se pueden formar modelados kársticos en rocas más duras como las cuarcitas, debido a mecanismos de erosión en determinados climas.

Diferentes países recogen para su servicio postal imágenes de bellos paisajes kársticos. Así, tenemos entre otros muchos ejemplos: un aerograma de Malasia, que recoge las espectaculares agujas del karst de Mulu; en China, diversos ejemplares muestran vistas de los famosos karsts en torres; en Japón bellos enteros postales y sellos muestran el karst de Akiyoshi, entre otros; en la antigua Checoslovaquia, imágenes de los auténticos poljes; en España, los Picos de Europa se muestran en un entero postal con una imagen del Naranjo de Bulnes y un sello con el Parque Nacional de los Picos de



Cueva de Jeita, Líbano



Cueva de Castellana, Italia. Obra del pintor E. Vangelli.



Cueva de Frasassi, Italia. Obra del pintor E. Vangelli.



Cueva de la Pileta, Málaga (España).

Europa, auténtico paraíso de la Espeleología mundial; en Venezuela, el famoso Salto del Ángel que precipita sus aguas desde lo alto de un Tepui y la sima Mayor en el Sarisariñama, ambos excavados en cuarcitas; en Turquía, diferentes sellos y matasellos del espectacular Pamukkale, con sus blancas formaciones travertínicas al aire libre; al igual que en Filipinas, pero formadas en sal gema; y un largo etc.

Y en estos paisajes kársticos se desarrollan la práctica totalidad de las cavidades naturales conocidas.

Las cavidades

El agua, por medio del mecanismo de disolución ensancha las discontinuidades de las rocas solubles, provocando reajustes en el subsuelo, y dando lugar a las cavidades kársticas, conductos por donde el agua discurre hasta alcanzar las surgencias naturales, o bien permanecer almacenada en su interior, en los acuíferos kársticos.

Muchos son los efectos filatélicos que muestran tranquilas aguas subterráneas, algunas de ellas navegables. Algunos países así representados son, entre otros: El Líbano, que imprime dos ejemplares de la Gruta de Jeita; Bélgica edita bastantes enteros postales y sellos dedicados a cavidades con agua, entre ellas la Cueva Couvín, en Remouchamps y la Cueva del Han, atravesada por el río Lesse; en Venezuela, la Cueva del Guácharo; Italia, con la Cueva de Frasassi; en España la del Drach, en Mallorca; y en esta línea, otros muchos.

Aguas tumultuosas, que recorren las galerías o que se precipitan al exterior por grandes cavernas: la Polinesia Francesa, con la entrada de una cueva; en Líbano, varios sellos muestran la fuente de Afka, cuyas aguas emergen de una gran cavidad; en España, la Cueva del Gato en un sello local de Benaoján (Málaga); en Slovenia, un entero postal muestra uno de los ríos subterráneos más caudalosos que se conocen, dentro de la Skocjanske Jame, y otro de los años 30, de la vecina Cueva de Postumia, cuando pertenecía a Italia, recorrida por el Reka. También están representados algunos saltos de agua: en Barbados, con la Cueva de Harrison, o en Hungría, con la Cueva de Anna.

En el año 1922 se confecciona en Armenia el primer sello dedicado a la Espeleología. En él se pueden ver las ruinas de la ciudad de Ani vista desde dentro de la cavidad. Otras entradas de cavidades las encontramos en sellos de Venezuela (Sima Mayor), Ecuador



Surgencia de la Cueva del Gato, Málaga (España).



Cueva del Drach, Palma de Mallorca (España).



Sima Mayor, con unos 400 m de diámetro (abajo) y Sima Menor, de la meseta de Sarisariñama, Venezuela.



Columna en la Cueva Akiyoshi, Japón.

(Gruta de Rumichaca) y Checoslovaquia (Sima de Macocha).

Los espeleotemas

Bajo este nombre se conocen todas las concreciones cristalinas que se encuentran en el interior de las cavidades, desde las estilizadas estalactitas, hasta las más sofisticadas y caprichosas formas (columnas, gours, excéntricas, banderas, etc.).

Sin duda alguna este aspecto es el más reflejado en el mundo de la espeleo-filatelia, por su espectacularidad, belleza y variedad de formas. El primer sello editado en este sentido, pertenece a la Cueva de Bellamar en Cuba, confeccionado en el año 1936, pudiéndose encontrar dentado y sin dentar. En él se muestran bellas estalactitas y colgaduras en color sepia.

En 1955, el Líbano imprime una serie de cinco ejemplares con la vista de una gran columna tapizada de coladas y estalactitas; sólo varía el color y el precio, aunque todos ellos están dedicados a la Cueva de Jeita.



Guácharo, Venezuela.

A partir de ese momento, raro es el país que no ha editado algún sello dedicado a alguna cavidad de su entorno. Es curioso que Francia, país con una tradición espeleológica centenaria, y numerosas cavidades abiertas al turismo, hasta la fecha no haya editado ningún sello dedicado al mundo subterráneo; eso sí, dispone de gran cantidad de matasellos dedicados a todas las actividades espeleológicas (turismo, congresos, etc.) y sellos dedicados al arte rupestre.

Tan sólo se van a mencionar algunos ejemplares por sus especiales características o rareza. Así tenemos: en Brasil, una hojita dedicada a las cavernas como patrimonio nacional; Israel, con dos bellos ejemplares de la Cueva Sorek; Barbados, con una bonita serie de cuatro valores sobre la Cueva Harrison; Venezuela, con un precioso sello sobre la Cueva del Guácharo; en Australia se edita a principios de siglo un sobre entero postal con una vista de estalactitas de la Cueva Naracoorte; igualmente, se realiza recientemente un precioso sello con otra vista de esta cavidad; en Grecia, tres sellos muestran panorámicas de varias cavidades; curiosamente, en uno de ellos, editado en 1992, se invierte por error la posición de un grupo de coladas estalagmíticas; Rumanía, sin duda alguna, es el país que más efectos filatélicos ha dedicado al mundo subterráneo, con preciosas series, enteros postales y matasellos conmemorativos de todo tipo; de



Plano topográfico, parcial, de la Cueva de Sof Omar, Etiopía.

Botswana, podemos contemplar un ejemplar con formaciones de banderas o colgaduras en la Cueva Cwihaba; en Corea del Sur varios ejemplares muestran bellos grupos de columnas y estalactitas; en Austria, un sello muestra formaciones en hielo en la Cueva Lurgrotte Peggau, así como varios enteros postales de la misma cavidad; en Vietnam, un sello muestra un grupo de estalagmitas de la Cueva Hang Pác; en Japón, un bello ejemplar muestra una gran columna de la Cueva Akiyoshi; en Eslovenia, un sello muestra los famosos gours de la Cueva de Skocjanske Jame; en España, destacan sendos ejemplares de la Cueva del Drach (Mallorca) y de la Cueva de la Pileta (Málaga).

Los animales en el mundo subterráneo

Como anteriormente se ha comentado, el mundo subterráneo alberga en su interior a un sinfín de especies animales (insectos, peces, mamíferos, anfibios, etc.), que dependen muy directamente de la protección que representan las cavidades.

En el transcurso de las exploraciones científicas, se han localizado gran cantidad de animales endémicos, clasificándolos genéricamente en grupos, en función del grado de dependencia y adaptación al medio subterráneo. De entre los pioneros, destaca Emil Raco-



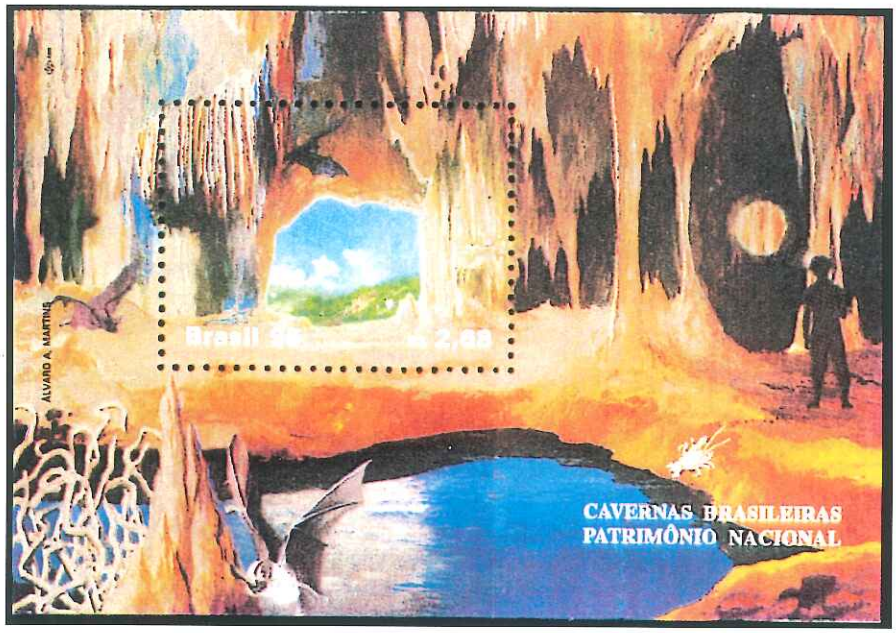
Formaciones en sal gema, Filipinas.



Murciélago *Rhinolophus*, Francia.



Cueva Yeongweol, Korea.



Hojita conmemorativa de las cavernas brasileiras, Brasil.



Julio Verne: Viaje al Centro de la Tierra, Mónaco.



Karst en torres, China.

vitá, (1868-1947), considerado como el fundador de la Bioespeleología. Rumanía, su país de origen, edita dos sellos y varios matasellos alusivos.

El grupo más famoso por la capacidad de adaptación y dependencia del mundo subterráneo son los Troglóbios: el animal más famoso descubierto es el *Proteus anguineus,* localizado en abundancia en cuevas de la antigua Yugoslavia; dos sellos de este país muestran a este espectacular anfibio, totalmente despigmentado y perfectamente adaptado tanto al medio terrestre como al acuático. Otro sello muestra junto a unas colgaduras a un coleóptero cavernícola; igualmente, en la recientemente creada Slovenia, una serie dedicada a animales troglobios muestra al *Proteus anguineus;* Rumanía, siguiendo su tradición espeleo-filatélica, edita una serie de seis ejemplares dedicada a la fauna cavernícola; también Somalia realiza una serie de sellos donde podemos contemplar peces troglobios.

Otro grupo adaptado a vivir en el medio subterráneo es conocido como Troglófilo. Son animales que dependen para su subsistencia del exterior, pasando gran parte de su vida en el interior de las cavidades; el más conocido es el murciélago.

Este mamífero se ha filatelizado en multitud de países, ya que existen cientos de especies repartidas por todo el planeta. También se ha utilizado como parte integrante de algunos escudos heráldicos (escudo de Valencia o Albacete, por ejemplo); de igual manera, el murciélago se ha representado abundantemente en sellos de países orientales, entre ellos China, donde simboliza la paz y la buena suerte.

Asociados al mundo subterráneo se encuentran pocos sellos: en Polonia, en el año 1976, se puede contemplar un murciélago de la especie *Plecotus sp.* junto a una cavidad; Bulgaria imprime dos ejemplares con imágenes de *Rhinolophus ferrumequinum,* especie



Cueva Hang Pac Bo, Vietnam.



Exploración de espeleólogos polacos a Cuba, Polonia.



Pintando en cuevas. Cuba.



Pinturas en la Cueva de Covalanas, España.

muy corriente en el mundo subterráneo. Matasellos hay bastantes que identifican al murciélago con el mundo subterráneo; así tenemos, en Australia, uno dedicado a la Cueva Naracoorte; en Italia, en conmemoración del XII Convegno di Speleología Lombarda, un matasellos ilustra la figura de tres estilizados murciélagos; en Francia, varios matasellos y franqueos mecánicos asocian al murciélago con la Federación Francesa de Espeleología y algunos congresos nacionales.

Al igual que el murciélago, varias aves utilizan las cavidades para refugiarse. La más famosa es el Guácharo, *Esteatornis caripensis,* pudiendo localizarse desde Méjico a Venezuela. Y en este último país se edita un sello con una imagen del Guácharo dentro de una cavidad.

Bajo el punto de vista paleontológico, otros animales de mayor tamaño vivieron en el interior de las cavidades con el objeto de refugiarse de las inclemencias del tiempo, o para su utilización como guarida. Los espeleólogos, en el transcurso de sus exploraciones, localizan en su interior importantísimos yacimientos de restos de animales fósiles. De entre ellos, destaca el extinguido oso de las cavernas, *Ursus Spelaeus,* que encontramos filatelizado en un sello en Rumanía; en Italia, dos matasellos muestran un cráneo de este animal; Rumanía y Alemania, con sendos matasellos, que presentan el esqueleto completo. Otros animales, como el *Myotragus balearicus,* bóvido de pequeño tamaño localizado, entre otras, en la Cova de Muleta, queda recogido en España en un matasellos donde se puede ver el esqueleto de este animal.



Proteus anguineus. **Yugoslavia.**



Pinturas en la Cueva de Lascaux, Francia. Mónaco.

El hombre y las cavernas

Las cavidades naturales han atraído desde siempre al hombre. Ya en la prehistoria las utilizaban como refugio, e incluso se adentraban en su interior para decorar sus paredes con representaciones animalísticas de singular interés.



E. Recovita, fundador de la Bioespeleología. Rumania.



Pinturas en la Cueva de Niaux, Francia.

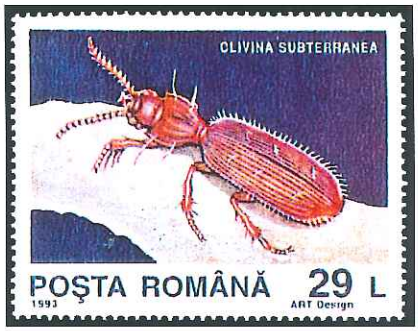
Muchos y de gran interés científico son los descubrimientos realizados en yacimientos arqueológicos en cavidades, localizándose enterramientos, hábitats y santuarios.

En Grecia podemos encontrar un sello con un cráneo humano procedente de la Cueva de Petralona; en Cuba, varios sellos de una serie de seis valores, dedicados a hombres fósiles se relacionan con el mundo subterráneo.

Con respecto al arte rupestre, muchos países han realizado sellos alusivos a las diferentes representaciones localizadas dentro de sus fronteras. Predominan las representaciones en abrigos rupestres: países como la República del Chad, Argelia, Mauritania y otros han realizado bastantes ejemplares, aunque realmente este material no se podría considerar como perteneciente en sentido estricto al mundo subterráneo.

Otros sellos muestran realmente pinturas pertenecientes al interior de las cavidades, casi todas ellas asociadas al hombre del Paleolítico. Entre otros países, España realiza varios ejemplares con figuras de las cuevas del Castillo, Altamira, Tito Bustillo y otras. Francia hace lo propio con las cuevas de Lascaux y Niaux entre las más famosas.

En Cuba, una serie dedicada al 30 Aniversario de la Sociedad Espeleológica Cubana, muestra varias vistas de



Coleóptero cavernícola. Rumania.



Cueva Fósil de Naracoorte. Australia.



Cueva Kangogrotte. Sudáfrica.



Cueva Carlsbad, Nuevo México (USA). Bhutan.

pinturas encontradas en el interior de cavidades, entre ellas las cuevas de Ambrosio, García Robiou y Pichardo; en China, bastantes ejemplares muestran frescos localizados en cavidades. Existen, además, otros países que imprimen sellos con pinturas pertenecientes a otros lugares, como por ejemplo Mónaco, que muestra un sello dedicado a la cueva de Lascoux en Francia; o Venda, que reproduce un sello del bisonte de la cántabra Cueva de Altamira.

Otro aspecto es el puramente antropológico, el hombre y sus rituales, sus leyendas, mitos y fantasías asociadas al mundo subterráneo. Muchos efectos filatélicos simbolizan el nacimiento de Cristo en una cavidad (Malta, Dominica); otros sellos muestran apariciones religiosas en cuevas (Vaticano, Mónaco, donde podemos contemplar la aparición de la Virgen de Lourdes); ascetas y santos que vivieron en cuevas (Italia, España o Bélgica muestran imágenes de San Pedro Damián y San Benito, considerado este último en algunos países como el patrón de los espeleólogos, y otros muchos santos); lugares de peregrinación en cavidades (Lourdes en Francia, Covadonga en España, etc.).

Relatos fantásticos, como el de Julio Verne, *Viaje al centro de la Tierra,* recogido en sellos de Mónaco, Nicaragua y República de Guinea. Las aventuras de Tom Sawyer, en sellos de Dominica, y *El flautista de Hamelín,* en diversos efectos filatélicos de Alemania son otros ejemplos.

Y el mundo subterráneo como objeto de arte, bien mediante pinturas que muestran de una forma más o menos artística las bellezas de las cavidades: República Argentina, con una pintura de E. Pettoruti como homenaje a la Gruta Azul; Yugoslavia, con una pintura sobre la cueva de Postojna, obra de D. Gorunov; en Italia, dos sellos con vistas de la cueva de Frasassi y Castellana, obras de E. Vangelli.

O como lugar de celebración de conciertos y obras de teatro; en China, varios sellos muestran bailarines dentro de cavidades; conciertos y Festivales de Música en cavidades (España, con rodillos sobre la Cueva de Nerja; o Rumanía, con enteros postales y matasellos alusivos a conciertos sinfónicos). E incluso visto bajo un prisma meramente deportivo y de exploración, resaltando en efectos filatélicos el material espeleológico (cascos, mosquetones y nudos, en sellos de Cuba, Suiza y Francia, etc.), o las técnicas de exploración (rappel, escalada, etc.: Australia, Alemania, Rumanía). Sellos conmemorando expediciones espeleológicas como los correspondientes a las Islas Turks & Caicos, o los de Polonia, con un sello



Cueva Tropfsteinhöhlen. Austria.



Cueva de Postojna. Yugoslavia.



Cueva Harrison. Barbados.



Turistas en la entrada de una cueva. Polinesia Francesa.



Cueva Sorek. Israel.



Cueva Harrison. Barbados.



Cráneo en la Cueva de Petralona. Grecia.



Navegación en la Cueva Couvin. Bélgica.



Karst de Akiyhosi. Japón.

sobre una exploración a Cuba; en Barbados podemos ver a un espeleólogo en la cueva de Harrison. También explorando sifones: un matasello de Rumanía muestra a un espeleobuceador en un sifón, y una hojita, con una imagen similar, pasando un sifón.

Sin olvidar al propio explorador, que en muchas ocasiones ha quedado igualmente recogido en efectos filatélicos: E. Racovita en Rumanía; Battisti, en Italia; Herman Otto, fundador de la Sociedad Húngara de Espeleología; Humboldt, explorador de cavidades en Venezuela; y otros muchos.

De igual manera, el espeleólogo realiza, entre otras actividades, levantamientos de planos de cavidades con el objeto de conocer mejor el mundo subterráneo. Encontramos, en este sentido, sellos de Etiopía, con un plano parcial de la cueva de Sof Omar, una de las más grandes del continente africano; matasellos de Hungría con el plano de la cueva de S. Esteban.

Y por último, el hombre como mero espectador del mundo subterráneo: efectos filatélicos dedicados a cavidades turísticas. Francia es, sin lugar a dudas, el país con más efectos (matasellos) dedicado al turismo subterráneo. En cada población en la que se localiza una cueva turística, generalmente existe un matasellos de uso genérico y continuado que invita a visitar dicha cavidad. Igualmente, Japón, con bastantes enteros postales y matasellos. Y prácticamente la totalidad de países donde existen cavidades abiertas al turismo (España, Bélgica, Italia, Alemania, Australia o los Estados Unidos de América).

Bibliografía de consulta

Para concluir se presenta una breve relación de publicaciones periódicas donde poder consultar prácticamente la totalidad de efectos filatélicos relacionados con la Espeleología.

La revista más importante nace en Holanda en junio de 1981, con el título *Speleo Stamps Collector,* de la cual se editaron 41 números. En el número 42 (1994), cambia su nombre por el de *Speleophilately International;* se llevan editados 52 ejemplares. Su editor es Jan Paul Van der Pas, y la dirección Vauwerhofweg, 3. 6333 CB Schimmert (Holanda).

En Estados Unidos se edita la revista *Underground Post.* Aparece en 1990, editada por Thomas Lera. C/o. National Samples, 404, West Main Street. Azle, Texas 76020, USA.

Bajo el genérico nombre de *Geologie,* en Alemania se edita esta revista, cuyo contenido recoge las novedades de los efectos filatélicos relacionados con la Mineralogía, Paleontología, Espeleología y otros temas afines. En el año 1997 se ha publicado el número 79. Editada por J. C. Van Soeren. Steinknöck, 3 D-91054 Erlangen, Alemania.



Pamukkale. Turquía



Pamukkale. Turquía



Ursus Spelaeus. Rumania.

I Certamen Nacional de Fotog

Resultado



Primer Premio:
***«La Puerta de la luz».* Autor: D. Jesús Rodríguez Jurado.**



Segundo Premio:
***«La Orbia».* Autor: D. Alejandro Gazona Piñera.**

ACTA

Reunido el Jurado del **I Certamen Nacional de Fotografía Geológica «Emilio Elízaga»,** organizado por la revista «Tierra y Tecnología» y formado por Don Luis Suárez Ordóñez, presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, Don Oswaldo García Hernán, vicepresidente, Don Jaime Palacio Suárez, editor adjunto de T&T, Don Diego Caballo Arcilla, redactor de Edición Gráfica de la Agencia EFE y Don Javier Piedrahita, editor de la revista Comunicación y Negocios, acuerdan:

1º Agradecer la elevada participación, con más de 100 fotografías y diapositivas, así como destacar el elevado nivel de las mismas.

2º Así mismo acuerda, por unanimidad, aceptar todas las fotografías presentadas dentro del plazo, incluso un número muy reducido, cuyo tamaño no alcanza, por un centímetro, el exigido en las bases, en aras a reconocer el esfuerzo realizado por los autores.

3º Conceder los siguientes ***accésits:***

– *Modalidad de Recursos Geológicos:* concederlo, por unanimidad, a la fotografía nº 55 titulada *«Sierra de Cazorla»* y cuyo autor resultó ser **Don Ignacio Rubiera Álvarez.**

– *Modalidad de Medio Ambiente y Riesgos Geológicos:* concederlo, por unanimidad, a la fotografía nº 6 titulada *«Y reencontró su cauce»,* cuyo autor resultó ser **Doña Cristina Muñoz Martínez.**

– *Modalidad de Hidrogeología:* concederlo, por unanimidad, a la diapositiva nº 47 titulada *«Nacimiento del río»* y cuyo autor resultó ser **Don Ignacio Rubiera Álvarez.**

– *Modalidad de Geotecnia:* concederlo, por mayoría, a la fotografía nº 49 titulada *«Hormigas mecánicas»* y cuyo autor resultó ser **Don Jesús Rodríguez Jurado.**

– *Modalidad Historia de la Geología:* se decide, por unanimidad, declararlo desierto.

– *Modalidad Geología y Sociedad:* el Jurado decide conceder los siguientes accésits:

• Por unanimidad, a la fotografía nº 30 titulada *«Viñedos trepando por la ladera»,* y cuyo autor resultó ser **don Dionisio Martín Herrero.**

• Por mayoría, a la fotografía nº 2 titulada *«Factor de Seguridad»* y cuyo



Tercer Premio: *«Coladas volcánicas».*
Autor: D. Pedro Muñoz Barco.



Accésit: *«Hormigas mecánicas».*
Autor: D. Jesús Rodríguez Jurado.

ía Geológica «Emilio Elízaga»

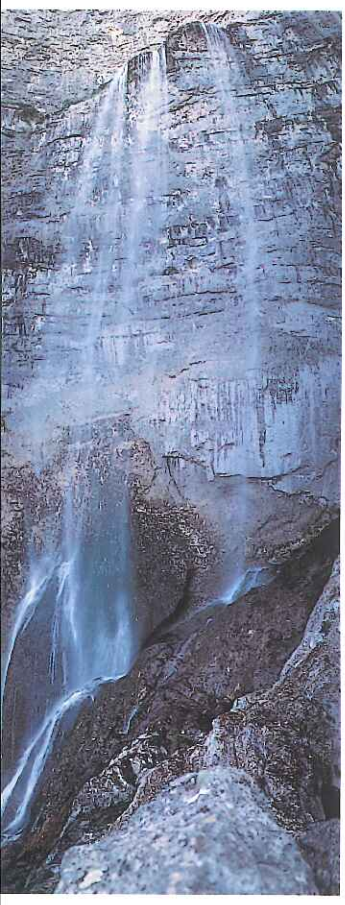
l Certamen



Accésit: *«Sierra de Cazorla»*. Autor: D. Ignacio Rubiera Álvarez.



Accésit: *«Viñedos trepando por la ladera»*. Autor: D. Dionisio Martín Herrero.



ccésit: *«Nacimiento del río»*.
utor: D. Ignacio Rubiera Álvarez.



Accésit: *«Factor de Seguridad»*.
Autor: D. Enrique Fernández Escalante.



Accésit: *«Y reencontró su cauce»*.
Autora: Dª Cristina Muñoz Martínez.

autor resultó ser **Don Enrique Fernández Escalante.**

4º Conceder, por unanimidad, el ***III Premio de Patrimonio Geológico,*** dotado con 25.000 pta. a la diapositiva nº 19 titulada *«Coladas volcánicas»*. Abierta la plica correspondiente, el autor resultó ser **Don Pedro Muñoz Barco.**

Conceder, por unanimidad, el ***II Premio de Patrimonio Geológico,*** dotado con 50.000 pta. a la fotografía nº 43 titulada *«La Orbia»*. Abierta la plica correspondiente, el autor resultó ser **Don Alejandro Gaona Piñera.**

6º Conceder, por unanimidad, el ***I Premio Geológico,*** dotado con 100.000 pta. a la fotografía nº 51 titulada *«La Puerta de la luz»*. Abierta la plica correspondiente, el autor resultó ser **Don Jesús Rodríguez Jurado.**

El jurado decide, igualmente por unanimidad, conceder una mención especial a la obra fotográfica de **Don Julio Hernán-Gómez Ponce,** retirada voluntariamente del concurso.

Lo firman en Madrid, a las 22 horas y 16 minutos del día 4 de diciembre de 1997, día de Santa Bárbara: *Don Luis Suárez Ordóñez, Don Oswaldo García-Hernán, Don Jaime Palacio Suárez, Don Diego Caballo Arcilla y Don Javier Piedrahita.*

¡¡¡ SUSCRIBASE a . . . !!!

tierra y tecnología



una publicación especializada en temas relacionados con ...

- Medio Ambiente
- Ingeniería Geológica
- Teledetección y SIG
- Exploración Minera
- Recursos Minerales
- Hidrogeología
- Hidrocarburos
- Geofísica
- Mineralogía
- Construcción y auxiliar
- Energía eléctrica, agua y gas,

así como . . .

. . . otros sectores relacionados con las Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente

---

SOLICITUD DE SUSCRIPCION

tierra y tecnología

REMITIR A:

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos
Avda. Reina Victoria, 8 - 4º B - 28003 MADRID
Telf.: 91 - 553 24 03 - Fax : 91 - 533 03 43

Nombre . . . . . DNI . . . . .
Empresa . . . . . CIF . . . . .
Actividad . . . . .
Calle . . . . .
C.P. . . . . Población . . . . . Provincia . . . . .
Telf. . . . . Fax . . . . .

Formas de Pago:

☐ *Cheque bancario adjunto nº . . . . .*
☐ *Giro Postal nº . . . . .*
(Suscripción anual 2.500,- ptas.)

Conforme:
(Firma y sello de la empresa)

Geodiversidad versus biodiversidad

Alfonso Arribas Herrera
Juan José Durán Valsero

Paisaje, fauna y flora son elementos por todos reconocidos como patrimonio natural; pero flora y fauna nada son sin los condicionantes del paisaje, y éste carece de sentido sin el substrato geológico específico en el que se desarrolla y del que procede. Estamos acostumbrados a oír hablar de la biodiversidad, del catálogo de especies conocidas y de aquellas que aún están por clasificar, incluso de aquellas que llegarán a la extinción en la época contemporánea sin haber sido siquiera conocidas por el ser humano. Idénticas consideraciones deberían ser tenidas en cuenta con respecto a las rocas, los minerales, los fósiles y las bioconstrucciones, las estructuras sedimentarias, los pliegues y fallas, o por qué no, las cordilleras. Es la geodiversidad, las diferentes maneras de expresar el registro geológico, a lo largo de la historia de la Tierra y en el presente. Al igual que los fondos oceánicos, las selvas amazónicas o los hielos antárticos constituyen fronteras para el conocimiento de la biodiversidad, la inmensidad del tiempo geológico y las dificultades de observación del subsuelo son las fronteras de la geodiversidad. Los contenidos del registro geológico, aún siendo en su mayoría conocidos de forma superficial, tienen todavía, y seguirán teniendo, muchos recodos sin investigar, muchas carencias en el catálogo incompleto e inconcluso de objetos, atributos y procesos.

Pero quizás, tan importante como el valor de los contenidos del registro geológico por sí mismos, es el valor de la diversidad geológica como base y sustento de los ecosistemas pasados y actuales, de los tipos de suelos que condicionaron y condicionan los tipos de plantas y las catenas vegetales presentes en el territorio, que a su vez limitan en su variedad y estado a las faunas de invertebrados y de vertebrados. Así, por ejemplo, las rocas y las formaciones o estructuras geológicas de la Península Ibérica son las unidades básicas que actualmente, al margen de la influencia humana vista desde una perspectiva histórica, determinan la presencia o la ausencia de las especies vegetales y animales que habitan en dicho territorio. Los ambientes ecológicos del pasado geológico, océano o mar, lago o río, son los que, aunque en numerosas ocasiones parezca que no, condicionan directamente a los ecosistemas presentes, a su extensión y su biodiversidad. El *todo* paleoambiente/sedimento/litología (con contenido paleobiológico en su caso) más la tectónica y la geomorfología, es la unidad –geología– que ha permitido el desarrollo histórico, desde la perspectiva del tiempo geológico, de los ecosistemas y comunidades presentes actualmente en la Península Ibérica y en las islas de nuestro entorno. Biodiversidad y Geodiversidad no son, quizás, más que caras de la misma moneda. Expresiones de la riqueza natural que no se ha generado en un instante, sino que arranca desde los orígenes de nuestro Planeta.

Volvamos a un plano más local, y veamos un ejemplo de ello en el Norte de la provincia de Guadalajara, más concretamente en el Alto Valle del Jarama y en la comarca de Tamajón. A poco más de una hora de viaje desde una zona extremamente antropizada como Madrid, encontramos en estas comarcas castellano-manchegas parajes especialmente ricos y diversos en fauna y flora salvaje. Esta región montañosa se encuentra caracterizada por tres grandes unidades estructurales geológicas: un Paleozoico metamórfico con una acusada orografía, un Mesozoico esencialmente carbonatado, que aflora en pequeñas franjas con una marcada morfología kárstica, y un Terciario detrítico conformado por mesas y barrancos que delimita las divisorias entre las cuencas de los ríos Jarama y Sorbe. Pues bien, actualmente en estas comarcas existen ricos y frondosos bosques de hayas, robledales y encinares sobre el substrato paleozoico, mientras que las calizas cretácicas



Panorámica a vista de pájaro de la zona de Tamajón.

marcan el límite de la expansión de los enebrales, y el terciario soporta un intrincado monte bajo, especialmente rico en jaras.

La orografía de la región, dependiente de la litología y de la tectónica, ha permitido el desarrollo de unas unidades vegetales que desde el pasado han dado cobijo a una diversa fauna salvaje. En estos parajes naturales todavía poco modificados encontramos señales de la actividad o vemos directamente a animales poco habituales ya en algunos lugares de España. Conejos, liebres, zorros y jabalíes son relativamente abundantes en las tierras españolas, pero bien distinto es encontrar coexistiendo con ellos en libertad, en cañones calcáreos con cursos fluviales de montaña, a corzos y venados, y sobre todo al desmán de los Pirineos, a la nutria, al gato montés, y al más desconocido de los pequeños carnívoros peninsulares, el tejón. Incluso, en los últimos años, el lince ibérico comienza a retomar estas tierras.

Esta es la perspectiva actual de una comarca cuyo registro fósil atestigua la homogeneidad de la heterogeneidad: esto es, la conservación de su diversidad biológica a lo largo del tiempo. Las especiales características de la diversidad geológica de estas comarcas permitió, en el Pleistoceno, el asentamiento de una paleocomunidad de mamíferos, hienas, osos pardos, leopardos, rinocerontes, ciervos, linces, tejones, castores, etc, que sólo vio modificada su estructura y composición, hace aproximadamente 35.000 años, por un evento climático global. Un enfriamiento ambiental extremo hizo de esta región, y del resto de Europa, un lugar poco cómodo para algunas de las anteriores especies animales, desapareciendo a partir de ese momento de las paleocomunidades de la subregión Paleártica. Desde ese momento, y durante el Holoceno, la paleomastocenosis quedó configurada por la fauna salvaje actual, aunque el lobo no ha llegado hasta nuestros días. Esta información de la biodiversidad del pasado ha quedado testimoniada en yacimientos, como la Cueva del Congosto, la cueva de Los Casares, la cueva de Los Torrejones o las cuevas del Alto Valle del Jarama, desarrolladas en sistemas kársticos que, como en la actualidad, dieron refugio a los carnívoros y a los seres humanos en lugares donde poder realizar parte importante de sus actividades vitales, refugio, alimentación o cría. Estas cuevas, por ejemplo, en la actualidad son el lugar de vida de animales como tejones, gatos monteses, murciélagos rateros o salamanquesas. Pues bien, estas cuevas, que son fundamentales para la vida actual de especies salvajes, no son más que cavidades producidas por el agua, y condicionadas por el clima y la tectónica, disolviendo rocas calcáreas generadas durante el Cretácico Superior por organismos bioconstructores como rudistas o corales, cuando el mar, otro ambiente, otro paisaje y otra biodiversidad, ocupaba las tierras del centro peninsular.

La biodiversidad actual se encuentra íntimamente ligada al territorio y a su paisaje. Este último no es más que el resultado, en un instante de tiempo geológico, de la superposición de procesos geológicos y sus resultados sobre una parcela geográfica tan grande o pequeña como se quiera, y cuyos límites no vienen definidos por atributos históricos o políticos. La geología de un país tan rico y variado, tan bio y geodiverso como España es mucho más que una historia por contar, es la base del mundo natural presente, y por ello es esencial el estudio integral de todos aquellos aspectos relacionados con el substrato geológico, cualquiera que sea su origen y ubicación, puesto que la conservación o mejora de la diversidad biológica presente pasa por el conocimiento de la diversidad geológica y la mejora de aquellos aspectos en los que el hombre, con su limitada presencia temporal, puede incidir positivamente en función del conocimiento real de la dinámica de los procesos naturales, biológicos o geológicos.

Una nueva aportación al estudio de la obra de Juan Vilanova y Piera:

El libro «Juan Vilanova y Piera. Conferencias dadas en Santander»

Mercedes Vallejo Ordóñez

Licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid y Diplomada en Hidrogeología en el Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Actualmente, desempeña su labor profesional en el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Además, participa en diversas actividades científicas relacionadas con el Patrimonio Geológico.

Altamira: Un hito excepcional en la Historia de la Ciencia

El descubrimiento de la Cueva de Altamira (1879) suscitó opiniones encontradas dentro de la comunidad científica tanto española como internacional, no reconociendo la mayor parte de sus miembros, la autenticidad de las pinturas en ella encontradas. Con motivo de la importante y duradera controversia científica que el descubrimiento provocó, y dado el reconocido y merecido prestigio del que gozaba por su saber, el doctor Juan Vilanova y Piera (Valencia, 1821-Madrid, 1893) recibió el encargo de realizar un estudio para comprobar la autenticidad o falsedad de las mismas. A raíz de este estudio, que supuso la visita no sólo de la mencionada cueva, sino de gran parte de la provincia de Santander, y a petición un grupo de prehistoriadores santanderinos, el doctor Vilanova dio dos conferencias, con el fin de comunicar públicamente los primeros resultados de sus trabajos. La reproducción de estas conferencias constituye el motivo del libro recientemente publicado por la Universidad de Cantabria, en colaboración con el Ayuntamiento de Santillana del Mar. En este libro, titulado «Juan Vilanova y Piera. Conferencias dadas en Santander», se reproducen íntegramente ambas conferencias, precedidas por un estudio preliminar realizado por el doctor Orestes Cendrero Uceda, de la Universidad de Cantabria, en el que se analiza el contenido de las citadas conferencias, con una amena introducción que recoge, además de una breve pero ilustrativa biografía de este insigne valenciano, una síntesis sobre el conocimiento y las conjeturas de la época acerca de las Ciencias Naturales.

La figura de Juan Vilanova y Piera

Juan Vilanova y Piera nació en Valencia en 1821, ciudad en la que se educó y estudió las carreras de Medicina y Cirugía, y Ciencias (Gonzalo *et al.*, 1993). Posteriormente, ya en Madrid, se doctoró en Ciencias Naturales, y obtuvo la Cátedra de Geología y Paleontología en el Museo de Historia Natural de dicha ciudad, constituyendo estas materias el principal objeto de su labor investigadora, docente y de divulgación, y por las que sobresalió tanto en España como fuera de ella, entre los científicos del siglo pasado que se dedicaron al estudio de la naturaleza. Introductor de la Prehistoria en España como ciencia con personalidad propia, recibió el calificativo de *padre de la Prehistoria en España*. Se encuentra entre los 26 fundadores de la Sociedad Española de Historia Natural (hoy Real Sociedad Española de Historia Natural) creada en 1871, y que, posteriormente, sería el escenario de la controversia científica motivada por el descubrimiento de la Cueva de Altamira, cuya autenticidad tardó 15 años en ser internacionalmente reconocida, a través del celebre artículo de Cartailhac titulado «*Mea culpa* de un escéptico». A petición del ministro de Fomento, Juan Vilanova se desplazó a Santander para investigar las pinturas de la Cueva de Altamira, no dudando en ningún momento de su autenticidad, y mostrándose como un combativo defensor tanto de las mismas como de su descubridor, Sanz de Sautuola.

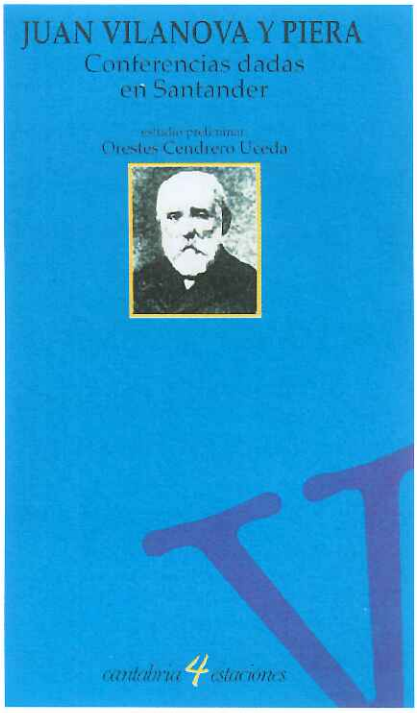


Figura 1: Portada del libro «Juan Vilanova y Piera. Conferencias dadas en Santander».



Figura 2: Reproducción de un bisonte hembra, del techo de la Cueva de Altamira (según H. Breuil y H. Obermaier).

Las conferencias de Santander

En la primera conferencia, Juan Vilanova trata de ilustrar a su auditorio sobre las bases de la Geología, la Paleontología y la Prehistoria, haciendo ver claramente que esta última ciencia, de reciente creación, se basa en el conocimiento de la primera, como demuestran sus propias palabras en esta misma conferencia, y con la ortografía original de la misma: *«Y es que la ciencia nueva, tomando de la Geología de que procede, hasta el procedimiento que sirve de criterio á los que la cultivan, pone á contribucion sus mismos y fundamentales principios, los cuales sirven para precisar lo que absoluta y comparativamente es mas moderno ó mas antiguo, segun el lugar que en la série de los estratos terrestres ocupa aquello que sirve para determinar las edades terrestres»*. El discurso comienza con una introducción sobre el origen y evolución de la Tierra, para después continuar con un repaso general de la historia de la Humanidad, analizando todos los períodos de la Edad de Piedra y la Edad de los Metales, recogiendo aspectos relativos a los instrumentos utilizados (materiales empleados, métodos de fabricación, modelos creados, etc...), construcciones realizadas (monumentos megalíticos), aparición y perfeccionamiento de la cerámica, e incluso, los animales coetáneos del hombre en cada época. Este último aspecto se ve reflejado en el uso de una denominación zoológica para los distintos períodos, por ejemplo el denominado *Período del Reno*. De este modo, la conferencia constituye una auténtica lección sobre las materias mencionadas, y en la que expone el estado de la cuestión de las mismas, dejando ver de forma más o menos evidente sus ideas fundamentales, incluida su preocupación constante por hacer concordar ciencia y religión.

La segunda conferencia se centra en el objetivo principal de su viaje y de sus charlas: demostrar que las pinturas de Altamira eran auténticas. Para ello, comienza su disertación haciendo un amplio repaso de los más importantes yacimientos prehistóricos tanto de la geografía española como del extranjero, relatando sus experiencias en las visitas realizadas a muchos de ellos, así como los conocimientos adquiridos de los mismos, demostrando un dominio absoluto de los fundamentos sobre los que se asienta la Prehistoria. A continuación, y una vez presentadas las particularidades de los citados puntos, expone sus razonamientos sobre la autenticidad de las pinturas de Altamira, resumiendo todas las observaciones realizadas en su visita a la misma: técnica de realización de los dibujos con instrumentos de piedra; existencia de otro acceso a la cueva que permitiera la entrada de luz, lo que explicaría el que no se encontraran indicios de humo; ausencia de cerámica, correspondiendo por tanto a un período anterior al denominado *Período del Cuchillo* o *Mesolítico*, etc... De este modo, ensalza la importancia de la Cueva de Altamira, sobre otras situadas en Francia y en otros países europeos, como se recoge en el siguiente párrafo con la ortografía original de esta conferencia: *«...llamada cueva de Altamira en Santillana, pues siquiera no sea la primera descubierta, goza del privilegio de ser la mas importante, no solo entre las conocidas en la provincia, sinó tambien entre todas las que hasta el presente se han descubierto en España y quizás, quizás en Europa, no conociendo ninguna que bajo el punto de vista de una de sus mas notables particularidades, pueda comparársele»*. Finalmente, y para

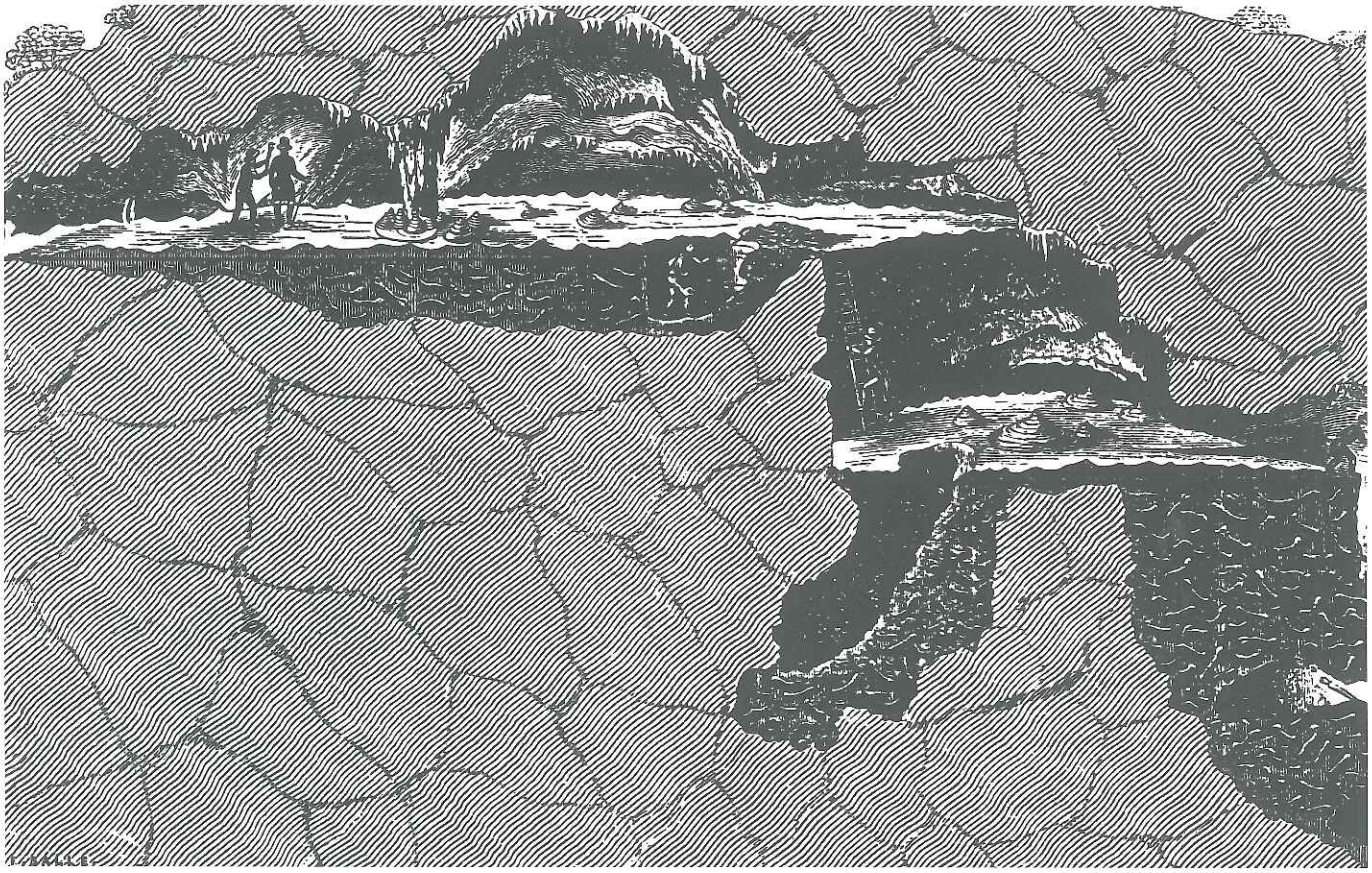


Figura 3: Ilustración de un corte vertical de una caverna, del libro titulado «Tratado de Geología» (Juan Vilanova y Piera, 1878).

terminar su charla, analiza las particularidades geológicas de la provincia de Santander, y describe con detalle las cuevas de Camargo y Cobalejo, también situadas en esta provincia.

Epílogo

Desde el punto de vista científico las conferencias impartidas por Juan Vilanova en Santander, constituyeron uno de los primeros análisis realizados con relación a las pinturas de la cueva de Altamira, comunicando en ellas los resultados iniciales de las investigaciones por él desarrolladas y exponiendo sus argumentos acerca de la autenticidad de dichas pinturas, en base a su gran conocimiento de las ciencias de la Geología, la Paleontología y la Prehistoria. Por otro lado, las conferencias contribuyeron a la divulgación de los conocimientos básicos de dichas ciencias, así como a la difusión del nacimiento y evolución de la Prehistoria, entre un auditorio no instruido en la materia. Además, expone la importancia de estas ciencias y de su situación en ese momento, haciendo especial hincapié en el insuficiente conocimiento de los distintos aspectos de la Prehistoria. Tratan de aleccionar sobre los modos de vida de los pobladores de la península, con el fin de demostrar y enseñar la evolución cultural seguida por el hombre, a través de los restos encontrados en los distintos yacimientos conocidos y, muchos de ellos, por él visitados.

Referencias bibliográficas

Cendero Uceda, O. (1997): *Juan Vilanova y Piera. Conferencias dadas en Santander.* 129 pp. Santander. Servicio de Publicaciones Universidad de Cantabria. Excmo. Ayuntamiento de Santillana del Mar.

Gonzalo, R.; Pelayo, F. y Sequeiros, L. (1993): Juan Vilanova y Piera: Centenario de su muerte (1893-1993). *Revista Española de Paleontología,* 8 (2), 121-124.

Principales títulos de la obra de Juan Vilanova y Piera

Vilanova y Piera, J. (1858): *Memoria geognóstico-agrícola de la provincia de Castellón, premiada por la Real Academia de Ciencias.* 229 pp.

Vilanova y Piera, J. (1860-61): *Manual de Geología Aplicada.* 1096 pp. Madrid.

Vilanova y Piera, J. (1860): *Manual de geología aplicada a la agricultura y a las artes industriales.* 742 pp. Madrid.

Vilanova y Piera, J. (1862): *Ensayo de descripción geognóstica de la provincia de Teruel, en sus relaciones con la agricultura de la misma.* 312 pp. Imprenta Nacional. Madrid.

Vilanova y Piera, J. (1872): *Compendio de Geología.* 586 pp. Imprenta de Alejandro Gomez Fuentenebro. Madrid.

Vilanova y Piera, J. (1872): *Origen, Naturaleza y Antigüedad del Hombre.* 446 pp. Imprenta de la Compañía de Impresores y Libreros del Reino. Madrid.

Vilanova y Piera, J. (1878): *Tratado de Geología.* 374 pp. Barcelona.

Vilanova y Piera, J. (1879): *Geología agrícola.* 554 pp. Imprenta de M. Tello. Madrid.

Vilanova y Piera, J. (1879): *Viaje científico a Dinamarca y Suecia con motivo del Congreso Internacional Prehistórico celebrado en Copenhague en 1869.* 269 pp. Imprenta de A. Gómez Fuentenebro. Madrid.

Vilanova y Piera, J. y de la Rada, J. D. (1879): *Geología y Protohistoria Ibérica.* 554 pp. Imprenta de M. Tello. Madrid.

Vilanova y Piera, J. (1880): *Teoría y práctica de pozos artesanos y arte de alumbrar aguas.* 539 pp. Imprenta de M. Tello. Madrid.

Vilanova y Piera, J. (1884): *Ensayo de diccionario geográfico-geológico.* 216 pp. Imprenta Central. Madrid.

¿ Cómo pagará sus gastos cuando un accidente o una enfermedad le impidan ejercer su trabajo ?

PROTÉJASE CUANDO SE HALLE TEMPORALMENTE INCAPACITADO PARA TRABAJAR

UN SEGURO CREADO PARA PROFESIONALES Y CON CONDICIONES ESPECIALES PARA LOS MIEMBROS DEL ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEOLOGOS

CUADRO DE PRIMAS POR CADA 1.000 PESETAS DE SUBSIDIO DIARIO

Indemnización diaría	Edad	Sin franquicia	Franquicia 7 días	Franquicia 15 días
1.000	18/50	12.952	10.019	7.084
1.000	61/65	18.200	14.188	10.177

Ejemplo: Un geólogo de 35 años que desee contratar una indemnización diaria de 10.000 pesetas con una franquicia de 15 días, pagaría una prima anual de 70.840 pesetas.

MAS VENTAJAS

Sin recargo por pago fraccionado.
Las garantías toman efecto de forma inmediata, tanto para accidente como para enfermedad.
Totalmente compatible y complementario con cualquier otro Seguro privado o la Seguridad Social.
Sin reconocimiento médico previo.
Cobertura mundial veinticuatro horas al día.
Desgravación fiscal del 15% en el I.R.P.F.
Baja/alta extendida por su propio médico.

Compañía aseguradora: La Previsión Mallorquina de Seguros, S.A.

Para más información dirigirse a:

CORREDURIA DE SEGUROS
DESCALZO & ASOCIADOS, S.L.
Noria de la Paz, 15
28223 Pozuelo de Alarcón

Teléfonos: (91) 3512731 - 7157979
Fax: 7157979

Además, les ofrecemos condiciones especiales para los miembros del I.C.O.G. en todos los ramos, (Accidentes, Vida, Responsabilidad Civil, Autos, Hogar)

Correduría de Seguros Descalzo & Asociados, S.L. está inscrita en el Registro Especial de Corredurías de la Dirección General de Seguros con el n.º J-1053. Suscritos Seguros de Responsabilidad Civil y caución en los términos prevenidos en la Ley)/92.

Alejandro Gil Díaz,
Director General del Agua de Castilla-La Mancha

«El 90 por ciento del consumo de agua en Castilla-La Mancha está destinado al regadío»

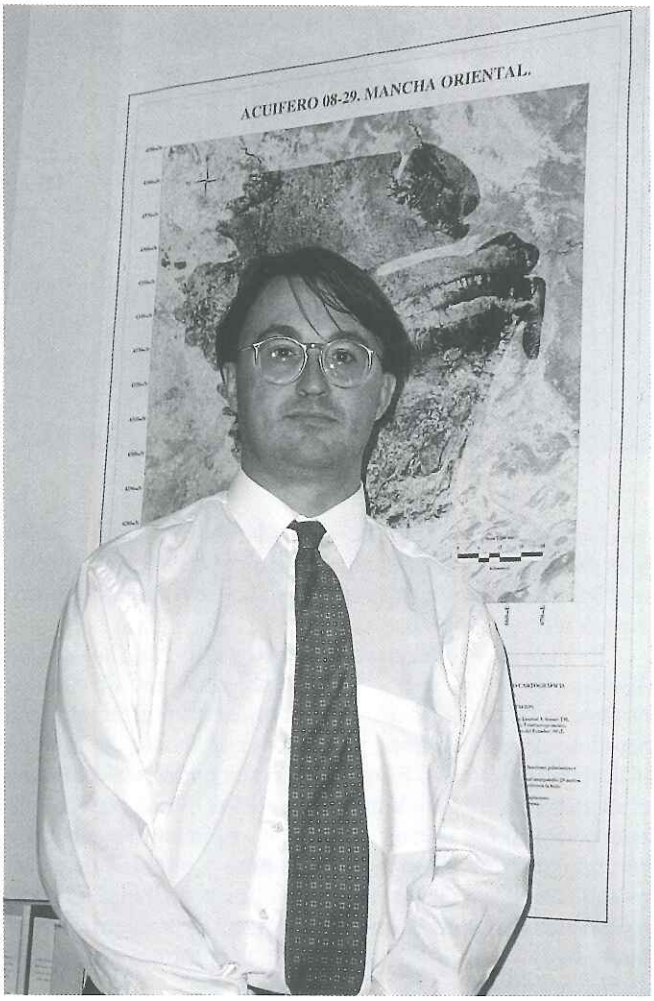
Para realizar una adecuada gestión del agua en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha es fundamental definir una correcta política agraria, dado que el 90 por ciento del consumo de agua en dicha región está destinado al regadío. Dos zonas vinculadas a grandes acuíferos, Tablas de Daimiel y Lagunas de Ruidera, son espacios especialmente protegidos por la enorme importancia que tienen en el patrimonio hidrogeológico de aquella zona de la Península Ibérica. La modernización de los sistemas de riego y de cultivo contribuyen a la sostenibilidad de la escorrentía superficial de ríos y arroyos.

José Luis Ordóñez

La situación de las Tablas de Daimiel es preocupante, ya que recuperar su estado óptimo necesitará más de 20 años de recarga del acuífero. La situación de las Lagunas de Ruidera ha mejorado con la declaración de Parque Natural, aunque todavía necesita disminuir la presión urbanística. Alejandro Gil Díaz, Director General del Agua en la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, ha conversado con "Tierra y Tecnología" sobre estos espacios naturales, y sobre los criterios que defiende respecto a trasvases, sobreexplotación de acuíferos, control de vertidos, ahorro de agua o presencia de geólogos en la administración pública autonómica.

–¿De qué planes dispone la administración autonómica de Castilla-La Mancha para preservar, recuperar y conservar el patrimonio hidrogeológico contenido en acuíferos, manantiales, ríos y arroyos, corrientes subterráneas y humedales?

–En primer lugar habría que especificar que las Comunidades Autónomas tienen competencias relacionadas con el agua a través de la gestión del regadío, del abastecimiento de agua y del saneamiento en las ciudades. También se relacionan con la problemática del agua en las actividades de protección ambiental. La Ley de Aguas otorga la gestión del agua a las Confederaciones Hidrográficas. Como dato significativo, hay que señalar que Castilla-La Mancha es la única Comunidad Autónoma que incluye en el territorio administrado la presencia de siete Confederaciones Hidrográficas.



El aspecto esencial del agua en Castilla-La Mancha está relacionado con el consumo en la agricultura. El 90 por ciento del consumo de agua está destinado al regadío. La protección de la masa de agua, tanto superficial como subterránea, está íntimamente ligada a la agricultura. La política agraria es fundamental para la gestión del agua en esta Comunidad. Los programas fundamentales de protección del agua están ligados a la explotación de los acuíferos 23, cuyo drenaje son las Tablas de Daimiel; 24, cuyo drenaje



son las Lagunas de Ruidera; y 18, Mancha Oriental. Las Tablas de Daimiel y las Lagunas de Ruidera son espacios protegidos de gran importancia para la conservación del patrimonio hidrogeológico.

El Plan de Modernización de Regadíos de Castilla-La Mancha, de 1996, se ha marcado objetivos ambiciosos en el terreno de consolidar los regadíos de la región, garantizar el agua a los cultivos y promover el ahorro de agua en la actividad agrícola. El agua ahorrada podrá ser destinada al abastecimiento de ciudades y pueblos. Se ha previsto un ahorro del 20 por ciento, cantidad de agua similar a la cifra de consumo del conjunto de ciudades y pueblos de la región. La modernización de los regadíos contribuirá a la sostenibilidad de los acuíferos, a la protección ambiental de los humedales y a la continuidad de la escorrentía superficial en ríos y arroyos.

Estas actividades se realizan en una intensa coordinación con las siete Confederaciones Hidrográficas que gestionan las cuencas parcialmente contenidas en Castilla-La Mancha. Hay que resaltar la escasa disponibilidad de personas con suficiente formación hidrogeológica en el seno de las Confederaciones Hidrográficas.

–¿Qué situación tiene el agua en los espacios naturales protegidos de las Tablas de Daimiel y de las Lagunas de Ruidera?

–Primero quisiera resaltar que, además de Director General del Agua de Castilla-La Mancha, se da la circunstancia de que soy Presidente del Patronato de las Tablas de Daimiel. El año 1995, cuando asumí este cargo, la situación de las Tablas era extraordinariamente penosa. La recuperación ambiental del humedal de las Tablas está íntimamente relacionada con el uso agrícola de los acuíferos 23 y 24.

El acuífero 24, drenado por las Lagunas de Ruidera, tiene poca capacidad de almacenamiento de agua y responde a las lluvias y a las sequías con gran rapidez. Las Lagunas han recuperado en los últimos meses los niveles de agua de la década de 1940. A esta recuperación han contribuido tanto las precipitaciones del agua de lluvia como el ahorro de agua en regadíos por aplicación del Plan de Compensación de Rentas Agrarias establecido en los dos acuíferos esenciales de Castilla-La Mancha, Tablas de Daimiel y Lagunas de Ruidera.

En el acuífero 24, debido al Plan de Compensación, se ha pasado a extraer, en la actualidad, 6 hectómetros cúbicos anuales de agua subterránea procedente del propio acuífero 24, cuando a finales de la década de los ochenta se extrajeron 35 hectómetros cúbicos cada año.

La situación ambiental de las Lagunas de Ruidera, además de la problemática derivada de la extracción de agua para usos agrícolas, presenta una alta presión urbanística. Aunque la figura protectora de Parque Natural ha contribuido a mejorar la conservación de la Naturaleza en aquel lugar, las sentencias judiciales declarando Las Lagunas de Ruidera como propiedad particular dificultan la protección ambiental de aquel entorno. Esperamos que el conflicto de propiedad se resuelva a favor del carácter público de aquel paraje, porque así se podrá alcanzar mejor la protección debida de ese humedal de alto interés en el patrimonio hidrogeológico de Europa.

La situación de las Tablas de Daimiel es más compleja. El acuífero 23 tiene una gran capacidad de acumulación de agua pero ha estado sujeto a una explotación muy intensa. Recuperar su estado natural necesitará más de 20 años, en el caso más favorable, con medidas muy restrictivas en cuanto al uso del agua que contiene. Con una recarga media de 300 hectómetros cúbicos anuales ha tenido una explotación, en la década de los ochenta, de 600 hectómetros cúbicos por año.

Para recuperar este acuífero se ha propuesto el Plan de Reducción de Extracciones, que pretende alcanzar una extracción máxima de 200 hectómetros cúbicos anuales. En la zona de descarga de dicho acuífero el nivel promedio del agua, ahora, en el subsuelo oscila entre los 30 y 40 metros de profundidad. Durante los años 1996 y 1997 ha subido la cota piezométrica en unos 5 metros. Nuestros intentos de equilibrar la extracciones con la recarga se ven obstaculizados por los sondeos ilegales y las extracciones incontroladas que se realizan desde éstos últimos. En la administración autonómica somos menos optimistas en el caso de las Tablas de Daimiel que en el caso de las Lagunas de Ruidera. Las Tablas, en la actualidad, están suspendidas o colgadas sobre el nivel piezométrico del acuífero que las debería sostener.

La aportación, a las Tablas, del trasvase Tajo-Segura de unos 15 hectómetros cúbicos anuales, de los 20 que están autorizados como promedio, funcionó hasta que llegó la sequía y el río Cigüela, tributario de dicho Parque Nacional, comenzó a sufrir pérdidas muy importantes por el camino. El trasvase quedó suspendido un año entero y las Tablas ba-

jaron a su peor estado. En el año 1996, en el que mejoró considerablemente dicho río, se trasvasaron 30 hectómetros cúbicos, es decir el máximo trasvase realizado hasta la actualidad. En estos momentos no está siendo necesario trasvasar agua, y las Tablas incluso se han desbordado. La climatología y el control de las extracciones del acuífero están ayudando a la recuperación.

–¿Cómo influye en la gestión del agua la existencia de siete cuencas hidrográficas en el territorio de Castilla-La Mancha?

–La división del territorio castellano-manchego en tantas cuencas hidrográficas ha obligado a la creación de esta Dirección General del Agua y la Calidad Ambiental, dada la necesidad imperiosa de coordinar la actividad de la administración autonómica con la de siete Confederaciones Hidrográficas. Esta coordinación se realiza dentro del marco de los planes hidrológicos de cuenca y dentro del futuro Plan Hidrológico Estatal.

La gestión aborda de forma destacada, además del regadío, la calidad y cantidad el agua para el abastecimiento de las poblaciones. Hemos establecido un Plan Regional de Abastecimiento y preparamos la Ley Regional para la Regulación del Abastecimiento. Junto a estas acciones hemos puesto en marcha el Plan Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales, acorde con la Directiva 91/271 de la Unión Europea. Este plan permitirá depurar las aguas de poblaciones situadas en zonas sensibles, como el entorno de las Tablas de Daimiel, es decir Daimiel, Villarrubia de los Ojos, Herencia, Malagón, Madridejos o Consuegra. Estas depuraciones se unirán a las mejoras de las que se realizan en las cinco capitales provinciales de la región y en otras poblaciones de gran número de habitantes.

En el ámbito del regadío, en el primer año de aplicar el Plan de Modernización ya se han invertido 5.500 millones de pesetas en racionalizar el uso del agua y ayudar a las Comunidades de Regantes a mejorar la gestión de la demanda del agua dentro de cada ámbito, incluso contratando técnicos especializados. En los acuíferos 23, Tablas de Daimiel, y 18, Mancha Oriental, han sido contratados dos hidrogeólogos para la supervisión de las explotaciones y el control de los acuíferos. El regadío tiene gran importancia en la economía castellano-manchega donde casi el 30 por ciento de la población activa depende de la agricultura. En la década de 1980 se incrementó mucho la superficie de regadío y en la actualidad es de unas 435.000 hectáreas.

En la protección de la calidad ambiental, además de la gestión de los Parques Naturales, hemos puesto en marcha los planes de ordenación de los recursos naturales, PORN, correspondientes a 28 humedales de la Comunidad Autónoma.

Por otro lado, al amparo de la Directiva 91/676 de la UE sobre la protección de los acuíferos ante la posible contaminación de las aguas por nitratos, hemos designado las zonas más vulnerables y elaborado un código de buenas prácticas en la agricultura que permiten reducir el uso de fertilizantes contaminantes.

–¿Cuál es la posición de Castilla-La Mancha respecto a los trasvases?

–Nuestra Comunidad Autónoma, legitimada por la experiencia de 17 años de funcionamiento del trasvase Tajo-Segura, ha realizado algunas consideraciones sobre este tipo de alternativas. En primer lugar, la rentabilidad



económica de estas soluciones está en entredicho, ya que las expectativas económicas levantadas por el trasvase no se han cumplido. En segundo lugar, no se ha realizado una explotación racional de este sistema. Hasta la reciente puesta en marcha del Plan Hidrológico del Tajo no habían sido fijados los excedentes hídricos de aquella cuenca.

En 1995, sin apenas volumen de agua en la cuenca del Tajo, el trasvase realizado produjo una reducción excesiva de los embalses de la cabecera del río. Con aquel trasvase no quedó suficiente reserva de agua en el Tajo, por lo que se pusieron en grave riesgo tanto las demandas interiores a la cuenca del Tajo, como los abastecimientos de la cuenca del Segura. Al mismo tiempo no se alcanzó un abastecimiento adecuado de las necesidades existentes en la cuenca del río Segura.

Los trasvases deben realizarse sobre excedentes evidentemente claros. Los trasvases no deben hipotecar las necesidades en la cuenca de origen. Los trasvases han de estar amparados por estudios técnicos y económicos muy fiables.

Los regantes de la cuenca del Segura pensaron que el trasvase les llevaría siempre agua abundante y se establecieron áreas de regadío superiores a lo estrictamente prudente. Esta situación descontrolada ha generado conflictos y salinización de suelos en la cuenca del Segura. Ahora es posible afirmar que el trasvase Tajo-Segura ha perjudicado a la cuenca del Tajo y a la cuenca del Segura ante el fracaso de las previsiones.

–¿Cuáles son los aspectos esenciales del acuerdo alcanzado con la Comunidad Valenciana?

–El acuerdo alcanzado por el Ministerio de Medio Ambiente y las autonomías de la Comunidad Valenciana y Castilla-La Mancha, ha dado la vuelta a los criterios preexistentes sobre el posible trasvase del Júcar al Vinalopó, Turia y Palancia, que seguían las pautas marcadas por el trasvase Tajo-Segura. El acuerdo alcanzado atiende una gestión adecuada del abastecimiento urbano y del regadío en Castilla-La Mancha, en la actualidad y en el futuro, y satisface al mismo tiempo, y sin generar perjuicios, el aprovechamiento de las aguas excedentes del Júcar en la Comunidad Valenciana. El acuerdo ha logrado subordinar los usos hidroeléctricos a los de abastecimiento y regadío. Una vez fijado el caudal ecológico del Júcar, el caudal excedente, restante de la atención a los usos prioritarios, podrá ser trasvasado y turbinado para la generación de electricidad.

–¿Cómo se podrá evitar la sobreexplotación de acuíferos?

–La sobreexplotación de acuíferos no es posible evitarla a través de normas o sanciones administrativas. Está demostrado que no es esa la mejor vía. Es imprescindible utilizar el sistema de contraprestaciones al campesino, al agricultor, que reduzca las extracciones de agua del acuífero correspondiente. En cierto modo la sobreexplotación ha sido favorecida por las normas. La antigua legislación que declaraba el agua como recurso minero contribuyó a la sobreexplotación. La filosofía, medios y métodos, de la nueva Ley de Aguas tampoco sirve para resolver el problema de los acuíferos sobreexplotados.

Es necesario considerar que el regadío, en la agricultura, es un elemento de gran importancia tanto por el número de puestos de trabajo que mantiene como por los resultados económicos que proporciona. Las medidas a tomar para eliminar la sobreexplotación de acuíferos deben ser muy imaginativas, evitando las restricciones como método único, ayudando al agricultor a reducir consumos de agua, incentivando nuevas formas de riego e introduciendo nuevos cultivos, y gestionando el agua con el objetivo de alcanzar la sostenibilidad de los recursos hídricos.

–¿Qué actuaciones realizáis para controlar los vertidos de residuos y para evitar las contaminaciones por nitratos y por efluentes industriales?

–En Castilla-La Mancha el problema fundamental de contaminación de las aguas procede de la agricultura y de las industrias conexas agroalimentarias. La agricultura genera contaminación con nitratos en las áreas de regadío y polución a través de las granjas de porcino, especialmente en la zona de la Sagra, en la provincia de Toledo. Para reducir la contaminación de los acuíferos 23 y 24 hemos promovido la reducción de fertilizantes en las tierras de regadío. En el ámbito de las vinazas, procedentes de las alcoholeras, y de los purines, procedentes de las granjas de cerdos, queda todavía mucho por hacer, tanto en la Administración Autonómica como en las Confederaciones Hidrográficas. No están bien definidas las tecnologías a emplear. La depuración correcta resulta muy cara y es, por tanto, muy difícil de aplicar. Es necesario estudiar sistemas que proporcionen una depuración suficientemente correcta y asumible desde el punto de vista económico. Es preciso poner en marcha un plan de instalación de depuradoras. A este efecto no hemos encontrado aún una vía de financiación procedente de la Unión Europea que pueda reforzar nuestra, en cierto modo, reducida capacidad financiera.

–¿Cómo estáis abordando el abastecimiento de agua en las áreas densamente pobladas?

–El Corredor del Henares, en la zona situada entre los límites de la Comunidad de Madrid y la ciudad de Guadalajara, está abastecido a través del sistema instalado por la Mancomunidad de Sorbe, donde se incluye la población de Alcalá de Henares. En esta zona, a veces, se han producido ciertos roces con la Comunidad de Madrid en relación al impacto ambiental de algunas presas proyectadas en los ríos Sorbe y Jarama. Nosotros deseamos resolver la situación medioambiental lo antes posible y alcanzar una solución satisfactoria para las dos Comunidades.

En la Sagra, en la zona del corredor entre las ciudades de Toledo y Madrid, la mayor parte de los abastecimientos se están realizando con aguas subterráneas, con problemas de cantidad y calidad. La ciudad de Toledo se abastece con pequeños embalses, y durante la sequía, en los años 1994 y 1995, se tuvo que derivar agua del río Tajo, en puntos situados antes del paso por la ciudad de Aranjuez. Agua que no reunía, tampoco, una calidad adecuada. Para Toledo y la Sagra, con unos 200.000 habitantes en total, es necesario traer agua del embalse de Picadas, establecido en el río Alberche, dentro del territorio de la Comunidad de Madrid.

Para Ciudad Real, Puertollano y la llanura manchega será conveniente enviar agua, por conducción subterránea, desde el trasvase Tajo-Segura. Y para Albacete y su área de influencia, donde cerca de 200.000 habitantes se abastecen exclusivamente con agua subterránea, es imprescindible aportar agua superficial del Júcar.

–¿Qué proponéis para ahorrar agua y realizar una adecuada gestión de la demanda?

–En Castilla-La Mancha consumimos 170 hectómetros cúbicos de agua anuales en abastecimiento de la población y 2.100 hectómetros cúbicos en regadío. Ahorrar un 10 por ciento en el agua destinada al regadío supone liberar un volumen de agua superior al consumo realizado en el abastecimiento de toda la población. Plantearse un ahorro del 10 por ciento en el agua consumida en los regadíos se puede abordar con ciertas posibilidades de éxito. Para ello se deben adoptar cultivos de regadío más adecuados al clima existente, reducir los cultivos de maíz, remolacha y alfalfa, y primar, por ejemplo, los de viñedo y olivar. El olivo parece tener un gran futuro basándose en el riego controlado. El viñedo puede mejorar variedades y obtener vinos de mayor calidad. Este cambio de cultivos presenta mayores rentabilidades que lo realizado hasta ahora.

–¿Cuántos geólogos prestan servicio en la Administración Autonómica de Castilla-La Mancha, y en qué áreas de trabajo?

–Hay dos geólogos en la Administración de Castilla-La Mancha, entre los que me encuentro yo mismo. En las Confederaciones Hidrográficas con responsabilidad en el territorio de Castilla-La Mancha no hay apenas hidrogeólogos. Pienso que sería importante para las administraciones autonómicas contar con personas dotadas de conocimientos geológicos, del nivel correspondiente a los geólogos, en terrenos como la gestión del medio ambiente, del agua, de los recursos mineros o de los residuos sólidos urbanos. Parece evidente que nuestra sociedad no aprovecha todavía de forma suficiente el conocimiento científico y la capacidad tecnológica acumulada en los geólogos.

Entrevista al Director Gerente de Mantenimiento de Infraestructura de RENFE, Manuel Benegas Capote



Cuáles son las funciones de la Unidad de Negocio de Mantenimiento de Infraestructura en el Organigrama de RENFE?

MBC: La Unidad de Negocio (U.N.) de Mantenimiento de infraestructura, tiene como misión la explotación y el mantenimiento de la infraestructura ferroviaria que opera RENFE, y que básicamente es de unos 14.700 Kms de vía de ancho nacional y de 950 Kms de ancho internacional.

La UNE opera y mantiene las instalaciones de los sistemas que están al servicio del ferrocarril, tales como las instalaciones eléctricas (catenaria y subestaciones), instalaciones de señalización y Telemando e instalaciones de Telecomunicación.

Asimismo, tiene por delegación, la tramitación de todos los expedientes para la autorización o no de servidumbre de paso, cruce, etc. sobre las instalaciones ferroviarias y su zona de dominio público.

T&T: ¿Cómo se integran los Estudios Geológicos en su Dirección? ¿Son suficientes los Recursos Humanos de la misma?

MBC: Los Estudios Geológico-Geotécnicos se desarrollan por la Jefatura de Geotécnica, dependiente de la Jefatura de Infraestructura. Aunque fundamentalmente estas funciones estudian la problemática de la infraestructura ferroviaria, en la práctica se abordan, con carácter puntual, temas relacionados con otras Jefaturas, fundamentalmente con la Jefatura de Vía, siendo importante reseñar la colaboración con las Gerencias de Eje para aportar el soporte documental y técnico que permita una mejor toma de decisiones. Así principalmente se realizan la supervisión de la homologación geotécnica de canteras suministradoras de balasto, los ensayos y análisis para el control de calidad de balasto, los estudios de Riesgos Geológicos de la Infraestructura (ERGIS), los Estudios de Riesgos de Avenida (ERA), los estudios geológicos-geotécnicos para proyectos de mantenimiento de túneles, puentes, trincheras, terraplenes..., la normativa geotécnica de infraestructura y vía, así como los proyectos I + D referentes al comportamiento del balasto en vía para la más adecuada toma de decisiones del mantenimiento de vía.

En lo referente a los recursos humanos de la Jefatura de Geotécnica, se va a proceder al establecimiento de las cargas de trabajo de todas las Direcciones en función del Plan de Actividades previstas en el nuevo Contrato-Programa. Puede preveerse un salto cualitativo en la inversión ferroviaria (lo cual conlleva un aumento proporcional de la geología y la geotecnia) que puede llegar a repercutir en el incremento de los efectivos de la misma.

No obstante, de acuerdo con la política de personal de RENFE, los potenciales incrementos de cargas de trabajo no repercutirán sustancialmente en un incremento de personal, sino que incrementarán la contratación sustancialmente por medio de consultoras externas.

T&T: ¿Dentro del programa de modernización de RENFE, tiene especial importancia el incremento de velocidad máxima de las circulaciones? ¿Qué parámetros se han tenido en cuenta para la realización de estos objetivos?

MBC: El aumento de las velocidades máximas de circulación en explotación comercial constituye un problema sobre el que confluyen distintas variables:

– Capacidad del material rodante.



– Posibilidades geométricas del trazado.

– Aptitud de las infraestructuras para soportar los esfuerzos derivados de las mayores velocidades.

– Aptitud de la electrificación y de las instalaciones de seguridad, etc...

Conviene en estos aspectos establecer tres estadios diferenciados:

– El intervalo de velocidades hasta 160 Km/h.

– El ámbito de velocidades 160 a 220 Km/h (velocidad alta).

– Velocidades superiores a los 220 Km/h (alta velocidad).

Hasta 160 Km/h las técnicas que se han venido utilizando desde hace años en RENFE, son perfectamente válidas y la explotación comercial de trenes a esta velocidades no presentan problemas y en este momento se están desarrollando en España.

En el segundo escalón de velocidad alta, se han potenciado y se están desarrollando las tecnologías actuales fundamentalmente los aparatos de vía y las instalaciones eléctricas, estando nuestra catenaria cerca de sus límites de diseño en el entorno de 210 Km/h.

En este sentido se han desarrollado proyectos que han supuesto una ruptura en el hacer tradicional de RENFE: implantación de desvíos que permitan circular a 200 Km/h por vía general, desarrollo de catenaria y señalización apta para velocidades hasta 210 Km/h, implantación del sistema Tren-Tierra que permite la comunicación permanente entre los puestos de mando que regulan la circulación y las cabinas de conducción de los trenes, implantación de métodos de conservación de la vía y las instalaciones según estado, que garantizan un alto grado de seguridad y fiabilidad mediante la automatización en la captación de las informaciones sobre el estado real de las instalaciones, un fuerte apoyo informático en la gestión de estas informaciones y una racionalización en el empleo de los medios disponibles.

En el intervalo de velocidades superiores a 220 Km/h el sistema AVE, ha logrado una excelente transformación tecnológica propia del siglo XXI, en la que me gustaría reseñar el cambio de corriente continua a alterna para la electrificación con un nuevo diseño de catenaria, y el establecimiento de señalización en la cabina de conducción, lo que junto con la construcción de una vía de alta fiabilidad ha permitido a RENFE estar entre los países punteros en desarrollo ferroviario.

T&T: Los planes de inversión, renovación y duplicación de vías requieren un alto volumen de inversión en balasto. ¿Cómo se lleva a cabo en RENFE la planificación de la distribución territorial de canteras y su control de calidad? ¿Existe alguna normativa al respecto?

MBC: En lo referente al mantenimiento de infraestructura esta dirección tiene homologadas y con suministros veintidós canteras, distribuidas por toda la red ferroviaria española. De acuerdo con los procesos de agotamiento de roca canterable, de los parámetros de calidad y de las solicitudes de nuevas homologaciones, la Dirección Técnica en coordinación con la Dirección de Contratación lleva a cabo una permanente puesta al día de la planificación territorial de las canteras suministradoras de balasto.

En cuanto al control de calidad, la Dirección Técnica, ha desarrollado desde 1991 el sistema PIT (Penalización por incumplimiento tolerado), por medio del cual se descuenta un porcentaje a cada certificación mensual de cada cantera, de acuerdo con los ensayos de control de calidad realizados, mediante una fórmula polinómica que transforma los resultados de los ensayos en un porcentaje de descuento en certificación.

Aunque el objetivo es que la penalización de todas las canteras sea cero, lo cual indica que el balasto se entrega cumpliendo perfectamente el Pliego de Condiciones de Balasto, y de hecho un porcentaje de canteras alcanzan este objetivo, todos los meses cada cantera

puede recibir una penalización por incumplimiento, penalización que se ha reducido sustancialmente desde la implantación del sistema, llegando actualmente a estar en un valor del 40 %, de lo obtenido 6 años atrás.

En septiembre de 1996, RENFE puso en vigor un nuevo Pliego de Condiciones Técnicas para Suministros de Balasto (P.R.V. 3-4-0. 0. 4ª edición), que prohíbe la utilización de balasto calizo, y supone un salto cualitativo en la mejora de calidad del balasto de RENFE, sobre todo en lo referente a los Sistemas de Control de Calidad. No obstante, para finales de 1999, habrá que adaptar este Pliego a la Normativa Europea de Balasto, aprobada por el Comité Europeo de Normalización, lo que en síntesis tendrá más exigencias en el desgaste de Los Ángeles y en la limpieza de balasto, flexibilizando la exigencia en el Índice de Lajas.

T&T: Los avances de la técnica han llevado a la opinión pública a considerar los riesgos naturales, no como fenómenos aleatorios e inabordables técnicamente, sino como previsibles y evitables en su mayoría. ¿Qué actuaciones lleva a cabo RENFE para prevenir, limitar o eliminar estos riesgos naturales (desprendimientos, hundimientos y avenidas)?

MBC: Los Riesgos Naturales tienen incidencia sobre la explotación ferroviaria en cuanto a obra lineal. Este hecho se debe en gran parte a que la construcción de las líneas ferroviarias se realizó en la segunda parte del siglo XIX lo que determinó unos trazados muy ceñidos a la orografía y por tanto más susceptibles a este tipo de riesgos, y unos parámetros de los diferentes elementos que conforman la infraestructura ferroviaria (túneles, puentes, terraplenes, trincheras,...) acordes con las antiguas necesidades de velocidad y confort y que hoy resultan deficientes y con elevados gastos de mantenimiento provocados por la aparición de fenómenos naturales en un plazo de tiempo tan amplio.

Estudiados estos hechos y con la obligación de resolverlos en un plazo de tiempo razonable, con arreglo a las disponibilidades presupuestarias existentes, RENFE ha iniciado en 1983 una serie de estudios geológicos de la infraestructura ferroviaria (ERGIS), en aquellas líneas más susceptibles de sufrir este tipo de problemas.

Catorce años después el 80 % de las líneas A-1, A-2 están inventariadas, llevándose una política de actualización con medios propios, por parte de la Jefatura de infraestructura que permitirá tener revisados todos los ERGIS cada cinco años. Con los ERGIS se persigue establecer un inventario de infraestructura, clasificando los distintos elementos en orden a nivel de riesgo intrínseco que presentan y al nivel de gravedad, que es un parámetro que cualifica el nivel de daños que representaría para el ferrocarril el desencadenamiento de dicho riesgo. De esta manera se establecen órdenes de prioridad de actuación, basados en criterios de seguridad y de disponibilidad económica, totalmente objetivos. En definitiva, se trata de conseguir un carácter preventivo en la planificación de inversiones y no una actuación provocada por el propio desencadenamiento de riesgo.

T&T: ¿Qué Normativa Técnica existe en RENFE para la ejecución de una obra ferroviaria y para la geología en particular?

MBC: Hasta la fecha, la U.N. de Mantenimiento de Infraestructura lleva a cabo la realización y actualización de una importante y prolija normativa técnica, realizando un desarrollo de toda la técnica ferroviaria actual. Es importante reseñar que además de su propia función de obligatoriedad, las normas y pliegos de condiciones RENFE posibilitan una función formativa, pues no sólo marcarán parámetros técnicos obligatorios a cumplir, sino que son en general con sus sucesivas ediciones de puesta al día unos excelentes manuales técnicos de autoformación y reciclaje.

En lo referente a Normas Vías relacionadas con la geología y la geotecnia, existen múltiples normas como Obras de Tierra, Estabilidad de Taludes, Proyectos. Consolidación de la Estructura. No obstante existen tres normas íntegramente geológicas, como son: Los Estudios Previos Geológicos, Anteproyectos. Anejo Geológico y Proyectos. Anejo Geológico.

Estas tres normas geológicas establecen una normativa flexible de los estudios necesarios, para una adecuada aportación geológica de una instalación ferroviaria nueva o de un saneamiento y consolidación de la infraestructura ferroviaria.

En estos últimos años impulsados por la Jefatura de Vía se está realizando una normativa geotécnica, específica para los proyectos de la obra nueva y de mantenimiento de puentes, túneles, terraplenes, taludes,... que una vez pasen a fase de encuesta entrarán en vigor en los próximos años.

T&T: ¿Cómo se abordan las investigaciones de terraplenes, trincheras, puentes y túneles, desde el punto de vista geológico?

MBC: RENFE, viene desarrollando desde hace años, y de manera sistemática, un programa de auscultación de puentes que conlleva diversos grados o niveles de inspección. Cuando en una de dichas inspecciones se detecta la posibilidad de que los daños estructurales observados se deban a problemas de la cimentación del puente, se inician los consiguientes estudios geológico-geotécnicos, que constan de una campaña de reconocimientos muy variada, una fase de ensayos in situ, una fase de ensayos de laboratorio, y un informe de conclusiones geotécnicas finales.

En dicho informe final no sólo se aporta la configuración geológico-geotécnica del lugar sobre el que cimenta el puente y la determinación de las causas que generan los daños de la estructura, sino que, se exige además, un estudio de soluciones geotécnicas alternativas donde se expongan los pros y los contras de cada medida.

La responsabilidad posterior del Jefe de Puentes es elegir una solución geotécnica determinada, que será objeto de dimensionamiento y valoración en el correspondiente proyecto constructivo. El método de actuación en trincheras y terraplenes es similar al expuesto en puentes.

En función de los estudios de riesgos geológicos de la infraestructura, se realiza conjuntamente con la Jefatura de Explanaciones, una planificación anual de las trincheras y terraplenes, que por sus características intrínsecas sea necesario la realización de una investigación geotécnica. En función de la problemática concreta se realizan levantamientos geológicos locales, sondeos mecánicos, prospección geofísica, catas, ensayos penetrométricos y ensayos de laboratorio, que permiten la realización de un informe geotécnico y constituirá el anejo geotécnico del proyecto constructivo de consolidación y mejora de la infraestructura.

Los riesgos geológicos en la infraestructura del ferrocarril

Fausto Leal Pérez

Ingeniero en Renfe en 1974 en el Departamento de Infraestructura (Túneles). Posteriormente, en 1979, fue delegado de Instalaciones Fijas en Madrid-Príncipe Pío y en 1989, Ingeniero Jefe Coordinador del Proyecto y Construcción de la Línea de Alta Velocidad en el tramo Córdoba-Sevilla. En la actualidad es Jefe de Infraestructura de la Dirección Técnica de la U.N. de Mantenimiento de Infraestructura de Renfe.

Luis E. Suárez Ordóñez

Licenciado en Ciencias Geológicas (Universidad de Oviedo), Licenciado en Derecho (UNED), Diplomado en Ingeniería Geológica y Master en Ingeniería Geológica (Universidad Complutense de Madrid). Jefe de Geotecnia de la Dirección Técnica de Infraestructura de R.E.N.F.E., donde ha dirigido los Programas de Estudios de Riesgos Geológicos de la Infraestructura (ERGI), de Avenidas (ERA) y de Riesgos Sísmicos.

Las sociedades avanzadas tienen, entre otras características, la preocupación por el medio ambiente y la seguridad de sus ciudadanos. Las empresas ferroviarias no son ajenas a esta demanda social y vienen realizando de modo sistemático estudios de riesgos geológicos que eviten o minimicen los daños a la infraestructura ferroviaria, reduciendo así el riesgo para su pasaje. RENFE, en España, y los ferrocarriles japoneses en su región geográfica, son pioneras en el empleo de técnicas y metodologías para el estudio de los riesgos geológicos y su mitigación.

An advanced Society has among other characteristics the preoccupation for the environment and for the safety of their citizens. Railway companies are aware of this social demand and have been carrying out systematic studies of geological hazards to avoid or minimise demage to the railway infraestructur, thus reducing the risk for their passengers. RENFE in Spain and the Japanese railway company in their respective regions are pioneers in the employment of techniques and methodologies to study and mitigate geological hazards.

La seguridad

Los ferrocarriles con marcado carácter de servicio público, como los europeos y el japonés, han concedido primacía absoluta a la seguridad sobre cualquier otro objetivo de la empresa. Para estas empresas públicas es fundamental que los viajeros lleguen sanos y salvos a sus destinos, y que las mercancías sean entregadas al consignatario completas y sin daños, tal como se las entregó el remitente.

La seguridad en la circulación es el valor fundamental de la misión de las empresas ferroviarias de carácter público; lo sitúan, incluso, por delante de la rentabilidad mercantil. Así, la fama de superseguros de que gozan los ferrocarriles de Europa y Japón, más que una frase es una realidad.

Uno de los factores que producen accidentes, además de los ocasionados por fallos humanos, del material y de las instalaciones, son los fenómenos geológicos que afectan a la infraestructura del ferrocarril.

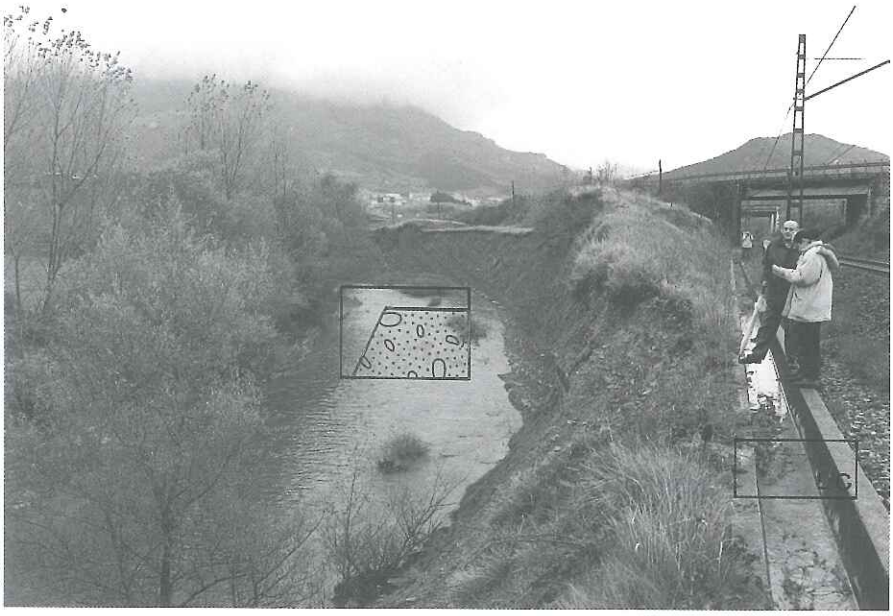
El nivel cultural y de vida de los españoles, actualmente, les hace exigir a RENFE soluciones imaginativas para evitar los desastres ocasionados por los fenómenos de la naturaleza, considerados, hasta tiempos recientes, como imprevisibles e inevitables, y al Estado a que proporcione los recursos necesarios para que sean aplicadas las medidas preventivas, con el objetivo de minimizar o eliminar los riesgos geológicos, que ahora son más previsibles y evitables, aunque las magnitudes de los recursos resulten cuantiosas.

Las administraciones ferroviarias más avanzadas han comenzado, ya hace tiempo, a estudiar estos fenómenos geológicos, llegando a elaborar metodologías específicas que les permiten planificar objetivamente el dónde, el cuándo, y el hasta cuánto se debe gastar e invertir para solventar el problema de riesgos geológicos desde el punto de vista preventivo y también curativo.

Los riesgos geológicos en los ferrocarriles japoneses

Los japoneses han sido los pioneros en la incorporación de técnicas y metodologías para minimizar los riesgos geológicos que más frecuentemente afectan a las líneas férreas: las caídas de piedras.

En el año 1954, los japoneses montaron alarmas eléctricas que actuaban sobre las señales, cerrándolas en cuanto detectaban la caída de una piedra. Así evitaban los arrollamientos de obstáculos y los descarrilamientos de las circulaciones.



Lado derecho P.K. 204 + 660 de la línea Castejón de Ebro-Pamplona-Alsasua. Vista en dirección a Castejón de Ebro de la erosión producida por el meandro del río Araquil. Se pueden dar inestabilidades en el escarpe. Se recomienda un muro de escollera en la base del mismo, así como la limpieza de la cuneta.

Este sistema, aunque disminuye notablemente la probabilidad de que ocurra un accidente, no elimina totalmente el riesgo de la caída directa de un bloque al paso de una circulación.

La Japan National Railway consciente de estas deficiencias emprendió en 1974 el estudio de una metodología que atenuó estos problemas.

En la primera metodología se juzgaba la estabilidad. Atribuyendo puntuaciones parciales a diversos aspectos del talud estudiado se llegaba a la puntuación total y se comparaba con un estándar o valor general de estado del talud. Esta metodología tenía el problema del peso o ponderación de cada categoría en su contribución a la puntuación global.

Por ello, la metodología sufrió algunas modificaciones en 1976. Ahora juzgan la estabilidad de cada talud en particular, sin referirse a ningún estándar en general, y conceden un alto peso al historial propio del talud.

Riesgos geológicos en las líneas de RENFE

La accidentada orografía peninsular, junto con las fuertes oscilaciones climatológicas y la antigüedad de la mayor parte de las líneas de Renfe (el 85% fueron construidas en el siglo pasado), determinan el estado actual de las mismas, que están sujetas a elevados niveles de riesgo geológico en su infraestructura.

La Red, consciente de este problema, en 1.982 encarga el primer «Estudio de riesgos geológicos de la infraestructura ferroviaria de la línea de Barcelona a Puigcerdá». Los resultados fueron muy positivos y, en el año 1985, con medios propios, realiza otro estudio del tramo Astorga-Ponferrada, en la línea que une Palencia a A Coruña.

El riesgo geológico es parametrizado a través de dos conceptos:

- Nivel de riesgo.
- Nivel de gravedad.

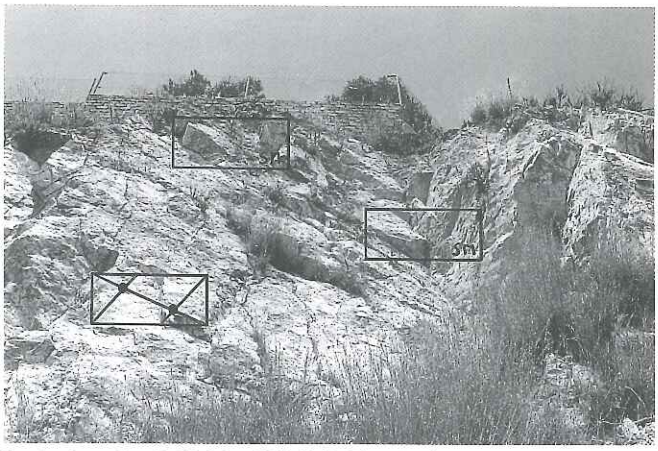
El Nivel de riesgo geológico en la infraestructura de las líneas ferroviarias de Renfe es la probabilidad, expresada en cuatro grados desde R.0 a R.3, de ocurrencia del fenómeno geológico que originaría un suceso perturbador.

Su valor en una zona concreta se establece mediante estimación profesionalizada.

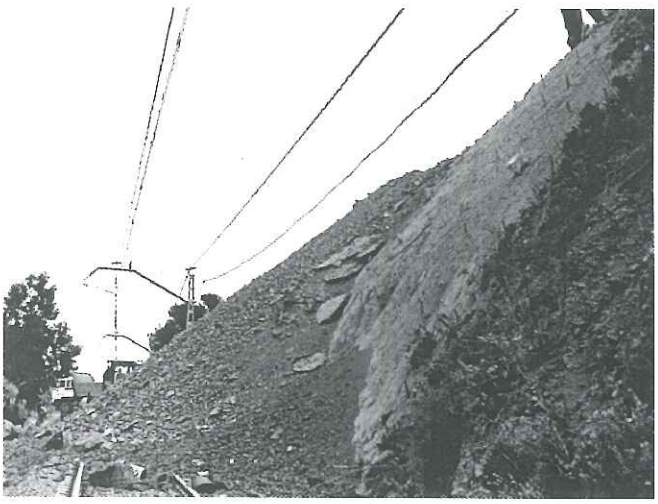
El Nivel de gravedad ilustra de manera cualitativa en tres grados, alto, medio y bajo, las consecuencias que conllevaría para la circulación ferroviaria el que se produjera el suceso, cuya probabilidad de ocurrencia viene marcado por el Nivel de riesgo.

El valor del nivel de gravedad viene condicionado por los dos aspectos siguientes: ferroviarios y propios del riesgo (ver Tabla I).

Los estudios de riesgos geológicos de la infraestructura de una línea ferroviaria los coordina la Dirección Técni-



Lado derecho. P.K. 21 + 200 de la línea Málaga-Fuengirola. Vista de detalle de bloques descalzados en la coronación del talud. Saneo manual de bloques inestables. Instalación de una malla bulonada contra caída de rocas.



Lado izquierdo. P.K. 24 + 900 de la línea Málaga-Fuengirola. Vista de los daños producidos por el deslizamiento del año 1992.

Factores Geológicos Intrínsecos	Factores Geomorfológicos Intrínsecos	Factores Humanos Extrínsecos
• Discontinuidades desfavorables en roca. • Zonas descomprimidas en roca o en suelo. • Naturaleza expansiva o colapsable del material de suelos. • Naturaleza alternante duro-blando del material.	• Regiones con laderas de alta pendiente. • Regiones con fuertes oscilaciones térmicas. • Regiones con abundantes precipitaciones.	• Escombreras. • Canteras. • Terraplenes. • Embalses. • Explotación de pozos. • Voladuras. • Incendios.
DESENCADENANTE NATURAL		DESENCADENANTE ARTIFICIAL
Fenómenos Geológicos • Caídas de piedras o bloques. • Deslizamientos de taludes. • Deslizamientos de pie de terraplenes. • Arrastres de material fino. • Erosión de taludes. • Hundimientos. • Asientos.		
Nivel de gravedad →	**Sucesos (incidencias)**	← **Nivel de Riesgo**
Es una medida cualitativa (expresada en alta, media o baja) de las consecuencias para la circulación ferroviaria de que se produce el suceso. Depende de dos factores: 1. **Ferroviarios:** Visibilidad, nº de circulaciones/día, vía única/doble, línea electrificada/no electrificada, túnel, viaducto, desnivel, perfil transversal, distancia talud a explanación, etc. 2. **Riesgo:** Nivel de riesgo intrínseco, importancia y desarrollo zonal del nivel de riesgo observado, frecuencia histórica del suceso.	• Interceptación de vía. • Arrollamiento de rocas • Interceptación de cunetas. • Descarrilamientos. • Golpes a las circulaciones. • Averías al Material. • Averías en las Instalaciones.	Es la probabilidad (expresada de R.0 a R.3) de ocurrencia del suceso y es igual a la probabilidad de ocurrencia del fenómeno geológico.

Tabla I.–Factores de riesgo de la Infraestructura de las Líneas Férreas.

ca de la UN de Mantenimiento de Infraestructura, de conformidad con las fases secuenciales del trabajo a ejecutar:

a) Contexto geológico, que describe, a nivel regional, los materiales geológicos, su estructura y la hidrogeología atravesados por la línea o tramo ferroviario.

b) Geología de la traza, que describe, a nivel local, los materiales geológicos aflorantes en la traza. Con base en éstos se sectoriza la línea en tramos homogéneos.

c) Estudios de incidencias de infraestructura de la línea ferroviaria, que analizan estadísticamente los datos de incidencias registrados en los inventarios de RENFE y en los libros de incidencias de las Gerencias de Eje. De este análisis se puede obtener una primera aproximación del nivel de riesgo en un tramo, lo que permite priorizar el orden de ejecución de los estudios parciales.

d) Tipología de los riesgos detectados en las trincheras y laderas, terraplenes, túneles y puentes, mediante una revisión sistemática de los tipos de fenómenos geológicos que generan riesgos, tanto en materiales de tipo suelo, como en rocas.

e) Propuestas de protección, con definición de las características de las potenciales soluciones constructivas.

f) Precauciones inmediatas a adoptar para mejorar la seguridad de la explotación.

g) Como **Corolario** de este análisis, se hace una programación de ac-

tuaciones referentes a la ejecución urgente y a la ejecución complementaria.

Con el fin de mejorar al máximo la gestión de estos estudios de riesgos geológicos, como base para la planificación de inversiones en obras tendentes a minimizar el referido riesgo, la Dirección Técnica de la UN de Mantenimiento de Infraestructura ha procedido a su informatización por medio de un programa de base de datos relacionales, que sirve de soporte al banco de datos geológico-geotécnico de Renfe.

La informatización tiene un doble objetivo:

1) Dado que los riesgos geológicos constituyen situaciones evolutivas en el tiempo, su estudio conforma una verdadera instantánea. Por ello, es necesario poner al día estos estudios a fin de asegurar su fiabilidad, actualización que lleva a cabo la Jefatura de Infraestructuras por medios propios con carácter quinquenal.

2) Servir de base a la planificación de obras de infraestructura que implican una rápida toma de decisiones a partir de un amplio volumen de datos, lo que requiere disponer de un mecanismo ágil de tratamiento de la información para obtener el plan anual de inversiones.

Relación inversiones-disminución riesgos

Las administraciones ferroviarias más avanzadas han desarrollado y están perfeccionando los «Estudios de riesgos geológicos de la infraestructura» en los que establecen unos niveles de riesgo y de gravedad que conjugados permiten definir estadios sucesivos de actuaciones inversoras. Por lo que se puede establecer una relación del riesgo geológico en función de las inversiones.

Si en el eje de ordenadas (y) se representa el riesgo para el estado actual, y en el eje de abscisas (x) los costes de las posibles medidas, tomando la secuencia de las medidas en orden creciente entre las utilidades y costos, se conseguirá una curva en la que el riesgo nunca será cero, y en la que cada vez con mayor inversión se aumenta continuamente la seguridad.

Debido a la limitación de los recursos económicos se presenta una cuestión: ¿Cuándo se debe cesar de invertir en medidas de protección? ¿Qué debe permitirse que pueda pasar? ¿Qué no debe permitirse que pueda pasar?

La cantidad que quiera gastar la sociedad para salvar a una persona de la muerte en un accidente, es un problema similar a la pregunta de cuánto se quiere gastar en la protección del medio ambiente, en sanidad o en la defensa del territorio; en definitiva, es una decisión política.

Planificación de la inversión para reducir riesgos

El objetivo fundamental de los estudios geológicos de riesgos de la infraestructura ferroviaria es facilitar el análisis coste/ beneficio de las técnicas presupuestarías.

- En la **Fase de planificación técnica**, el estudio permite fijar objetivos concretos, tales como la disminución del riesgo geológico hasta un nivel de riesgo R.2 y un nivel de gravedad medio.
- En la **Fase de programación y formulación del presupuesto**, se cuantifican los resultados directos y los indirectos de las decisiones tomadas, evaluándolos mediante un análisis coste/ beneficio, y presentándolos debidamente ordenados al comité correspondiente para que tome la decisión que corresponda.
- En la **Fase de control**, estos estudios permiten:

1. Determinar las desviaciones producidas entre los resultados previstos y la realidad del programa.
2. Analizar las causas de esas desviaciones.
3. Revisar las decisiones en función de los errores en la evolución del riesgo.



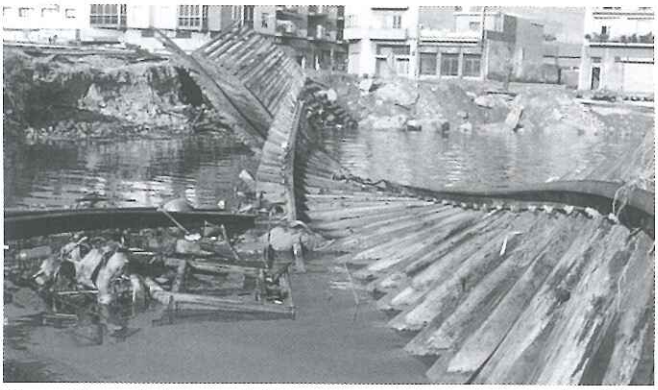
Inundación en la línea Chinchilla-Murcia-Cartagena.

Corolario

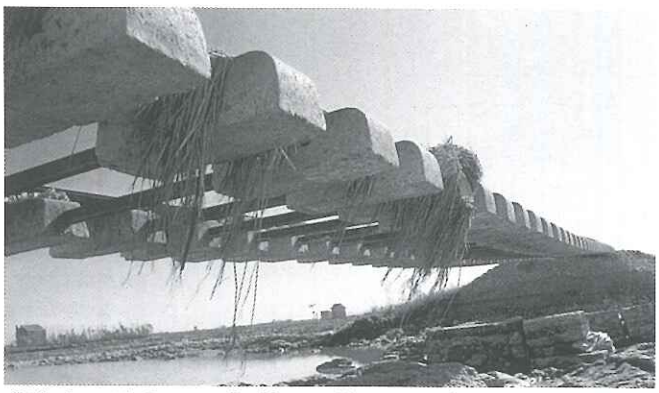
Las obligaciones emprendidas por Renfe en el dominio de los riesgos naturales tratan de conseguir que los viajeros y las mercancías lleguen sanos y salvos a su destino.

Actualmente, el hombre no conoce bien los mecanismos evolutivos de los elementos naturales, lo que hace imposible asegurar al cien por cien la cobertura del riesgo.

Una acción metódica y un perfeccionamiento de las técnicas permitirá en unos años alcanzar estos objetivos.



En ocasiones la fuerza de las aguas provoca escenarios temibles, aunque propios de esteticistas modernos.



¿Dónde está el puente? «Nuevo diseño de vía» producto de una inundación catastrófica. Línea La Encina-Valencia.

Los estudios geotécnicos en infraestructuras ferroviarias

Carlos Duch Martínez

Geólogo (Madrid, 1985). Diplomado en Ingeniería Geológica por la Universidad Complutense de Madrid. Director de BESELAND, S.A.

Miguel Rodríguez Plaza

Licenciado con Grado en Ciencias Geológicas (Universidad Complutense de Madrid, 1995). Actualmente colabora con la empresa BESELAND, S.A. en estudios geotécnicos de trazados ferroviarios.

Durante los últimos años se ha puesto de manifiesto la necesidad de realizar estudios geológicos-geotécnicos en muchas infraestructuras ferroviarias de nuestro país. Esta necesidad responde fundamentalmente a dos causas principales: la antigüedad y deficiencias constructivas de algunas líneas ferroviarias, y el trazado de las mismas, que en muchas ocasiones queda situado dentro de zonas de alto riesgo geológico. En este artículo se exponen la metodología y etapas de los estudios geotécnicos para solucionar los problemas actuales de algunas líneas ferroviarias.

Geotechnical surveys are currently essential in order to carry out maintenance works in railways. Oftenly, (geotechnical) damages does occur in numerous railway sections with ancient and obsolete infraestructures. These problems are frecuently related to areas with high degree of natural hazards such as floods and landslides. Also inadecuate soils formerly used in embakments construction are nowadays generating inestability processes in certain lines. In this report, methodology and different steps of geotechnical surveys in operating railways are exposed from the point of view of remediation solutions.

Introducción

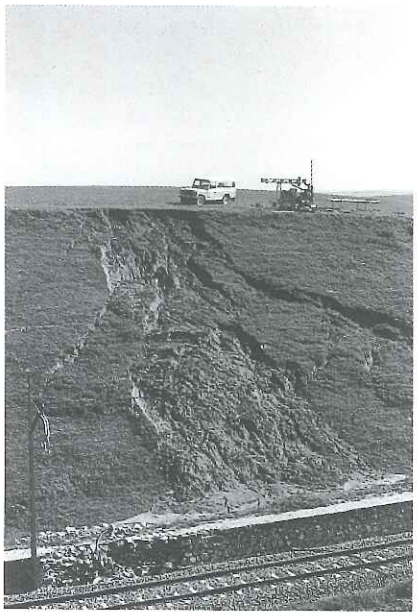
El mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias dentro de nuestro país es una tarea que exige un continuo esfuerzo en inversiones e investigación. Los estudios geotécnicos que RENFE lleva a cabo, por medio de su Jefatura de Infraestructura, se realizan habitualmente con carácter previo a las obras de refuerzo y consolidación, permitiendo obtener información detallada de las características geológicas y geotécnicas de los materiales que componen el sustrato de la propia obra (terraplenes, cimentaciones, etc.). Este conocimiento puede aplicarse posteriormente en el diseño de las soluciones constructivas que sea necesario introducir para mejorar las condiciones de estabilidad del tramo de vía afectado.

La antigüedad de algunas líneas ferroviarias hace que tanto sus trazados, como las características de sus elementos de infraestructura (terraplenes, trincheras, puentes y túneles), sean inadecuados y, en consecuencia, se produzcan con relativa frecuencia problemas de inestabilidad geotécnica, (deslizamientos, desprendimientos), o de inundaciones (avenidas fluviales) que interceptan el tráfico o lo dificultan, como se ha puesto de manifiesto en estas últimas fechas con las lluvias torrenciales caídas en la parte occidental de Andalucía.

El estudio geotécnico: contenido y metodología

Los estudios geotécnicos en tramos de líneas ferroviarias en servicio se adaptan al tipo de problema detectado, orientando y dimensionando las investigaciones en función de este conocimiento inicial y de los fenómenos observados en las zonas afectadas. Es importante, por tanto, definir rigurosamente los procesos geológicos-geotécnicos que afectan al trazado.

Por otro lado, los estudios geotécnicos sobre trazados ferroviarios ya existentes, presentan particularidades que los diferencian de los que se llevan a cabo para proyectos de nuevos trazados. En el caso de los primeros, se presentan dificultades en los aspectos operativos, y exigen una metodología diferente y más costosa que la que ha de aplicarse en los estudios para los segundos. Estas dificultades se refieren a la accesibilidad de personal y equipos a los puntos de investigación, ya que en muchas ocasiones la infraestructura ferroviaria se comporta como una au-



Deslizamiento en el pk. 42+400 de la línea Córdoba-Málaga.

téntica barrera infranqueable, o a las evidentes precauciones a tomar por la circulación de trenes.

La metodología particular con la que se abordan estos estudios es consecuencia del objetivo final de los mismos, que no es otro que el de la resolución de los problemas geológico - geotécnicos mediante obras de reparación y/o mantenimiento.

Los contenidos básicos de estos estudios geotécnicos son:

– Revisión de la información geológica y geotécnica existente, ya sea de tipo general y/o local.

– Estudio hidrogeológico del tramo ferroviario y su entorno.

– Topografía de detalle (1:500 ó 1:1.000).

– Cartografía geológico-geotécnica a escala 1:1.000, y perfiles geotécnicos transversales (cada 50 m) y longitudinales a ambos lados de la vía.

– Cartografía geomorfológica a escala 1:1.000 ó 1:4.000 de la zona afectada.

– Sondeos mecánicos a rotación con testigo continuo.

– Instalación de sistemas de instrumentación geotécnica (sólo necesario en ocasiones).

– Calicatas mecánicas, con toma de muestras, tanto en saco como inalteradas.

– Ensayos de laboratorio.

– Interpretación de los datos obtenidos, redacción del informe y elaboración de las conclusiones y recomendaciones, encaminadas a solventar el problema.

Información previa

Es evidente que existe una interacción entre la geología y geomorfología de una determinada zona y el trazado ferroviario que discurre por ella. En estos últimos años, de lluvias intensas, se vienen observando numerosas tipologías de problemas geotécnicos en distintos tramos ferroviarios. Dentro de los fenómenos más comunes caben destacar las grandes avenidas, que producen descalces de la vía, y las inestabilidades gravitacionales, tanto de terraplenes como de laderas. Es frecuente observar casos, como el de la línea Córdoba-Málaga o el de la Tarragona-Barcelona (por Martorell), que muestran una relación directa entre los terrenos arcillosos que atraviesan y los problemas geotécnicos que se producen a lo largo de ellas.

La recopilación y revisión de la información previa debe incidir fundamentalmente en la caracterización geológica y geomorfológica del área estudiada y en la revisión de los proyectos e informes realizados en zonas cercanas a ellos, permitiendo así llegar a unos criterios previos, que sirvan de ayuda para orientar y dimensionar las investigaciones a realizar, aunque siempre con un cierto grado de incertidumbre.

Estudios hidrogeológicos

Otra parte importante del trabajo a realizar es el estudio hidrológico e hidrogeológico de la zona afectada, ya que el drenaje, tanto superficial como subterráneo, es uno de los factores más importantes que inciden sobre el comportamiento geotécnico de la vía.

Los principales contenidos de este tipo de estudio son:

– Definición en planta de la cuenca de drenaje que afecta al tramo estudiado, sus características geomorfológicas, usos del suelo, tipo de vegetación, etc.

– El análisis de las precipitaciones y temperaturas, tomando los datos de estaciones meteorológicas próximas y, normalmente correspondientes al periodo de los últimos 30 años.

– Cálculo de caudales máximos de avenida para las subcuencas hidrográficas definidas dentro de la zona, para periodos de retorno de 25 y 50 años.

– Inspección y revisión de los sistemas de drenaje existentes en la vía (cunetas, tajeas, etc.) evaluando su estado de conservación, funcionalidad y dimensiones.

– Investigación del drenaje subsuperficial mediante sondeos y ensayos de permeabilidad "in situ" y en laboratorio.

El que un tramo ferroviario no presente problemas de drenaje depende, en gran medida, de la eficacia de su sistema de evacuación de agua tanto freática como de escorrentía. El mal funcionamiento de los drenajes longitudinales y transversales favorece los procesos gravitacionales, el mal comportamiento geotécnico de los materiales de los terraplenes y la posibilidad de descalces de la vía. La infiltración de agua en la plataforma puede reducir la capacidad portante de ésta, obligando a costosas reparaciones.

Por todo ello, se considera esencial un diagnóstico de la influencia del agua sobre la infraestructura de la vía, debiéndose evitar en todo momento procesos de encharcamiento o de aporte de agua a las zonas más sensibles, como son los terraplenes.

Sondeos

Los sondeos se realizan normalmente con extracción de testigo continuo, de un diámetro de 101 a 76 mm, y se intercalan ensayos SPT y toma de muestras inalteradas cada 2 metros o cambio litológico significativo. Las muestras inalteradas se toman con tomamuestras de pared delgada (tubo Shelby) en rellenos y terrenos flojos, y de pared gruesa en suelos firmes.

Además, la campaña de sondeos viene condicionada por muchos aspectos más puntuales y menos objetivos, los cuales obligan a flexibilizar la programación hecha para ella. Los reajustes pueden ser debidos tanto a problemas logísticos (obtención de agua para perforar, accesos y condiciones del terreno) como a cambios en función de los datos obtenidos en sondeos anteriores. En cualquier caso, es fundamental realizar una planificación detallada del emplazamiento, de la geometría de los sondeos, y del tipo de máquina a utilizar en cada caso.



Operación de descarga de una sonda en la coronación de un terraplén.



Efecto dique de la vía. La falta de drenaje favorece la inestabilidad de los terraplenes.

Dentro de la campaña de sondeos un aspecto importante es la necesidad de la presencia permanente de un Técnico (Geólogo) a pie de sondeo, que controle la correcta ejecución de todas las operaciones, anote las incidencias que vayan sucediendo a lo largo de la ejecución de los sondeos y, lo que es más importante, pueda tomar en tiempo real las múltiples decisiones que normalmente se presentan asociadas a estas investigaciones de detalle. La presencia de este Técnico es de particular importancia en las investigaciones realizadas en terraplenes, donde se suceden incidencias variadas, tales como pérdidas súbitas del agua de perforación, cambios muy bruscos de la composición y consistencia del terreno, u otras similares.

Instrumentación

Los sistemas de instrumentación que han de emplearse para realizar informes geotécnicos dependen de la problemática geotécnica de la zona afectada. Como regla general se instalan tuberías ranuradas de PVC en todos los sondeos, con el fin de obtener datos de los niveles freáticos y sus oscilaciones en el tiempo. Otros sistemas cada vez más utilizados son los extensómetros, que permiten medir desplazamientos en la vertical, y los inclinómetros, que miden desplazamientos en la horizontal ante problemas de inestabilidades en taludes y laderas.

Recientemente se utilizan cámaras de vídeo, que permiten inspeccionar el interior las obras de drenaje asociadas a la vía con diámetros superiores a 300 mm, pudiendo así localizar los puntos de rotura y determinar el estado de los drenajes.

Los datos obtenidos mediante instrumentación son en muchas ocasiones esenciales a la hora de tomar una decisión y abordar los problemas de diseño de soluciones constructivas en zonas con problemas geotécnicos.

Vigilancia

La seguridad, tanto del personal como de las circulaciones, es el aspecto más cuidado por el personal de vía de RENFE. La realización de estudios geotécnicos en infraestructuras lineales implica una proximidad a la vía que conlleva situaciones potenciales de riesgo que conviene conocer para prevenir accidentes. Los responsables por parte de RENFE supervisan siempre el emplazamiento de máquinas y equipos cercanos a la vía, indicando las limitaciones que existan en cada punto y tomando las medidas necesarias para garantizar la seguridad tanto de los convoyes y sus ocupantes, como del personal que realiza los estudios geotécnicos. En prevención de accidentes, los aspectos más importantes a tener en cuenta son:

– Mantener la distancia mínima a la vía de cualquier equipo instalado en su proximidad.

– Correcto balizamiento de la zona afectada por los trabajos en ejecución.

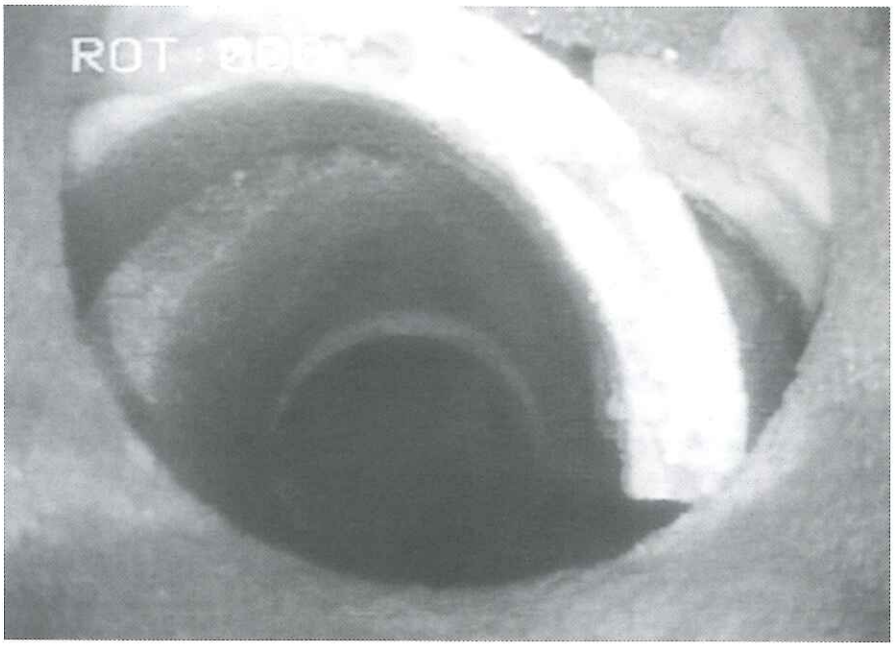
– No sobrepasar la distancia mínima de seguridad entre la torre de la sonda y los cables de la catenaria.

– Conocimiento por parte de los maquinistas de la presencia de personal y equipos en las proximidades de la vía.

– Presencia permanente en los tajos de un agente o piloto, que supervise todas las tareas y determine cuándo se puede invadir la vía. El piloto deberá poder comunicar en todo momento con el control de tráfico de la línea.

Aspectos particulares en los estudios geotécnicos de terraplenes

Los terraplenes de numerosas líneas ferroviarias plantean diversos problemas geotécnicos debidos, principalmente, a la gran heterogeneidad de los materiales que los forman y a los condicionantes geológicos de la zona en la que se encuentran implantados. Es indudable que debido a la antigüedad de las vías, muchos de estos terraplenes están constituidos por materiales inadecuados geotécnicamente, provenientes de desmontes cercanos del propio trazado. Esto implica una gran complejidad en lo



Detalle de la rotura de un drenaje profundo de la vía en la línea Bobadilla-Algeciras, tomada de la inspección realizada por vídeo.

referente a la caracterización geotécnica de dichos materiales, ya que es muy frecuente encontrar grandes variaciones en pocas decenas de metros. Por tanto, es importante determinar en un terraplén la procedencia de los materiales que lo constituyen y sus características geotécnicas, así como los problemas de inestabilidad que se encuentran directamente relacionados con la geología y la geomorfología de la zona.

Normalmente, los terraplenes existentes han sufrido a lo largo de su historia varias obras de reparación y consolidación, que se han ido superponiendo en el tiempo y en el espacio.

A continuación se describen los aspectos más prácticos y relevantes que hay que tener en consideración a la hora de realizar los distintos trabajos que componen los estudios geotécnicos de terraplenes.

Accesos

Los terraplenes son tramos de vía que presentan en general un acceso difícil. En muchas ocasiones, la única forma de acceder a ellos para emplazar la máquina de sondeos en la zona de investigación es por medios ferroviarios. RENFE dispone de medios (minitrenes, dresinas, etc.) para realizar el transporte de equipos y material auxiliar, pero esos medios no siempre están disponibles. Es imprescindible por tanto una perfecta coordinación con la jefatura de la zona, para así reducir al mínimo las horas de parada debidas a las inevitables esperas.

Por otra parte, y, en general cada 24 horas, no hay más que un único intervalo entre circulaciones ("corte de vía") lo suficientemente largo (de 1 a 2 horas) como para poder emplazar la sonda en el lugar seleccionado.

A este inconveniente, se le suma que los cortes de vía suelen ser nocturnos, con las consecuencias de trastornos horarios que esto ocasiona para el personal del sondeo.

Perforaciones y excavaciones

La realización de sondeos y calicatas en plataformas y rellenos de terraplén implica la necesidad de conocer el emplazamiento exacto de numerosos cables enterrados existentes en la vía. Antes de replantear los puntos donde se van a hacer calicatas o sondeos, se deberán balizar correctamente todas estas conducciones ocultas. Para ello hay que solicitar la presencia de los equipos técnicos de cada Sección involucrada, y en especial de los de enclavamiento, señales y comunicaciones. En casos de duda sobre el emplazamiento de estos cables, se pueden localizar con un equipo de detección de corriente eléctrica inducida.

También, todas las maniobras del equipo de sondeo y personal tales como cambios de batería, conducciones de agua para la perforación, paso de personal u otras, deben realizarse estando presente un piloto de RENFE.

Caracterización geotécnica de los materiales

La normativa aplicable para la caracterización y clasificación de suelos, de cara a su utilización en obras en el caso de los ferrocarriles difiere del conocido y manejado PG3 (o su reciente revisión). En los estudios ferroviarios se ha venido utilizando la Norma 719 R de la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles). Esta norma se basa en las características de granulometría, plasticidad, sensibilidad al agua, composición y mineralogía. En función de los valores que se obtengan para cada uno de los parámetros mencionados, se pueden clasificar los suelos en cuatro categorías (QS0, QS1, QS2 y QS3) desde "no apropiados" a "buenos".

Esta clasificación de suelos permite, una vez conocida la "fuerza de sustentación" requerida por las condiciones de tráfico de la línea en estudio, recomendar el tipo de obra de plataforma necesario para conseguirla. Es decir, para un suelo tipo QS0 (o "no apropiado") el espesor y la calidad de la obra de plataforma a introducir serán mayores que para suelos de tipo QS2 ó QS3 (sobre los que no es necesario realizar ninguna obra de mejora de plataforma).

Conclusiones

El éxito de las campañas de investigación en tramos ferroviarios en explotación depende, en gran medida, de la correcta coordinación entre el equipo que realiza el trabajo geotécnico y RENFE.

La campaña de prospección está sometida, en función de los resultados, a cambios que son decididos sobre la marcha y en coordinación con la Dirección Técnica de RENFE.

Los distintos procesos geológicos-geotécnicos que afectan a los terraplenes han de ser analizados por especialistas en Ingeniería Geológica, quienes podrán proponer las soluciones más adecuadas a los problemas presentados.

Los estudios geotécnicos son una herramienta imprescindible a la hora de dimensionar y planificar las obras de mantenimiento de infraestructura.

Inundaciones históricas en Consuegra (Toledo)

Angela Potenciano de las Heras

Licenciada de Grado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid, Master en Hidrología Aplicada por el CEDEX. Especialista en Sistemas de Información Geográfica.

Consuegra, situada en la provincia de Toledo, ha sufrido desbordamientos y crecidas del río Amarguillo a lo largo de toda su historia, registrándose con mayor o menor magnitud desde la época de ocupación romana hasta nuestros días. En este trabajo se destaca la inundación ocurrida en 1891, que arrasó la población provocando 359 víctimas mortales. En esta ocasión las aguas alcanzaron una altura de 5,80 metros en el centro del cauce y un caudal estimado de 114 m^3/s. Se analiza también el papel que pudo tener en dicha inundación la presa romana situada aguas arriba de Consuegra. Ante la reciente situación de lluvias intensas en la Península Ibérica, se revisa el estado actual del río Amarguillo, como un agente importante de riesgo potencial de avenidas.

Consuegra, a place located in the Toledo province, has suffered flooding and rises reported by the Amarguillo river right through the history. The early historical record related to flood occurrence date from the Roman occupation. Stand out the catastrophic flood occured in 1891 and that devasted Consuegra leaving 359 died. The estimated flow, around 114 m^3/s, reached 5,8 m high from the stream bottom. The possible effect caused by the Roman dame situated upstream from Consuegra has been studied. Faced with the last intense rainfall period in the Iberian Peninsula, we make a checking to the current state of the Amarguillo river like a potential agent of natural hazard.

Introducción

Al sur de la provincia de Toledo, y en el límite con la de Ciudad Real, se encuentra la localidad de Consuegra, que cuenta con un rico patrimonio histórico constituido por una presa romana del siglo I, los restos de un acueducto de la misma época, un castillo del siglo XI y varios molinos de viento, situados sobre una típica crestería manchega **(Foto 1).** Engrosando este legado existe una larga tradición histórica de crecidas registradas por el río Amarguillo que, tras cruzar

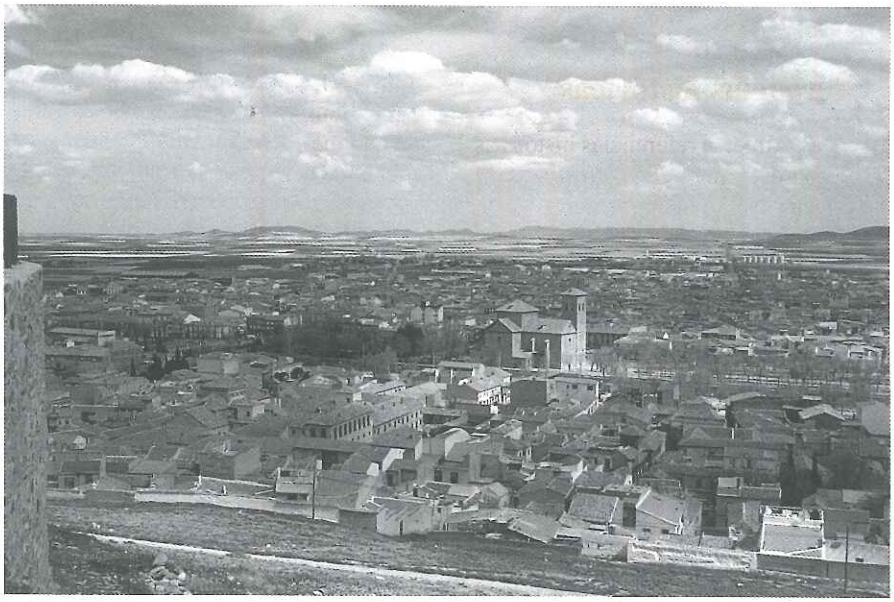


Foto 1.- Panorámica de Consuegra tomada desde el castillo medieval.

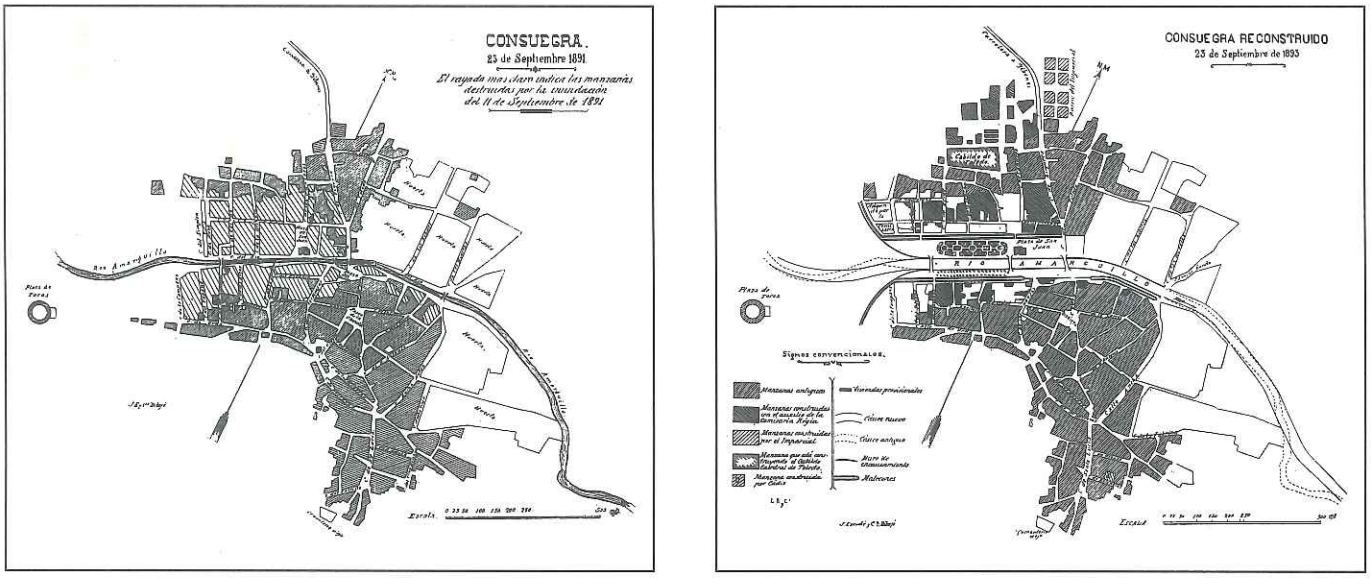


Fig. 1.- Planos de Consuegra que muestran el área afectada por la inundación de 1891 y aspecto de la población tras la reconstrucción (Domínguez-Tendero, 1991).

Consuegra, desemboca en el Cigüela a la altura de Herencia. Destaca la inundación ocurrida el 11 de Septiembre de 1891, que arrasó la población, causando más de 300 muertos y numerosas pérdidas materiales, según las crónicas de la catástrofe (Domínguez-Tendero, 1991). A pesar de que cualquiera de estos motivos es suficiente para hacer de Consuegra un punto de interés dentro de la región, el objetivo de este trabajo es analizar las inundaciones históricas sufridas en esta población, y concretamente la catástrofe ocurrida en 1891, examinando sus causas y tratando de relacionar estos hechos con la problemática actual de avenidas en la Península Ibérica.

Referencias históricas

Las primeras referencias históricas de desbordamientos en la zona datan de la época romana, cuando en tiempos del Pretor romano Quinto Fulvio Flaco los desbordamientos del río Amarguillo y de otros arroyos de la comarca dificultaron el avance de las legiones que, procedentes de Elvora (Talavera), pretendían ocupar Contrebia (La Gata), Consuegra, y otros pueblos de la comarca. En la etapa de ocupación romana, Consuegra debió sufrir una importante inundación que provocó daños en la presa recién construida, ya que algunos contrafuertes aparecen reconstruidos conservando el diseño original. Estas reconstrucciones debieron ser obra de los mismos romanos, dada la importancia que daban a su construcción como obra de almacenaje y abastecimiento de agua. En cuanto a la última ruptura, se descarta la posibilidad de que se produjese en aquella época ya que es poco probable que los romanos abandonasen la presa inutilizada sin repararla. Otro desbordamiento, ocurrido en el año 1097 durante el reinado de Alfonso VI «el Bravo», facilitó la reconquista de Consuegra por parte de las tropas cristianas, burlando el asedio del almorávide Jussuf-Ben-Jachfin a la población. Según las crónicas, en esta batalla murió Don Diego Rodríguez Díaz de Vivar, descendiente del Cid.

La siguiente referencia histórica, recogida en la crónica del Alférez Don Domingo de Aguirre, se remonta al siglo XVI. Sin hacer aquí mención a ninguna inundación concreta, nos informa sin embargo que en el año 1567 se llevó a cabo una canalización de piedra en el tramo del río que pasa por Consuegra, lo que supone una medida preventiva ante los posibles desbordamientos ocurridos en aquellas fechas.

De un estudio que lleva por título «Memoria sobre las causas meteorológicas de la inundación» (1851)(Archivo Histórico Nacional), se puede sacar el siguiente extracto: «... En Villafranca de los Caballeros se produjo una avenida del río Amarguillo de tal magnitud que el Rey perdonó al Ayuntamiento la mitad de los atrasos que debía al pósito, el total de las creces y, por un período de cuatro años, las contribuciones reales...» La inundación a la que se refiere este extracto tuvo lugar el 14 de Septiembre de 1801.

En Domínguez-Tendero (*op. cit.*) se menciona también una «inundación» ocurrida en 1811. Posiblemente se trate en este caso de un desbordamiento puntual del río que no provocó graves consecuencias.

Son las inundaciones ocurridas en la comarca durante el mes de Septiembre de 1891 de las que se dispone de más datos y de descripciones más detalladas (**Fig. 1**). Estas inundaciones fueron causadas por las avenidas de los ríos Guadiana, Cigüela, Valdespino y Amarguillo, del arroyo Cambrán y posiblemente también de los arroyos La Serna y Valdepuercas, que vierten sus aguas al río Amarguillo. Se vieron afectadas las localidades de Consuegra, Camuñas, Villafranca de los Caballeros, Tomelloso, Villarrubia de los Ojos, Malagón y Fuente del Fresno. La población que sufrió más daños fue Consuegra, donde se registraron 359 víctimas mortales y numerosas casas destruidas. En el diario «La Época», en su edición del 2 de Octubre de 1891, se puede leer una frase que constata la alarma de la población: «... Toledo y Ciudad Real quedarán casi arruinadas. Algunos pueblos, como Madridejos y Consuegra, no se repondrán en años de las desgracias que hoy lloran...» (**Fig. 2**).

El 18 de Septiembre de ese mismo año 1891, el Gobierno constituyó la llamada Comisaría Regia con el fin de desarrollar trabajos de inspección y

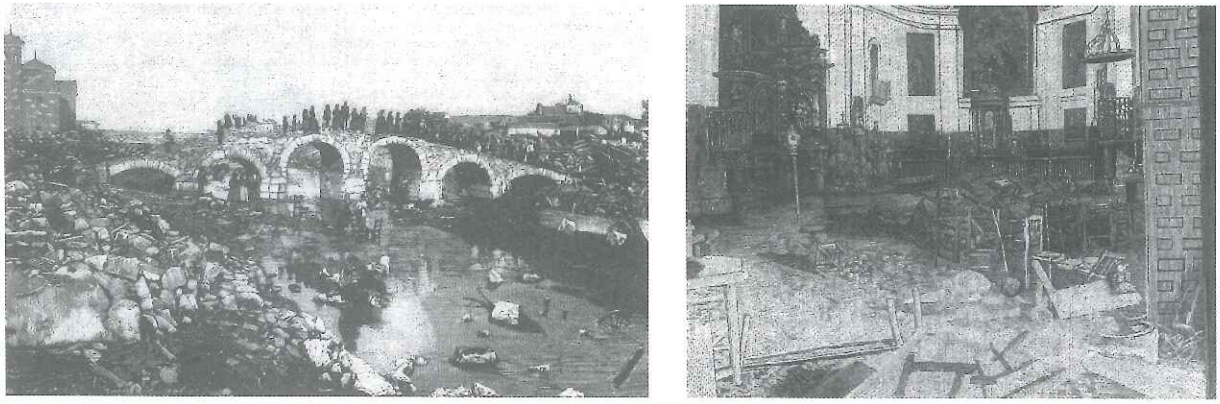


Fig. 2.- Grabados de la época que muestran el estado del cauce en el primer puente a la entrada de Consuegra y el interior de la iglesia, tras la inundación de 1891.

obras de reconstrucción en las localidades más afectadas (Toledo, Almería y Valencia). Los registros de precipitación antiguos en estas zonas, muestran los valores máximos en el período de años 1880-1895, luego cabe esperar que las fuertes tormentas que provocaron la inundación en Consuegra se produjesen también en otros puntos de nuestra geografía, y que la avenida del río Amarguillo no fuese un hecho aislado en la zona.

Según referencias orales, entre los años 1945-46, se produjo una nueva crecida del Amarguillo, y en Villafranca de los Caballeros los habitantes se vieron obligados a sacar tierra del cauce y de sus alrededores para controlar el desbordamiento. Con motivo de esta crecida, en Consuegra se inundó parte de la calle de Toledo, que va a parar a uno de los puentes existentes sobre el río Amarguillo. En el año 1955 se desvió su curso canalizándolo hacia el sur de Villafranca. Otras subidas excepcionales del nivel de aguas tuvieron lugar en 1925, 1960 y 1991, aunque en estas ocasiones el río no se llegó a desbordar.

De cualquier forma se puede apreciar cómo los días de fuerte lluvia (entre 80 y 100 mm de precipitación máxima diaria, con una intensidad del orden de 8 mm/h), el río aumenta rápidamente su caudal, en cuestión de pocas horas, hecho que ha sido constatado en las últimas tormentas de Diciembre de 1996 y Enero de 1997. Todo ello unido a los antecedentes históricos de la zona obligaron a los responsables del Ayuntamiento de Consuegra a enviar numerosos escritos y peticiones a la antigua Comisaría de Aguas del Guadiana con el fin de revisar las obras de encauzamiento del río y el drenaje y limpieza del cauce. Las últimas obras practicadas se terminaron en 1989 y hoy el río presenta serias muestras de abandono (**foto 2**).



Foto 2.- Cauce del río Amarguillo aguas arriba de Consuegra.

La gran inundación de 1891

Según las crónicas sobre la catástrofe ocurrida en Consuegra la noche del 11 de Septiembre de 1891, la lluvia comenzó poco antes de las nueve de la mañana del mismo día, en las sierras de Urda, a unos 13 Km al suroeste de Consuegra, y no cesaron hasta la mañana del día 12. Sin embargo, los habitantes no creyeron en ningún momento que el río pudiera desbordar a su paso por Consuegra, temiendo más por los daños que el posible desbordamiento causaría a las cosechas. A la caída de la tarde la lluvia continuaba pero la intensidad de la corriente en el pueblo pareció disminuir, debido a la retención del agua en el primero de los cuatro puentes que cruzan el cauce del Amarguillo, a su entrada en Consuegra. Este hecho, que en principio tranquilizó a la población, hizo que la avenida que se produciría poco después, provocase daños de mayor magnitud de lo que cabría esperar con el cauce convenientemente drenado y limpio, sobre todo a la salida de los puentes.

Hacia las nueve de la noche, el agua retenida comenzó a bajar con violencia, y con una velocidad increíble inundó la población alcanzando alturas insospechadas, desde 1,5 hasta 3,5 m en algunos puntos (**Foto 3**). El nivel de las aguas en el centro de la corriente se estimó en 5,80 m (Domínguez-Tendero, *op. cit.*). Según los cálculos realizados, el caudal estimado en Consuegra para dicha avenida fue de 114 m^3/s, para una cuenca vertiente de 154 Km^2 (Potenciano, 1996). Es posible que a este caudal se le sumara, en el tramo entre la presa y la población, el agua del arroyo de Valdepuercos, lo que explicaría la supuesta «ola» de avenida que, según las crónicas, se produjo en



Foto 3.- Placa conmemorativa de la inundación de 1891, donde se aprecian las alturas alcanzadas por las aguas (1,7 m).

el primero de los puentes. Este factor, unido a las constricciones por edificación y al taponamiento de los puentes, que limitaban la capacidad de desagüe del canal, contribuyeron a aumentar los daños que la inundación provocó en la población. A pesar de estos posibles agravantes de la catástrofe, se ha comprobado que en la zona los caudales máximos se alcanzan en consonancia con los registros de máxima precipitación, y se registraron valores elevados de lluvia durante esos años, en las estaciones de Toledo y Ciudad Real. Todo esto favorecido por las características geomorfológicas de la cuenca, con una morfología prácticamente circular, tiempos de concentración muy bajos, alta densidad de drenaje y elevadas pendientes en cabecera, hace suponer que el río siguió una tendencia natural, demostrando su eficacia para producir avenidas rápidas y de gran magnitud ante lluvias cortas e intensas.

Algunos autores, sin embargo, mantienen la hipótesis de la intervención de la presa romana como causante de la inundación al retener un gran volumen de agua, rompiéndose a continuación al no poder soportar el empuje.

El posible papel de la presa romana en la inundación

La destrucción definitiva de la presa romana **(Foto 4),** también llamada «puente de Urda» (localizada junto a la carretera que une Urda y Consuegra, entre el Km 7 y 8), se produciría durante la ocupación musulmana, entre los años 711 y 1183. De ser así, no es probable que los musulmanes reconstruyeran la obra, ya que no utilizaban el hormigón empleado por los romanos y probablemente no consideraban esta obra imprescindible para el almacenaje y abastecimiento de aguas a la población por disponer de otros métodos, como pozos y alfeizares de los que sí quedan bastantes restos en la zona. En los escritos de la época se puede comprobar que en el año 1097 se produjeron crecidas importantes, lo que justificaría el deterioro de la presa dentro del período supuesto, permaneciendo en este estado hasta la actualidad, siendo aprovechado por el río el estribo izquierdo roto para instalar allí su cauce. Ha quedado descartada la posible ruptura de la presa durante la inundación de 1891 (García-Diego, 1983; Potenciano, 1995); y, tampoco parece probable que la última ruptura se produjese durante la ocupación romana de Consuegra ni en la época posterior visigoda, ya que ambas civilizaciones tenían los medios y los conocimientos para haber reparado la obra.

Frente a la hipótesis que en anteriores estudios se ha mantenido sobre la ruptura de la presa romana como posible agravante de la inundación de 1891 (García Diego, 1980), se ha calculado la altura de la lámina de agua en el sector roto de la obra y se han estudiado los depósitos del vaso. Considerando el canal no encajado a su paso por el sector roto **(Foto 5),** para un caudal máximo estimado en 90 m^3/s sobre una superficie de vertido de 127 Km^2, la altura de la lámina de agua sería aproximadamente de 1,34 m. Teniendo en cuenta los 4 m de altura de la construcción, la altura del agua en ese punto no implica una retención suficiente como para modificar las condiciones de la avenida. Si considerásemos que la presa no hubiese estado rota en 1891, y teniendo en cuenta la capacidad de la construcción (entre 1.500.000 y 1.760.000 m^3), considerando el caudal de 90 m^3/s, estimado en ese punto para la inundación de 1891, la presa tardaría del orden de 506 horas en llenarse, y aún en ese caso, probablemente hubiera desbordado por un pequeño aliviadero que presenta en su lado oriental, produciendo entonces erosión en el espaldón de la obra. Esta hipótesis se ha descartado, al no encontrar formas erosivas ni depósitos en ese punto. Ante la otra posibilidad, es decir,



Foto 4.- Presa romana de Consuegra.



Foto 5.- Panorámica de la presa romana de Consuegra. Meandro del río Amarguillo a favor del sector roto (estribo izquierdo).

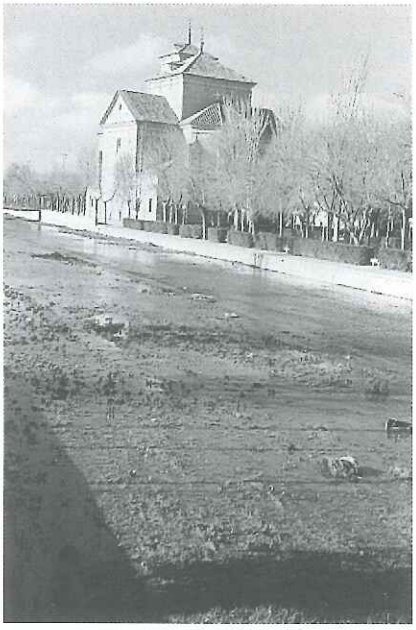


Foto 6.- Cauce actual del río Amarguillo a su paso por Consuegra, donde se aprecia el deficiente drenaje y limpieza del mismo (Enero de 1997).



Foto 7.- Cauce del río Amarguillo con depósitos de barras en su margen derecha y derrumbes provocados por la erosión del agua en la margen izquierda (Enero de 1997).

que se hubiera producido durante el evento la rotura brusca de la presa, aunque el efecto inmediato hubiera sido una rápida salida del agua embalsada, dada la anchura del valle aguas abajo de la obra, la onda de avenida se habría disipado rápidamente, sin llegar al pueblo que dista aún más de 5 Km. No se observa ningún indicio de depósito ni de erosión que justifique este hecho, ni tampoco es evidente la erosión remontante que el rápido desagüe de este caudal hubiera producido en el relleno del vaso de la presa, (García-Diego, 1983).

Las observaciones recientemente realizadas sobre el registro sedimentario de la presa tampoco ofrecen argumentos para sostener una ruptura catastrófica de la obra, sino más bien su abandono y lento deterioro que acabó con su inutilización total. Lo que parece más probable es que el papel de la presa fuera el de un cierto laminado de la onda de avenida, evitando en parte que el río desbordara aguas arriba de Consuegra. Este es un hecho a tener en cuenta a la hora de conocer más datos sobre el papel de las construcciones hidráulicas de la época, ya que las presas romanas encontradas hasta el momento, se sabe que funcionaban como medio de abastecimiento y almacenaje de aguas, pero no existen evidencias de su uso como medio de laminación de avenidas.

Los restos de un acueducto entre Las Guadalerzas y Urda, que posiblemente conectaba con la presa romana, nos da idea de la capacidad hidrológica que en el pasado presentaba la cuenca. En la actualidad, salvo por la explotación de pequeños pozos en los alrededores de Madridejos, al este de Consuegra, la zona presenta escasas posibilidades de explotación.

La situación actual

El río Amarguillo presenta hoy un tramo canalizado a su paso por Consuegra y una desviación del cauce en Villafranca de los Caballeros. En la actualidad, y ante las fuertes tormentas del año 1996, durante los meses de Enero y Diciembre, fundamentalmente, se ha comprobado que el caudal aumenta de forma espectacular en pocas horas, sin llegar a desbordar. Aún así la población se siente alertada ante la dinámica imprevisible, de las que ya ha dado muestras este río. A pesar de las numerosas peticiones del Ayuntamiento para limpiar y drenar el cauce, aún no se han tomado medidas a este respecto, y con la bajada de las aguas se puede ver la vegetación y suciedad que se acumula en el lecho del cauce **(Foto 6),** sobre todo a su paso por las poblaciones. Los malecones de tierra suelta en los márgenes de los tramos de río sin obra de canalización, sufren contínuos desprendimientos que podrían taponar el estrecho cauce y propiciar desbordamientos aguas abajo. Las recientes estructuras de erosión y depósito de barras de grava y arena desarrolladas en el cauce **(Foto 7),** especialmente en el meandro que traza el río por el sector roto de la presa romana, da una idea de la rápida dinámica de este río y de la necesidad de una contínua vigilancia y control de su evolución. Como éste, en otros muchos cauces en la Península en los que se han llevado a cabo obras de control de avenidas, deberían ser estudiados sus cambios recientes, ya que ante un período de sequía como el recientemente sufrido, la inactividad de los mismos se ve rota de forma brusca por un período de lluvias intensas, agravándose los daños por desbordamientos.

En los últimos 2 años se ha podido comprobar este hecho tras las tragedias sufridas el día 7 de agosto de 1996 en Biescas y el 6 de noviembre de 1997 en Badajoz, así como tras los recientes desbordamientos de los ríos Guadalquivir, Guadalhorce, Guadalete, Vira, Iro y Tamarguillo en Andalucía, del Henares, Guadarrama y Manzanares en Madrid, y en Enero de 1997 del Cigüela, Záncara y Riansares en Cuenca y Ciudad Real, y del propio río Amarguillo **(Foto 8).** La mayoría de estos



Foto 8.- Crecida del río Amarguillo (Febrero de 1997).

ríos habían sido ya motivo de estudio y diseño de obras hidráulicas en sus cauces, pero aún así los caudales registrados han excedido la mayoría de las previsiones puntualmente. Ante estos hecho se ha planteado una revisión de la actual situación de nuestros cauces.

La Naturaleza nos insinúa, en este caso de forma muy directa, la necesidad de prestar una especial atención a la morfodinámica y al ecosistema de ribera de nuestros ríos, dentro de los estudios de previsión de riesgos por inundación en la Península.

Agradecimientos:

Mis agradecimientos a Guillermina Garzón Heydt y Juan José Durán Valsero por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia en el estudio de avenidas y por brindarme la oportunidad de difundir los resultados de este trabajo.

Referencias bibliográficas

Comisión Nacional de Protección Civil (1985): Comisión interministerial e Initec. Madrid. v. 1 y 2

DOMÍNGUEZ-TENDERO, F. (1991): *Memoria Centenario de la inundación del 11 de Septiembre de 1891. Toledo.* 356 pp.

GARCÍA-DIEGO, J. A.; DÍAZ-MARTA, M.; SMITH, N. A. F. (1980): Nuevo estudio sobre la presa romana de Consuegra. *Revista de Obras Públicas,* Junio 1980, 487-505.

GARCÍA-DIEGO, J. A. (coord.)(1983): Estudio conjunto sobre la presa romana de Consuegra. *Revista de Obras Públicas,* Julio 1983.

MOPU. Dirección General de Obras Hidráulicas (1988): Plan Hidrológico I. Documentación básica de la cuenca del Guadiana. Láminas 30-34

POTENCIANO, A. (1995): *Estudio de las inundaciones históricas del río Amarguillo (Toledo).* Tesis de Licenciatura. Facultad de C.C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. (Inédita). 142 pp.

POTENCIANO DE LAS HERAS, A.; MARTÍNEZ GOYTRE, J.; DURAN VALSERO, J. J.; GARZÓN HEYDT, G. (1996): Inundaciones en la cuenca del río Amarguillo (Toledo). *Geogaceta,* 20, 1135-1137.

BESELAND, S.A.

* ESTUDIOS GEOTÉCNICOS * IMPACTO AMBIENTAL Y RESTAURACION DEL MEDIO NATURAL * RIESGOS NATURALES * MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL * ORDENACION DEL TERRITORIO Y PLANES ESPECIALES

Otras áreas de actividad de BESEL AND, S. A.

- Estudios energéticos
- Ingeniería de servicios financieros

C/ Espronceda, 19 - 28003 MADRID
Tels.: 915 54 36 40 - 915 54 58 25
Fax: 915 54 24 62

El procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental y sus nuevas perspectivas

Alberto Fraguas

Biólogo. Presidente de APROMA, Asociación de Profesionales del Medio Ambiente.

El autor repasa, desde la perspectiva de sus 11 años de existencia, los aspectos positivos y las carencias de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), tanto a nivel estatal como autonómico. Propone diversas alternativas para suplir las carencias y concluye sugiriendo que la Intervención integral, junto con la combinación de EIA y Prevención y Control Integrado de la Contaminación es el marco ambiental del futuro.

The author reviews, from the perspective of its 11 years in force, the positive aspects and drawbacks of Environmental Impact Evaluation, (EIA) both at state and autonomic level. Proposes several alternatives to cover drawbacks and concludes inggesting fhat the integrated action resulting from the combination of EIE and Integrated Prevention and Pollution Control represents the environmental framework of the future.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como instrumento de una política preventiva

La EIA poco a poco se ha ido consolidando en nuestro país como un instrumento básico para poner en marcha determinadas actividades, condicionándolas ambientalmente. Su línea estructural le dota de una gran potencia como herramienta básica en una política ambiental preventiva donde intervienen, integrándose, tres aspectos:

- La EIA (en concreto su Estudio de Impacto Ambiental) como elemento técnico multi e interdisciplinar que permite el desarrollo de un cierto mercado.
- La EIA como procedimiento administrativo sujeto, por tanto, a su estricto cumplimiento.
- La EIA como plataforma de participación pública en la toma de decisiones sobre las actividades a implantar en un determinado territorio.

Cuando en definitiva se habla –y se escribe cada vez más– del «desarrollo sostenible», de los antiguos «límites del crecimiento», observamos cuán difícil es hacer propuestas concretas para el día a día frente a estas grandilocuentes expresiones. Tan sólo la EIA es el elemento para hacer factibles las políticas implícitas en esta concepción del desarrollo y mucho más si sometiéramos a EIA las propias políticas, ya que implicaría un control externo de las mismas, y una exhaustiva vigilancia de sus compromisos ambientales; sería en sí el gran acto de fe democrático. Cuando una Administración, un Gobierno, pone en marcha sistemas para autocontrolarse ambientalmente. En fin, este sueño aún anda lejano.

Aspectos positivos

Sí, se puede afirmar que la EIA se ha consolidado en España. Va superando las reticencias de unos (promotores) y otros (ecologistas), pues en el fondo todos hemos ido aprendiendo. Hay diversas razones para felicitarse en la puesta en marcha de la EIA tras 11 años de existencia a nivel estatal (RDL 1.302/86):

- La práctica totalidad de las Comunidades Autónomas han adaptado a sus territorios esta normativa, ampliando, en muchos casos de manera significativa, el número de actividades sometidas a evaluación, integrándose por otra parte en las normativas específica-

mente ambientales de cada Comunidad Autónoma.

• Quedó claro (va quedando, va quedando...) que la EIA no interrumpe el desarrollo, no frena la economía, no dificulta nada que no deba asumir un Estado de Derecho con preocupaciones ambientales. La EIA racionaliza el desarrollo, condiciona el mismo. Por otra parte, los costes implícitos en la EIA, tanto en cuanto a trabajos de consultoría, como de puesta en marcha de las acciones correctoras definidas en el proceso, no suponen desembolsos importantes y desde luego, no muy superiores a los que impondría el cumplimiento de las normativas sectoriales (agua, atmósfera, residuos, etc...).

• Cada vez se encuentra más integrada en la gestión ambiental de las empresas. Los promotores ya no se lamentan tanto de ella, la entienden mejor, quizás porque han comprendido que es un mal necesario (algunos) o un bien compartido (los menos).

• Ha habido mejoras evidentes en los procesos de tramitación de los expedientes. A lo largo de los años se puede observar una mayor pertinencia en las observaciones establecidas en la fase de Consultas Previas por parte de las entidades consultadas. Asimismo, durante el período de información pública también se observa una mayor coherencia con las realidades concretas del propio proyecto.

• La calidad de las Declaraciones de Impacto Ambiental ha subido claramente. Sobre todo en algunas Comunidades Autónomas, la concreción en las condiciones que impone es mucho mayor y guarda coherencia con los resultados que pretende conseguir. En definitiva, se matan menos moscas a cañonazos.

Déficits existentes

Pero, a pesar de todos estos indudables avances, aún queda mucho camino por andar. Todavía en nuestro país estamos muy lejos de considerar al procedimiento de EIA como perfectamente instalado, tanto en nuestro derecho, como en la propia gestión y autorización de determinadas actividades. Aún se corre el riesgo de que la EIA no deje de ser un mero trámite administrativo, una burocracia necesaria para aparentar que las decisiones se toman desde unos principios cautelares en lo que concierne a la protección del medio ambiente; dando incluso una visión un tanto democrática de esta toma de decisiones. Veamos, hay problemas en cuanto a:



El objetivo de la normativa sobre EIA es, en definitiva, preservar el medio natural.

• La realización de los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) está absolutamente infradotada de medios económicos. No se pagan adecuadamente los Estudios, quizás porque todavía tienen poca credibilidad. Los EsIA son estudios complejos donde distintos profesionales intervienen; este hecho y la mala información que en ocasiones existe sobre el medio ambiente en nuestro país (y por tanto hay que buscarla en el EsIA) hacen que no sean estudios baratos por definición. Y sin embargo se paga insuficientemente por ellos, en un mercado concreto donde los profesionales y las consultoras tienen también su parte de culpa por entrar en este juego especulativo.

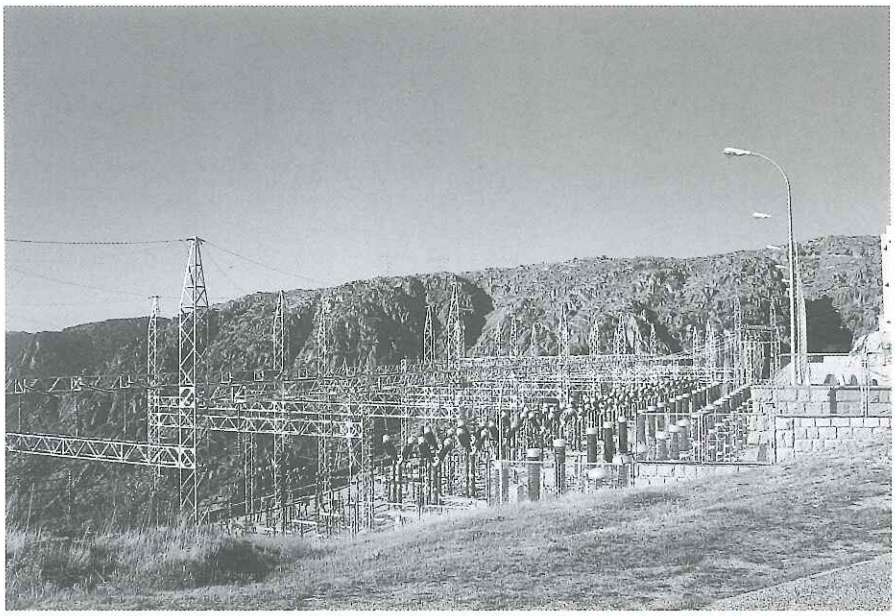
La dilación del procedimiento sobre EIA está siendo un problema gravísimo y está provocando ciertas reticencias en los inversores. Es claro que las administraciones competentes tienen aún un importante déficit de técnicos y especialistas, pero también es cierto que incumplen la temporalidad procedimental expresada en la normativa. En este sentido es bajo todo punto de vista indefendible que existan procesos de EIA con una duración de año y medio o dos años, como se da en bastantes casos de muchas Comunidades Autónomas, e incluso procedimientos cuya responsabilidad autorizadora recae en la misma Administración Central.

Es todavía escasa la participación pública en los procesos de EIA. Teóricamente se debe dar a tres niveles:

- Consultas previas (Pre-EsIA).
- Aceptabilidad Social del Proyecto (In-EsIA).
- Información Pública o Alegaciones (Post-EsIA).

Y, sin embargo, la participación es insuficiente. Quizás porque no hay información suficiente para que el ciudadano y las organizaciones, gubernamentales y no gubernamentales, pudieran opinar. Mucho más en determinados proyectos, cuya implantación social está altamente cuestionada por la propia sociedad a la que en muchas ocasiones, sin embargo, pretende servir. Quizás haya que empezar a pensar en sistemas más abiertos de participación en determinadas actividades concretas (audiencias públicas).

• Sigue existiendo una enorme descoordinación entre la Administración Central y las Comunidades Autónomas. Hay circunstancias competenciales en muchos casos poco claras, y también duplicidades de competencias. Por otra parte, la diversidad de normativas es enorme, ya que casi todas las Comunidades Autónomas disponen ya de una norma que adapta el Real Decreto 1.302/86 (y su Reglamento, el 1.131/88) de la Administración Central, la cual sigue sin actualizar esa normativa. Existían borradores de una nueva normativa ¿dónde están?, ¿para cuándo se espera esa norma que armonizará la extrema diversidad de leyes autonómicas existentes?



El impacto paisajístico de las subestaciones eléctricas es bien palpable.

• Y por eso aún no se articulan procedimientos sobre Planes y Programas, y en ellos sobre los instrumentos de ordenación territorial o planeamiento (¡qué gran tema la EIA y el planeamiento!, ¡leyes de prevención ambiental *versus* leyes del suelo!... ¡en fin!). Si se cree institucional, política y técnicamente en la EIA, si consideramos que es una herramienta esencial en cualquier estrategia preventiva a nivel ambiental, es preciso actuar con ella en los primeros estadios en que se plantea una determinada actividad (Plan o programa), pues es ahí cuando más preventiva es. Esta aplastante lógica tiene muchos problemas: los mismos de poner en marcha realmente políticas preventivas.

• No existe apenas vigilancia, seguimiento o control del grado de cumplimiento de las condiciones que impone el procedimiento. Tan sólo algunas Comunidades Autónomas (Andalucía, País Vasco, algo Cataluña) han articulado algún sistema para velar por el cumplimiento de estas condiciones. Y este es el punto esencial que casi desencadenaría, si se resuelve, muchas soluciones en los otros temas. ¿Cómo es posible que tras estudios, alegaciones, informes administrativos y todos los trámites que conlleva el procedimiento, el órgano sustantivo o el ambiental (que puede hacerlo) no vigile o controle? ¿Qué credibilidad se da al procedimiento? ¿Para qué se preocupará el promotor en hacer las cosas lo mejor posible? Hay que recordar que tampoco el Ministerio (de Fomento y/o de Medio Ambiente) con los medios de que dispone tiene sistematizado el seguimiento de sus Declaraciones del Impacto Ambiental.

Así pues, se observa que aún queda mucho camino...

La nueva EIA en Europa

Muy recientemente ha sido aprobada la Directiva 97/11 de 3 de marzo de 1997 por la que se modifica la antigua 85/337. Esta modificación introduce ya la posibilidad de establecer un procedimiento único para cumplir los requisitos de la EIA y de la futura Ley de Prevención y Control Integrado de la Contaminación, la famosa Directiva IPPC. Por otra parte, plantea tres elementos de gran trascendencia:

• Amplía el número de proyectos que obligatoriamente deberán someterse al procedimiento sobre EIA.

• Establece una relación de proyectos que pueden ser susceptibles de EIA si así lo considera el Estado miembro mediante un estudio caso por caso, o mediante umbrales o criterios establecidos por él. En todo caso, estos criterios se establecen en función de las características de los proyectos, de su ubicación y del impacto potencial.

• Plantea muy claramente las informaciones que necesariamente tiene que suministrar el promotor en la forma adecuada. Esta información se refiere tanto a la descripción del proyecto como a sus alternativas, una descripción *a priori* de los elementos del medio ambiente que podrían verse afectados y una valoración previa de los efectos del proyecto propuesto.

Por otra parte, la Propuesta de Directiva relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente plantea temas muy interesantes, como es la incorporación de la evaluación ambiental estratégica de los instrumentos de desarrollo político y territorial. Se establece un considerando que es una clara declaración de principios, cual es que los diferentes sistemas de evaluación ambiental vigentes de los Estados miembros son deficientes porque no incluyen todos los planes y programas fundamentales que establecen el marco de las posteriores decisiones de autorización, y porque no siempre contienen los requisitos de procedimientos mínimos necesarios para garantizar un elevado nivel de protección del ambiente.

Los planes y programas a que se refiere la Propuesta de Directiva son los que se adopten en el proceso decisorio relativo a la ordenación territorial con el fin de establecer el marco para posteriores decisiones de autorización, con inclusión de los planes y programas estratégicos adoptados en los sectores de la energía, los residuos, los recursos hídricos, la industria (incluida la extracción de minerales), las telecomunicaciones y el turismo, así como ciertos planes y programas de infraestructura de transporte.

Establece por otra parte las bases procedimentales para operar en una evaluación de efectos ambientales de planes y programas. Se insta a que la autoridad competente prepare una «Declaración sobre Medio Ambiente», con información como:

• Contenido y objetivos del Plan o Programa.

• Características ambientales de las zonas afectadas.

• Objetivos de protección ambiental que considera el Plan o Programa.

• Repercusiones ambientales importantes.

• Medidas para prevenir, reducir o compensar cualquier repercusión.

Esperemos que la Propuesta sea rápidamente Directiva y se transponga al Derecho interno español pronto. Esta es, sin duda, una de las asignaturas pendientes de la EIA.



Los regadíos afectan de manera importante al medio ambiente.

Intervención Integral (EIA + IPPC)

La Directiva 96/61 relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación (IPPC) supone una gran transformación. Esta importante Directiva plantea por primera vez un enfoque integrado del procedimiento de autorización por una serie de industrias en las que se establecen medidas para evitar o reducir las emisiones, efluentes o generación de residuos sobre la base de introducir las *mejores técnicas disponibles;* y ésta es la gran transformación, se plantea cambiar la forma de producir tendiendo a una con el menor riesgo ambiental posible.

La Directiva se debe transponer antes del 31 de octubre de 1999 y a partir de esa fecha aplicarse para las nuevas instalaciones. Las instalaciones existentes tendrán de plazo hasta el 31 de octubre del 2007.

Su implicación con el procedimiento EIA es evidente en tanto que éste supone la aprobación de actividades condicionadamente a nivel ambiental. La fusión de ambas normativas supondría, además de una necesidad, un enorme avance en la regulación preventiva ambiental. Así lo ha entendido alguna Comunidad Autónoma, como la catalana, haciendo público el Proyecto de Ley de la Intervención Integral de la Administración Ambiental, propuesta que supone un claro esfuerzo de clarificación en la materia, y que contempla: la EIA, la IPPC y la regulación de accidentes mayores (la famosa Directiva «Seveso» ya transpuesta al Derecho interno español). En este documento se plantean las condiciones generales de funcionamiento de la actividades, y son:

a) Prevenir la contaminación mediante la aplicación de las medidas adecuadas y, en especial, de las mejores técnicas disponibles.

b) Prevenir la transferencia de la contaminación de un medio a otro.

c) Reducir la producción de residuos mediante técnicas de minimización y, donde no sea posible, gestionarlos correctamente, valorizarlos y, en último término, efectuar la disposición del desperdicio, de manera que se evite o reduzca su impacto en el medio ambiente, de acuerdo con lo previsto en la legislación sectorial.

d) Utilizar la energía y el agua de manera racional y eficaz.

e) Tomar las medidas necesarias para prevenir los accidentes graves y limitar sus efectos.

f) Tomar las medidas necesarias para que al cesar el ejercicio de la actividad se evite cualquier riesgo de contaminación y para que el emplazamiento de la actividad quede en un estado satisfactorio.

Conclusiones

- La EIA lleva operando un tiempo en España tras el cual es preciso afirmar que a pesar de indudables avances existen importantes déficits.
- Entre estos déficits es preciso destacar la ausencia de sistemas adecuados para vigilar el cumplimiento de las condiciones que impone el procedimiento.
- Es estrictamente necesaria una actualización de la normativa estatal para armonizar las distintas normas existentes en las Comunidades Asturianas.
- La regulación a nivel estatal de la EIA de Planes y Programas (y por tanto del Planeamiento Urbanístico) es un factor ya inaplazable.
- La consideración conjunta de la EIA con la nueva Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación (IPPC) es un factor muy positivo para dotar un marco legal a nivel ambiental donde la prevención sea la clave de cualquier actuación.



Los vertederos de residuos urbanos e industriales deben seguir estrictamente las condiciones impuestas en la EIA.

Determinación automática de las capas paramétricas y de los tramos de diagrafías geofísicas en sondeos

Jesús M. Díaz Curiel

Doctor en Ciencias Físicas. Profesor Titular de Geofísica Aplicada en la E.T.S.I. de Minas, Universidad Politécnica de Madrid.

Mª Jesús Miguel

Ingeniero de Minas. Empresa Nacional de Ingeniería y Tecnología (INITEC).

Natalia Caparrini

Licenciada en Ciencias Geológicas. E.T.S.I. de Minas de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid).

Sergio Domínguez

Licenciado en Ciencias Geológicas. Estudio y Control de Materiales, S. A.

Presentamos una metodología para la ejecución automática de la delimitación de las capas atravesadas por un sondeo y para la determinación de los distintos tramos de una diagrafía a partir de los distintos registros geofísicos.

Se detallan los algoritmos desarrollados para la segmentación de cada uno de los registros por separado para, posteriormente, determinar las capas paramétricas del sondeo, las cuales vendrán definidas por un conjunto de parámetros físicos aparentes. Igualmente se muestran de forma detallada los pasos para alcanzar la subdivisión en tramos de una diagrafía, consistente tanto en el establecimiento de una serie de criterios para la delimitación y caracterización de dichos tramos como en el desarrollo de los algoritmos matemáticos para llevar a cabo esos criterios.

Esta metodología se ha implementado en una serie de programas informáticos diseñados para realizar dichos procesos de forma lo más automática posible. No obstante, se ha programado la posibilidad de que el usuario intervenga en todos los procesos, tanto en los que los resultados puedan presentar dudas o ambigüedades, como en aquéllos cuyo nivel de éxitos en el procesamiento automático sea del 100%.

Los programas elaborados se han aplicado, para contrastar su validez, sobre una serie de 27 sondeos profundos para captación de agua, realizados al Sur de la Cuenca del Duero. Los parámetros registrados han sido radiación gamma natural, potencial espontáneo, resistividades normales, resistencia monoelectródica, resistividad lateral y temperatura.

We present a complete methodology to automatic segmentation, with the following attainment of the parametric layers, and zonation of well logs in boreholes.

The algorithm developed to segment records and the criteria to obtain the parametric layers of a borehole, characterized by a set of physical values, are detailed. In the same way, we show in detail the steps to divide logs in zones, the adopted criteria and the mathematical algorithms developed to achieve this purpose.

This methodology has been implemented into several codes to make this processes so automatically as possible. However, we have included several options for the users intervention, not only in doubtful processes but in successful automatic processes as well.

To validate this codes we have used a set of deep open holes for water supply, located at the southern area of Duero Basin (Spain). The used logs are gamma ray, spontaneous potential, normal resistivities, lateral resistivity, single point resistance and, in some cases, temperature.

1 Introducción

En el campo de la captación de las aguas subterráneas en nuestro país, al contrario de lo que ocurre en prospección de petróleo, es poco habitual la realización de diagrafías en los sondeos de investigación y explotación, **(Figura 1** y **Fotografía 1)** a pesar del coste relativamente bajo de dichos estudios frente al coste total de las obras y frente a su rentabilidad. Esta deficiencia es debida, en gran medida, al desconocimiento de esta técnica por parte de los responsables de las explotaciones, y a la subjetividad y ocultis-

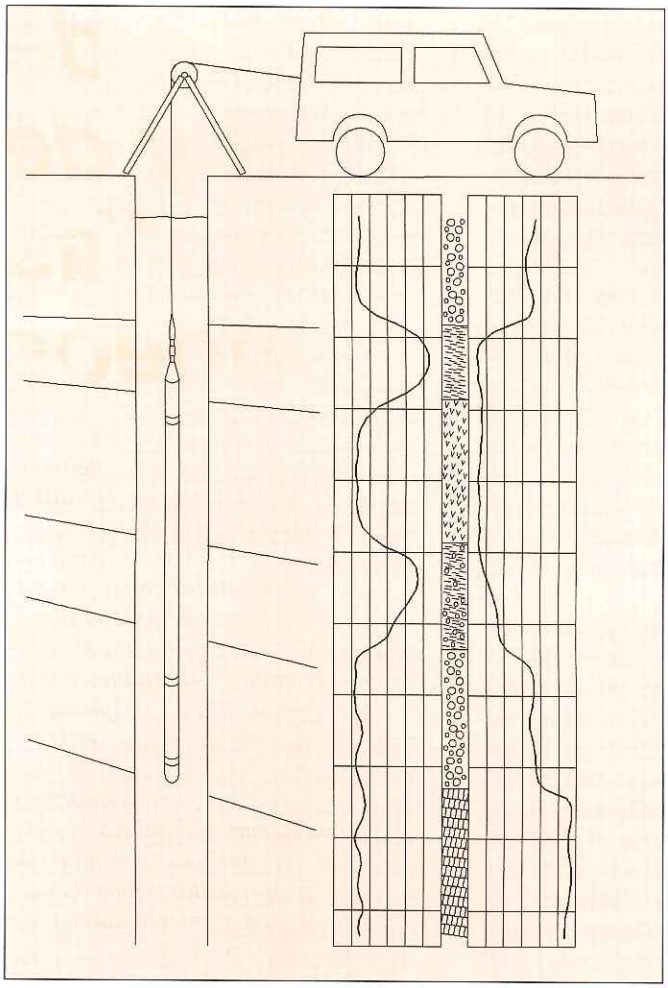
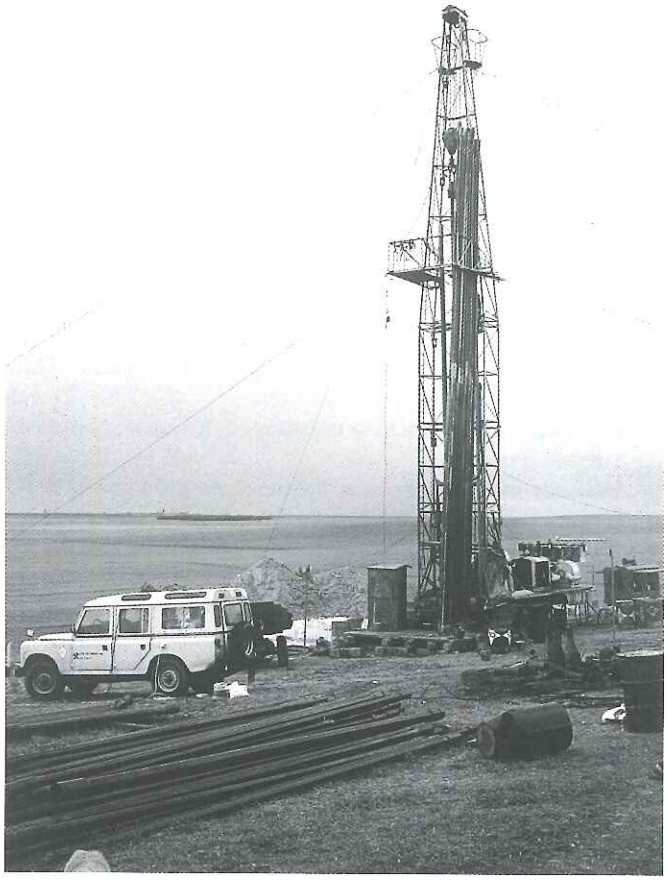


Figura 1. Esquema de obtención y resultados de diagrafías de sondeos.



Fotografía 1. Equipo de testificación durante las maniobras de registro en un sondeo de investigación de aguas subterráneas.

mo de algunos especialistas (derivado del empleo de sistemas de interpretación no automáticos).

Por esta razón, la divulgación de métodos automáticos para el tratamiento y la interpretación de diagrafías puede generalizar su uso, con el consiguiente aprovechamiento técnico que ello conlleva. Asimismo, el avance en las posibilidades que tienen las diagrafías, más allá de la determinación de la tubería de entubación (que es la aplicación más extendida), puede despertar el interés de los técnicos relacionados con los múltiples campos profesionales donde se requiere la ejecución de sondeos.

Para conseguir una automatización completa debemos no sólo desarrollar una metodología para realizar esos procesos, sino transvasar esos desarrollos a programas y aplicarlos sobre un número elevado de sondeos. Este último paso es muy importante en cualquier elaboración de códigos informáticos tanto para modificar y optimizar los criterios y algoritmos desarrollados, como para validar su funcionamiento.

En este trabajo se han elegido 27 sondeos con profundidades superiores a los 400 metros, realizados con fines hidrogeológicos y situados en el Sur de la Cuenca del Duero, como ejemplo de una gran cuenca detrítica continental multicapa. Los parámetros registrados han sido radiación gamma natural (G.N.), potencial espontáneo (P.E.), resistividades normales (R.N.C. para AM=0.4 y R.N.L. para AM=1.6 m), resistencia puntual o monoelectródica (R.M.E.), resistividad lateral (RLAT con AO=1.8 m) y, en algunos casos, temperatura (T).

Entre los procesos de interpretación, y como pasos indispensables, se encuentran la segmentación y la zonación de diagrafías. Aunque en muchas publicaciones especializadas (en lengua inglesa), cuando se trata de fragmentar los registros geofísicos se usan indistintamente los términos de segmentación y zonación, en realidad son dos procesos claramente diferenciados, a pesar de los aspectos matemáticos que puedan tener en común.

Segmentación

Segmentar registros geofísicos consiste en determinar, dentro de la curva contínua de un parámetro, las discontinuidades correspondientes a niveles con distinto comportamiento frente al parámetro medido, esto es, las distintas capas paramétricas del sondeo.

Así definidos, los niveles geofísicos deben calificarse necesariamente con el parámetro que los define (geoeléctricos, geosísmicos,...) los cuales, en algunos casos, pueden corresponder con los distintos niveles o capas litológicas. En nuestro caso, la conjunción mínima de parámetros elegida pretende determinar con el conjunto de los niveles encontrados, la columna o dis-

tribución de capas litológicas del sondeo. No obstante, según de qué litologías se trate, podemos no resolver ciertas equivalencias, o encontrar algunos límites más que los debidos a cambios litológicos (variaciones de la conductividad del agua en niveles permeables).

La determinación de los límites de capas «a ojo» tiene, además de la subjetividad de criterios y el elevado tiempo de ejecución, una dificultad añadida, que es la determinación exacta de dichos límites en función del parámetro registrado y las características geométricas de la sonda empleada. Estos criterios mentales resultan difíciles de incluir en programas que los ejecuten de forma automática, incluso utilizando sistemas expertos.

A continuación se exponen algunas de las técnicas matemáticas empleadas para realizar el proceso de segmentación de registros:

– **Transformada de Walsh**. Empleado en diagrafías por Lanning y Johnson en 1983, consiste en la descomposición de cada uno de los registros, en un sumatorio de funciones rectangulares, de la misma forma que en la descomposición de Fourier. La segmentación que produce esta técnica no es directamente válida, produciendo segmentos carentes de sentido físico (el registro queda escalonado en segmentos de igual variación), por lo que requiere el empleo de criterios de selección posteriores para encontrar los cambios significativos.

– **Filtros de Deconvolución**. Dado que una diagrafía se puede considerar como el resultado de la convolución del sistema de medida con una serie discreta de estratos con valores del parámetro medido distintos, mediante filtros de deconvolución se podría reproducir la serie original. Este método requiere el uso de filtros exactos de deconvolución, que dependen del parámetro medido y, para algunos parámetros como la resistividad, de la propia serie de estratos. Algunos autores (Foster *et al,* 1962; Branisa, 1974) han utilizado este tipo de filtros únicamente para reducir el efecto de la velocidad de registro.

– **Cambios espectrales**. Este tipo de estudios ha sido realizado con éxito en señales genéricas por Baseville y Benveniste (a,b) en 1983. Consiste en analizar los posibles cambios que se producen en la curva de contenido en frecuencias del registro, (obtenida, por ejemplo, mediante la transformada rápida de Fourier) según se avanza a lo largo del mismo. Este método, además de resultar tedioso en el tiempo, no ha dado buenos resultados en los intentos realizados en este trabajo en cuanto a segmentación, pero sí, como veremos más adelante, en el proceso de zonación.

– **Puntos de inflexión**. Este método ha sido utilizado por diversos autores en algunos programas comerciales de interpretación (Souder, 1974) y, aunque se considera un método común, aparece escasamente en la bibliografía (Alonso, 1986; Vermeer *et al,* 1992). La calidad de los resultados que se obtienen depende básicamente de los filtros de suavizado y de derivación que se definan.

– **Reconocimiento de patrones**. Se trata de dividir los registros, diferenciando fragmentos caracterizados por la forma que presenta la curva según unas determinadas geometrías (escalones, valles, picos, ...). Aunque esta técnica fue introducida para análisis de diagrafías por Stephanou (1979), el algoritmo más empleado para llevar a cabo esta segmentación fue desarrollado por Pavlidis en 1980 (split-and-merge: separación-unión). Este algoritmo ha sido optimizado posteriormente por otros autores (Liu *et al,* 1982; Wu *et al,* 1987; ...) aunque, al igual que los métodos espectrales, es relativamente lento.

– **Delimitación por Bandas**. Por analogía del proceso que se realiza durante la interpretación mental, hemos intentado realizar una segmentación de los registros por pertenencia a distintas bandas de amplitud, realizando los siguientes pasos:

1) Cálculo de máximo y mínimo predominantes, tomando la franja central (90%) del rango total de variación del registro; 2) División de dicho intervalo en 50 bandas de amplitud aparente; 3) Transformación del registro a curva discontinua con base en dichas bandas, y 4) Definición de límites en los puntos medios de los intervalos de amplitud ascendente y descendente. Este método producía buenos resultados para capas de espesor elevado, pero no así en el caso de «capas finas», por lo que se desestimó su utilización.

– **Máxima Probabilidad**. La utilización de criterios estadísticos empleados en el estudio de señales de todo tipo está muy condicionada por las características propias de las diagrafías. Los algoritmos más empleados (Chouinard *et al,* 1988; Radhakrishnan *et al,* 1991) consideran cada registro como suma de una cadena markoviana de primera especie más una señal de error de tipo gaussiano. La diferencia entre los distintos algoritmos radica en los criterios de maximización de la función de error. La velocidad de procesado es, en todos ellos, bastante lenta.

Como vemos, existen varios métodos para realizar la segmentación de diagrafías, de los que, para este trabajo, hemos seleccionado la determinación de los puntos de inflexión, tanto por la calidad de los resultados como por el reducido tiempo de procesado que requiere.

Zonación

El proceso de zonación (término derivado de la bibliografía inglesa) o tramificación (que sería un vocablo más aclaratorio dada la acepción espacial que tiene el término zonación en español) consiste en la determinación y clasificación de los distintos tramos o unidades geofísicas existentes en una diagrafía. Para ello, definiremos **tramos** o **unidades** geofísicas como un conjunto de niveles o capas, caracterizado por mantener dentro de cada uno de ellos, una o varias de las siguientes propiedades:

– **Valor** de uno o varios parámetros físicos (relacionado con la litología dominante).

– **Grado de variación** (relacionado con la alternancia de litologías).

– **Espesor** y **secuencia** de las capas (relacionado con el proceso de sedimentación).

Estos tramos, como conjunto de niveles o capas con esas características más o menos uniformes y diferenciadoras del resto, pueden mantener o no correspondencia con unidades o facies geológicas en función de las características del área que se trate.

La delimitación de los tramos de un sondeo a partir de los registros geofísicos, tiene una naturaleza muy relativa, dado que su anchura no está determinada de forma genérica o previa, y que su caracterización matemática puede establecerse según múltiples criterios. Los métodos más empleados para la tramificación de una diagrafía son análisis estadísticos, fundamental-

mente el estudio del valor medio y el análisis de varianza.

El criterio de variación del valor medio fue introducido para zonación de diagrafías por Webster (1973) quien, inicialmente, utilizó el test de Student dividiendo sucesivamente cada registro en dos y comparando cada mitad; posteriormente, generalizó dicha metodología utilizando la distancia de Mahalinobis. Más tarde, Shaw y Cubit (1979) modificaron este método utilizando una ventana predefinida a lo largo del registro.

El criterio de cambios en la varianza fue empleado por Testerman (1962) y Gill (1970) estableciendo las zonas de forma que la varianza sea mínima dentro de cada una y máxima entre ellas. Para ello, utilizaron un modelo de regresión en los distintos tramos seleccionables hasta alcanzar un número máximo de zonas, o una diferencia predeterminada de varianza entre tramos. Posteriormente Hawkins y Merriam (1973) modificaron el método de selección de los tramos, empleando una ventana predefinida que diera un número de zonas óptimo. Estos mismos autores en 1974, así como Hawkins y Ten Krooden (1979), ampliaron este técnica para determinar los tramos utilizando simultáneamente varios registros.

Este método ha seguido desarrollándose; así Chen *et al* (1986) realizaron modificaciones que conseguían reducir el tiempo de cálculo mediante optimización estadística y tomando sólo los puntos con variaciones significativas de amplitud como posibles límites de zonas. En trabajos posteriores, este tipo de criterios se ha consolidado como uno de los más resolutivos (Moghaddamjoo, 1989; Chandu *et al,* 1989).

No debe olvidarse que para una correcta determinación de dichos tramos, al igual que para todos los procesos de tratamiento e interpretación, el analista debe conocer la influencia que ciertas características de perforación, tales como la viscosidad del lodo o el diámetro del pozo, tienen en la resolución de los parámetros geofísicos.

2 Tratamiento de los registros

Para efectuar una segmentación y zonación apropiadas de los registros es necesario efectuar una serie de procesos previos de tratamiento, sin los que los resultados finales pueden ser erróneos.

Un primer requisito indispensable, es que los registros estén discretizados a intervalos equidistantes de profundidad. En registros digitales, la medida de los distintos parámetros suele realizarse internamente a intervalos constantes de tiempo, que posteriormente se transforman en intervalos regulares de profundidad, en función de la velocidad registro. Los equipos analógicos, en cambio, proporcionan registros continuos por lo que, para su tratamiento informático, debemos digitalizarlos (siempre con intervalos de profundidad que reflejen cualquier variación en los registros) y transformarlos en series de valores equidistantes en profundidad.

Esta condición es especialmente crítica en los registros radiactivos, dado el origen discreto de la medida, mediante contadores de pulsos, tanto en equipos digitales (donde la equidistancia final es el resultado de procesos de integración y muestreo) como analógicos (que utilizan integradores electrónicos). En este estudio se considera que dichos registros están integrados durante períodos superiores a 2 segundos, con el fin de que las oscilaciones que presenten tengan longitudes de onda similares a las de los registros de medida continua, sin entrar en el análisis de la influencia que estas consideraciones tienen en las frecuencias de los registros.

Los siguientes procesos de tratamiento, fundamentales para la segmentación y zonación de diagrafías, son la corrección de los decalajes entre los registros de distintos parámetros, y la eliminación de tendencias de algunos registros. Estos procesos se analizan a continuación.

Corrección de Tendencias

Hemos denominado como tales, a las variaciones de carácter global que sufren algunos registros geofísicos debidas a cambios de ciertas características del entorno de medida a lo largo de los sondeos.

Algunas de las características que provocan esas tendencias, como son las variaciones del diámetro de perforación o de la conductividad del lodo, pueden medirse fácilmente a lo largo del sondeo y corregir su influencia en los registros realizados, mientras que la medida de otras, como son la densidad o la radiactividad del lodo a lo largo del sondeo, es más compleja.

Matemáticamente dicha corrección equivale a transformar el registro en una señal de onda cero, esto es, una función cuyo armónico fundamental tiene longitud de onda infinita.

En algunos registros, como es la diagrafía de potencial espontáneo, la causa e intensidad de esas variaciones, conocidas como desplazamientos de la línea base, no son relevantes (dentro de los fines que aquí se persiguen) para la interpretación de dicho registro. La determinación y eliminación de los desplazamientos la línea base mediante métodos automáticos es relativamente viable para este registro (Díaz Curiel *et al,* 1996).

Esos mismos métodos matemáticos para eliminar las tendencias de los registros, se pueden emplear en otras diagrafías, como por ejemplo, los registros de radiación gamma, que se ven afectados por la variación del fondo de radiación debido al contenido radiactivo del lodo.

En otros casos, como es el registro de temperatura, dichas variaciones están intrínsecamente relacionadas con la temperatura de las formaciones, por lo que no deben eliminarse. Para este parámetro, y de cara a que los procesos de segmentación tengan un alcance similar a otros registros (aunque no de cara a la subdivisión en tramos), lo más correcto es transformar el registro original en el registro de gradiente térmico, lo cual tiene, además, su propio significado en la interpretación del registro de temperatura.

Para los registros de resistividad, sin embargo, no debe realizarse una corrección matemática de las tendencias, sino que deben corregirse necesariamente utilizando las leyes físicas que determinan el valor de resistividad en función de la geometría del sistema y del dispositivo de medida. Estas correcciones se obtienen a partir de la variación de la conductividad del lodo de perforación a lo largo del sondeo.

Mientras no se registren las características del sondeo que provocan esas variaciones, la selección del modo de corregir esas tendencias es una decisión que, además de depender del parámetro medido, debe realizarse con un conocimiento profundo del comportamiento de las diagrafías por parte del interpretador.

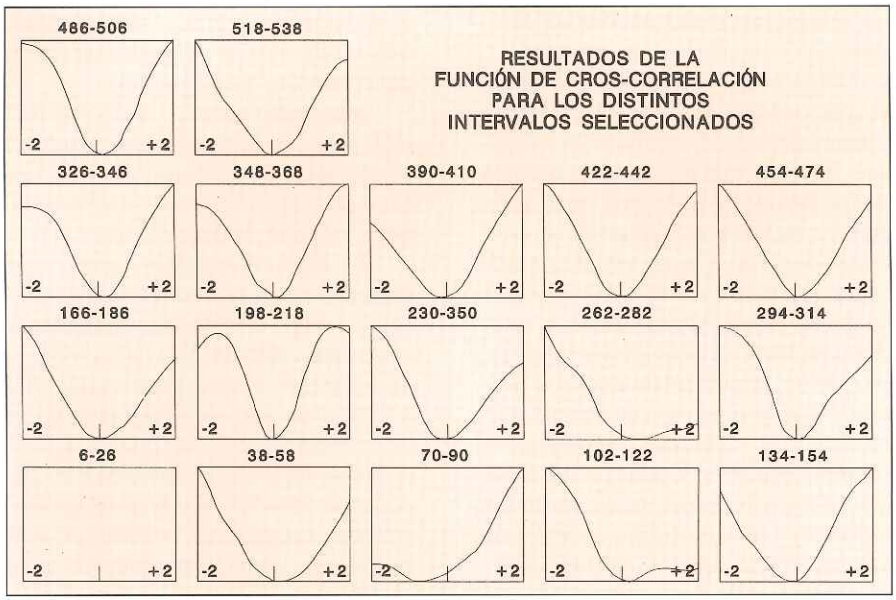


Figura 2. Cálculo de decalajes entre R.N.C. y G.N. en el sondeo Langa.

Corrección de Decalajes

La distancia entre los sensores o dispositivos de medida en una sonda múltiple provoca que la información de cada uno de los parámetros medidos corresponda a profundidades distintas, cuya diferencia es justo la distancia entre los sensores o puntos de atribución. Aunque esta distancia es conocida, y por tanto podríamos restarla, en ocasiones no se realiza el registro simultáneo de todos los parámetros, bien por corresponder a sondas distintas o bien porque ciertos parámetros conviene registrarlos mientras se baja la sonda, y otros durante la subida. Esto provoca que los pequeños descensos puntuales de la velocidad real de la sonda durante la bajada, y las diferentes tensiones del cable durante la subida, produzcan pequeñas diferencias en la profundidad real a lo largo de los registros.

En equipos analógicos, además, la representación simultánea de los registros obliga a que la posición de las plumillas no coincida en profundidad (de lo contrario no podrían cruzarse), provocando una nueva diferencia entre las profundidades reales de cada parámetro. También debemos contar, en los registros analógicos, con los inevitables errores de profundidad producidos durante la digitalización fraccionada de los mismos (dadas las elevadas longitudes de las diagrafías profundas) necesaria para su tratamiento informático.

La diferencia de profundidad entre los distintos registros, resultante de todos estos efectos, se conoce, en el argot de la testificación geofísica, como decalaje.

Mentalmente, la estimación de ese decalaje lleva implícito un proceso simultáneo de interpretación, al igualar las profundidades de las capas que reflejan cada uno de los registros. Para realizar la corrección de decalajes de forma automática, y con anterioridad a la interpretación, se utiliza, en este estudio, la cros-correlación entre los distintos registros.

La función de cros–correlación entre dos curvas, f(z)*g(z), se define como la convolución de una de ellas por el opuesto de la otra. Matemáticamente, esta operación viene dada por:

$$h(\lambda) = f * g = \frac{1}{Cte} \int_{-\infty}^{\infty} f(z) \cdot g(z-\lambda)\, dz$$

donde Cte es una constante de normalización y λ es la variable de la función cros–correlación.

Para la ejecución de este producto entre funciones finitas, y de cara a la determinación del decalaje, no se necesita realizar esta integral entre ± ∞, sino simplemente entre los límites de profundidad de las funciones comparadas. La variable λ va a representar el decalaje entre registros y, en condiciones normales, este valor es menor de 1 metro, por lo que la función de cros-correlación se realiza para valores de λ comprendidos entre –2 y +2 metros.

Este proceso se realiza entre pares de registros, considerando siempre uno de ellos correspondiente a la profundidad real (tomada al inicio de la realización de la diagrafía).

Dada la génesis de los decalajes, dicha cros-correlación no se realiza de una sola vez entre los dos registros completos, sino que se efectúa la comparación de los registros en un número determinado de intervalos de profundidad para, posteriormente, promediar los decalajes obtenidos entre todos ellos y obtener un decalaje medio final. Mediante ensayos sobre los sondeos analizados, se encontró que el número óptimo de intervalos que deben compararse para obtener buenos resultados, es de 1 cada 30 metros. Con más intervalos tendremos mayor precisión pero, también, mayor tiempo de cálculo, siendo 1 intervalo cada 100 metros el número mínimo aceptable. Igualmente, se probaron distintas longitudes para dichos intervalos, encontrando que la longitud óptima es de 20 metros, no siendo recomendable utilizar tramos de longitudes superiores a 40 metros. No obstante, en el programa elaborado para la corrección de decalajes se ha incluido la posibilidad de cambiar dichos valores con facilidad, cuando se analicen sondeos de menor longitud o cuando se requiera una mayor precisión.

La función de cros-correlación entre dos registros producirá un máximo o un mínimo cuando la correlación entre las dos diagrafías sea la mayor posible, y el valor de la variable λ en ese punto nos dará el decalaje entre los registros para el intervalo de profundidad analizado. El que la función de cros-correlación adopte un máximo o un mínimo dependerá de los parámetros que se comparen:

- La cros-correlación entre distintos registros de resistividad tendrá un máximo al decalar los registros hasta los puntos de mayor correlación.
- Entre registros de resistividad y de potencial espontáneo, en cambio, se producirán máximos o mínimos en función de la relación entre la conductividad del agua de las capas y la del lodo. Aunque estos máximos o mínimos puedan tener un valor muy bajo, siguen siendo representativos, puesto que la función de cros-correlación está normalizada.
- Entre registros de resistividad y de radiación gamma, y como base para poder utilizar este criterio en la corrección de decalajes, los niveles con aumento de resistividad se corresponden, para la mayoría de los términos li-

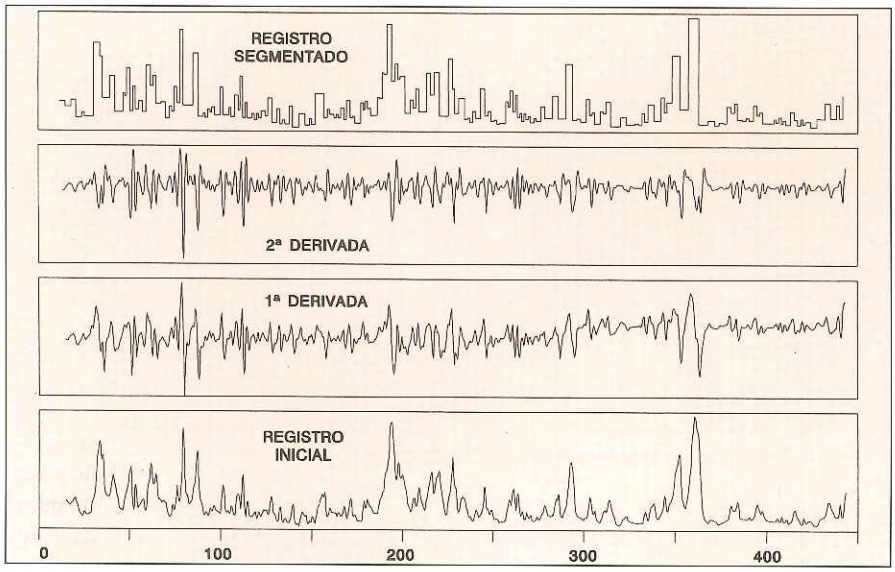


Figura 3. Proceso de segmentación de resistividad lateral en el sondeo Coca 2.

tológicos presentes en los sondeos estudiados, con disminuciones de radiación gamma. Por esta razón al hacer coincidir los registros en cada intervalo, se obtiene un mínimo en la función de cros-correlación.

En la **figura 2** se presentan las funciones de cros-correlación resultantes en los distintos intervalos, entre los registros de resistividad normal (AM=0.4 m) y radiación gamma, en uno de los sondeos utilizados. Como se puede observar, y tal como habíamos dicho, los decalajes no son iguales en todos los intervalos estudiados, lo que arrastrará ciertos decalajes locales que volveremos a encontrar cuando se intenten establecer los límites de las capas paramétricas del sondeo.

3 Segmentación de registros individuales

Consiste en transformar el registro continuo de un parámetro en una serie de límites de profundidad entre los que se determina un valor del parámetro medido. Este proceso se realiza en dos fases diferenciadas:

- Determinación de límites: Delimitación de la profundidad de techo y de muro correspondientes a los distintos niveles determinados por cada parámetro.
- Valor aparente entre límites: Asignar un valor aparente del parámetro registrado en el intervalo de profundidad definido por dichos límites.

Determinación de Límites

El método seleccionado para determinar los límites ha sido el cálculo de los puntos de inflexión de los registros, esto es, a través de los puntos de segunda derivada nula. Posteriormente, estos límites se modifican y/o anulan en función de una serie de criterios, tanto dependientes del parámetro que se trate, como de patrones de transición.

Para llevar a cabo este proceso se diseñó un filtro de derivación, que debe emplearse dos veces para obtener los puntos de inflexión, cuyos coeficientes son:

$$\left(-\frac{1}{2\Delta z}, 0, \frac{1}{2\Delta z}\right)$$

siendo Δz la diferencia de profundidad entre puntos consecutivos (equidistancia con la que está discretizado el registro), que en nuestro caso es $\Delta z = 0.2$ m.

Después de cada derivación se aplica un filtro pasa-baja para eliminar señales de alta frecuencia. Dicho filtro es una función cuadrada de cinco puntos, cuyos efectos de cola son despreciables para esa anchura, aunque en el programa aparece un algoritmo para la utilización del filtro en los bordes, donde ese efecto es mayor.

Dado que, al tratarse de una curva discretizada a intervalos equidistantes de profundidad z_j, las profundidades de los puntos exactos de inflexión no tienen por qué coincidir con una de esas z_j, se toman los puntos consecutivos para los cuales el valor de la segunda derivada cambia de signo. Posteriormente, mediante interpolación lineal entre esos dos puntos, se calcula la profundidad exacta para la cual se anula la segunda derivada y se adopta, como profundidad de inflexión, la del punto más próximo a dicha profundidad.

Los puntos de inflexión encontrados representan los límites matemáticos iniciales de los distintos niveles para cada uno de los parámetros a lo largo del sondeo. En la **figura 3** se han incluido los distintos estadios en el cálculo de las derivadas, para apreciar el correcto funcionamiento del proceso.

El apartado más conflictivo de este método de segmentación lo constituyen las inversiones de resistividad que se producen en las capas de espesor muy parecido a la longitud del dispositivo empleado. Aunque la experiencia demuestra que dicho fenómeno se produce muy pocas veces, para resolverlo en la práctica, lo mejor es utilizar la comparación de los segmentos obtenidos con los distintos dispositivos de resistividad.

Valor Aparente entre Límites

Una vez determinados los límites de cada registro, el valor inicial que suele asignarse a todo el intervalo de profundidad entre éstos, si se trata de límites entre los que aparece un máximo o un mínimo en el registro, es dicho valor extremo. Si se trata de una capa delgada donde no llegue a alcanzarse un extremo local, tomaremos el valor máximo dentro del intervalo en el caso de que el registro presente curvatura positiva, o el mínimo si tiene curvatura negativa.

Para realizar este proceso matemáticamente, si entre los límites fijados la segunda derivada es positiva, se asigna a todo el intervalo el valor mínimo del registro en ese espacio, y viceversa. Para la estimación del signo en todo el intervalo es suficiente tomar el signo en un punto, por lo se ha elegido el punto medio.

En el caso de tratarse de un punto de inflexión que no se encuentre entre extremos locales, lo cual se identifica por el hecho de que el punto de inflexión es a su vez el punto de valor máximo o mínimo (según corresponda), se multiplica dicho valor por un coeficiente próximo a 1. De esta forma se mantiene, en el registro segmentado,

una variación de los valores aparentes entre las dos capas consecutivas, que refleja la variación implícita en el registro inicial.

En la **figura 4** se muestra un intervalo de un registro segmentado que, de forma gráfica, aclara el resultado de la segmentación de registros a los lectores menos familiarizados con la testificación geofísica de sondeos.

Una vez obtenidos los valores del parámetro en cada uno de los segmentos, debemos corregir dichos valores, aún manteniendo el carácter de valor aparente, mediante unos criterios que dependen del parámetro de que se trate (como por ejemplo para el dispositivo lateral multiplicar por 0.8 en el caso de capas resistivas).

En el caso de no proceder a una interpretación cuantitativa, y de cara a la interpretación litológica y a la correlación, los valores aparentes obtenidos pueden sustituirse por valores normalizados para cada registro. La expresión de normalización elegida, de 0 a 100%, viene dada por la expresión:

$100 \cdot [P_{n,j} - Min(n)] / [Max(n) - Min(n)]$

siendo $P_{n,j}$ el valor aparente inicial del parámetro P_n entre los límites (j-1) y j, y Max(n) y Min(n) los valores máximo y mínimo de dicho parámetro.

4. Determinación de capas paramétricas

Una vez segmentadas cada una de las diagrafías, tenemos realizada la conversión de los registros continuos a una serie discreta de límites y amplitudes entre éstos. Dada la génesis de los distintos registros geofísicos, dichas series muestran secuencias que no coinciden ni en carácter ni en amplitud, y los límites determinados por cada parámetro, no definen por sí mismos un nivel que pueda considerarse como capa individualizada.

Por esta razón, a partir de los registros segmentados realizaremos la determinación de las capas «geofísicas» definitivas del sondeo, mediante el estudio de concordancia de los límites y variaciones de amplitud entre los distintos registros. Este proceso se realiza bajo la hipótesis de que todo fenómeno que se refleja en al menos dos parámetros medidos, corresponde a un límite real de capa. El proceso de determinación de las capas paramétricas se efectuará en dos fases:

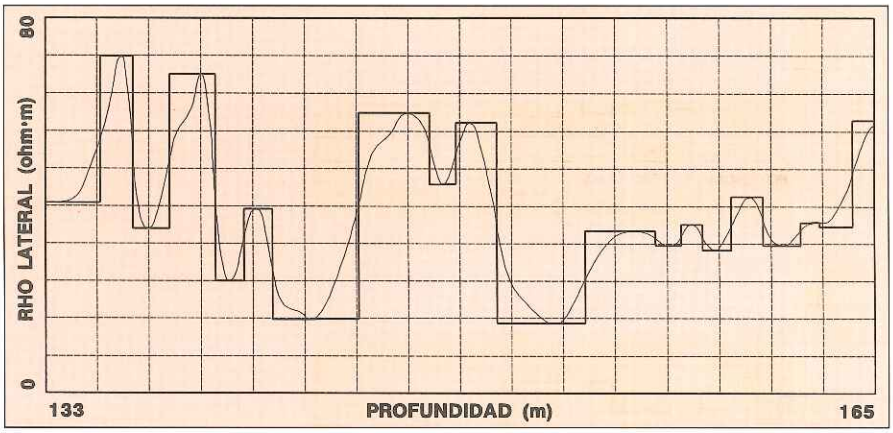


Figura 4. Intervalo de registro segmentado de RLAT

1) En primer lugar se realiza una búsqueda de los límites cuasi-concordantes de los registros ya segmentados de resistividad aparente. En el caso de tener un solo parámetro de resistividad aparente se toman todos los límites determinados en dicho registro como definitivos para la resistividad. Recordemos que para una correcta interpretación de este parámetro, conviene realizar siempre varios registros con dispositivos de resistividad aparente distintos.

2) En segundo lugar se realiza una búsqueda de los límites cuasi-concordantes del conjunto de los registros segmentados, tomando como límites de partida los límites definidos en el paso anterior. En el caso de tener sólo registros de resistividad aparente, lo cual además de inusual no es recomendable, se toman los límites de las capas resistivas como las capas «geofísicas» definitivas del sondeo.

1) Límites de niveles de distinta resistividad

Estos niveles se determinan a partir de los distintos registros de resistividad aparente. Dado que las variaciones de amplitud de cada registro deben tener el mismo signo, pues se trata de curvas que corresponden al mismo parámetro físico, se define una distancia -Dresis- en la que se comparan tanto la profundidad de los límites determinados en cada registro como las variaciones de amplitud que conllevan. Dicha distancia viene dada por:

$$Dresis_{(m,n)}(i,j) = Dprof_{(m,n)}(i,j) \cdot Dsalto_{(m,n)}(i,j) - 1$$

donde

$$Dprof_{(m,n)}(i,j) = 1 + [\, Z_{(m,i)} - Z_{(n,j)} \,]^2$$

$$Dsalto_{(m,n)}(i,j) = 1 + [\, \Delta_{(m,i)} - \Delta_{(n,j)} \,]^2 / [\, Z_{(m,i)} + Z_{(n,j)} \,]^2$$

$$\Delta_{(n,j)} = 100 - [\, P_{(n,j+1)} - P_{(n,j)} \,] / [\, Max(n) - Min(n) \,]$$

siendo $Z_{(n,j)}$ la profundidad del límite j, $P_{n,j}$ el valor del parámetro n en el límite j, y $\Delta_{(n,j)}$ la variacion de amplitud normalizada del parámetro n, en el límite j.

Dsalto varía desde 1 para variaciones de amplitud idénticas, hasta 2 para variaciones muy dispares pero del mismo signo, y es mayor que 2 para variaciones con distinto signo. Dprof varía desde 1 para límites a la misma profundidad, hasta 2 para límites desplazados 1 metro, y es mayor que 2 para desplazamientos superiores a 1 metro.

De esa forma, Dresis varía desde 0, para capas idénticas a la misma profundidad, y sobrepasa el valor de 1 si su valor de parámetro aparente es de distinto signo o sus límites están desplazados más de un metro, por lo que el valor máximo para el cual se considera que ambos registros son cuasi-coincidentes es 1.

Con esta distancia, y tomando como parámetro de referencia el primer registro de resistividad, se comparan los límites de todos los registros de resistividad desde el inicio hasta el final. Debido a los valores que adopta dicha distancia, cada límite del registro de referencia se compara con el resto sólo a profundidades un metro por encima y por debajo, reduciendo así el tiempo de cálculo.

Los límites más parecidos, esto es, aquéllos que presentan un valor de Dresis menor, se adoptan como cuasi-concordantes. Una vez encontrados estos límites, se determinan los límites definitivos calculando el valor medio de las profundidades de los primeros.

Si las profundidades de dichos límites se encuentran próximas (<20

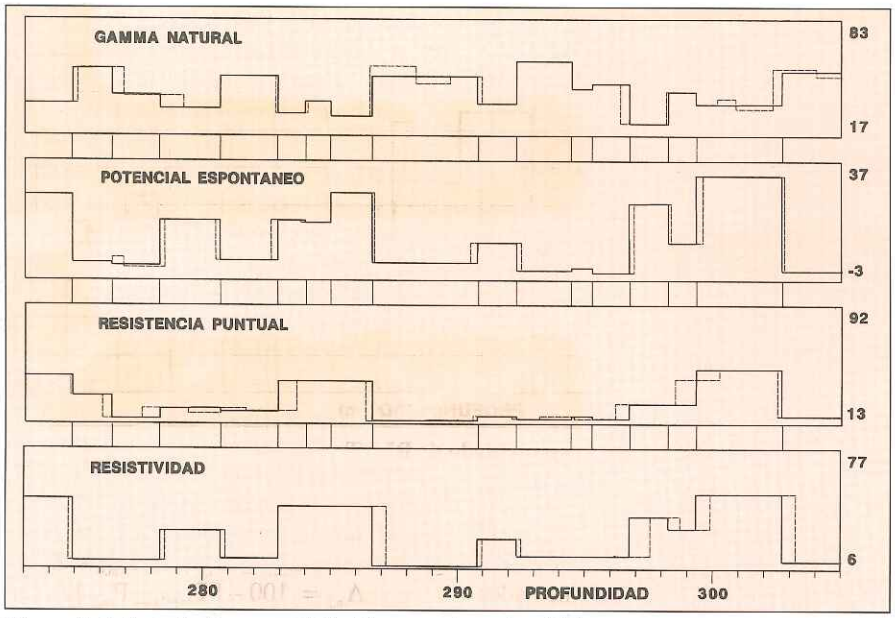


Figura 5. Intervalo de capas definitivas en el sondeo Aldeaseca.

cm) a límites superiores o inferiores determinados con anterioridad, se deforma el registro inicial sólo en torno a dicho límite, de forma que el límite anterior quede desplazado por lo menos 20 cm del nuevo límite.

Posteriormente se disminuye el número de registros de resistividad que se comparan y se van incluyendo límites en los registros en los que no aparezcan límites cuasi-concordantes. Para ello se multiplican los valores de dichos registros en esos intervalos por un coeficiente ($1.05^{-S\Delta 1}$) siendo S_Δ el signo de la variación encontrada en los registros cuasi-concordantes, de forma que las variaciones de amplitud de los registros en los intervalos incluidos no represente una diferencia importante. Estos límites se van añadiendo a los límites definitivos de resistividad.

Este proceso se continua hasta estudiar los límites determinados por una sola resistividad, en cuyo caso sólo se adoptan como límites definitivos para resistividad, aquéllos cuya variacion de amplitud sea suficientemente significativa, tomando como tales las variaciones superiores al 10% del rango total del registro.

El resto de los límites no asignados a un límite definitivo se eliminan asignando, a cada intervalo entre límites finales, la amplitud media en dicho intervalo. Si esta amplitud media mantiene el signo de la variación de amplitud respecto a los segmentos adyacentes, se adopta como definitiva, y en caso contrario se toma la amplitud del nivel más próximo que sí lo mantiene.

Por último, se obvian los límites que definen un espesor inferior a 40 cm, eliminándolos con su correspondiente amplitud, y desestimando capas cuya importancia productiva es despreciable.

2) Límites del conjunto de parámetros

Partiendo de los límites encontrados (que denotaremos con r) en la comparación de registros resistivos, y dado que ahora las variaciones de amplitud de cada registro no tienen por qué tener el mismo carácter, puesto que se trata de registros que corresponden a parámetros físicos distintos, se define una distancia -Dconj- en la que se compara básicamente la profundidad de los límites determinados en cada registro, añadiéndole un coeficiente de peso en función de la similitud entre los espesores de las capas subyacente y suprayacente que definen dichos límites. La expresión utilizada es:

$$Dconj_{(m,r)}(i,k) = Dcesp_{(m,r)}(i,k) \cdot Dprof_{(m,r)}(i,k) - 1$$

donde

$$Dcesp_{(m,r)}(i,k) = 1 + Dcesp^{+}_{(m,r)}(i,k) \cdot Dcesp^{-}_{(m,r)}(i,k)$$

$$Dcesp^{+}_{(m,r)}(i,k) = Log^2 \{ [Z_{(m,i+1)} - Z_{(m,i)}] / [Z_{(r,k+1)} - Z_{(r,k)}] \}$$

$$Dcesp^{-}_{(m,r)}(i,k) = Log^2 \{ [Z_{(m,i)} - Z_{(m,i\_1)}] / [Z_{(r,k)} - Z_{(r,k\_1)}] \}$$

$$Dprof_{(m,r)}(i,k) = 1 + [Z_{(m,i)} - Z_{(r,k)}]^2$$

siendo $Z_{(r,k)}$ la profundidad del límite k encontrado en la comparación de resistividades.

Dcesp varía desde 1 para espesores idénticos a ambos lados, hasta 2 cuando la relación de espesores a ambos lados sea cuatro y sobrepasa el valor de 2 para relaciones de espesores mayores. De esa forma, Dconj toma el valor 0, para capas a la misma profundidad con espesores idénticos a ambos lados, y es mayor que 1 para capas desplazadas más de un metro o cuya relación de espesores a ambos lados sea mayor que cuatro. El valor límite de esta distancia para la cual se considera que ambos registros son cuasi-coincidentes es, entonces, 1.

Utilizando esta distancia se comparan los límites de resistividad con los límites adyacentes del resto de los registros, tomando en el caso de que varios presenten un valor menor que la unidad, el que mantenga menor distancia.

Posteriormente se buscan los límites definidos únicamente por parámetros no resistivos, para los que sólo se comparan las profundidades de dichos registros definiendo una nueva distancia -Dnores- mediante:

$$Dnores_{(m,n)}(i,j) = [Z_{(m,i+1)} - Z_{(m,i)}]^2$$

Todo estos pasos para el conjunto de parámetros se realizan de forma análoga a los descritos para el caso de registros de resistividad.

En la **figura 5** se presenta un ejemplo de intervalo en el que se han determinado las capas paramétricas en uno de los sondeos estudiados, y donde las columnas entre los registros representan los límites finales. Las líneas con trazo discontinuo representan los registros segmentados por separado, mientras que las líneas en trazo continuo corresponden a los límites y valores definitivos de los parámetros medidos.

Como puede comprobarse en la figura 5, no todos los registros tienen la misma resolución a la hora de detectar interfases entre estratos distintos, observando, como decíamos al principio, interfases que no presentan diferencias en el valor de algunos parámetros físicos. También se pueden apreciar, en algunos registros, segmentos que no definen capas paramétricas definitivas,

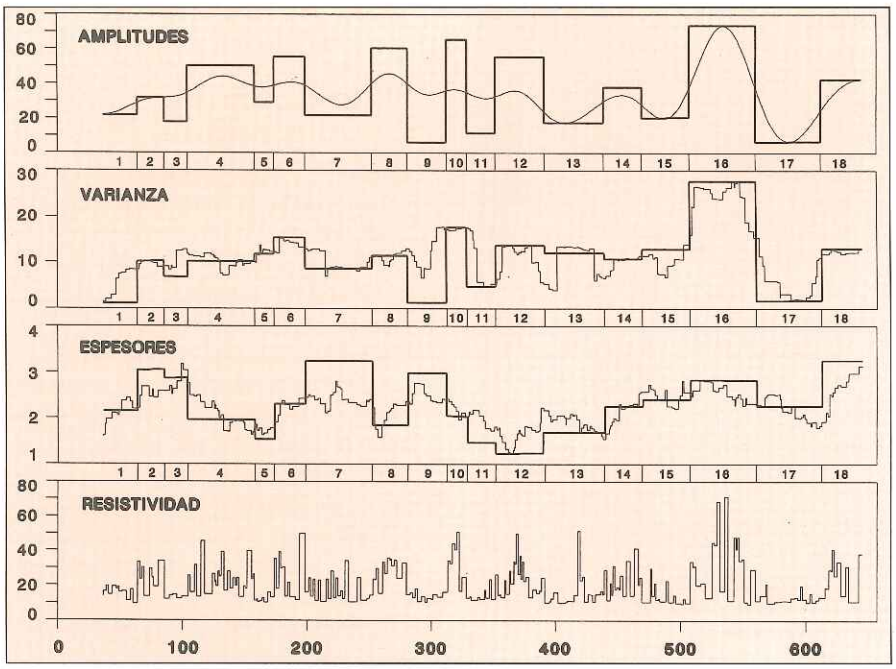


Figura 6. Tramos determinados en el sondeo Moraña 2.

quedando entonces como variaciones de carácter aislado.

En cambio, la combinación del conjunto de los registros determina una distribución de capas idónea, al menos en lo que a carácter paramétrico se refiere, que mantiene todas las variaciones significativas de cara a las correspondientes capas litológicas o a capas con propiedades físicas diferenciadoras (como sería el caso de niveles permeables de igual litología pero saturados con agua de distinta salinidad).

5. Zonación

Para determinar los tramos de las diagrafías, se efectúa un análisis estadístico del registro inicial y de la curva segmentada de resistividad. El tipo de ventana elegido para realizar este estudio, es de anchura fija igual a 14 veces el espesor medio de las capas del sondeo (en las diagrafías estudiadas corresponde a un espesor medio de 25 metros). Esta elección se adoptó después de probar tanto ventanas fijas de distintos espesores (entre 5 y 50 metros) como ventanas acumuladas. También se realizaron pruebas mediante el estudio, para cada punto, de la diferencia de valores entre ventanas fijas opuestas.

Una vez elegido el tipo de ventana de estudio, se realiza, en primer lugar, un estudio de varianza del registro segmentado. A continuación se lleva a cabo un análisis de frecuencia de la curva, mediante el cálculo del espesor medio de las capas (equivalente a la longitud de onda, e inverso al número de ceros) a lo largo del registro segmentado. Por último se efectúa un estudio de la variable valor medio del registro inicial, para lo cual se realiza primero un fuerte suavizado del registro y posteriormente se segmenta siguiendo pasos análogos a los descritos en segmentación.

Estos procesos plantean problemas en los extremos de la curva, por lo que, para no perder la información en los bordes, se ha modificado la anchura de la ventana de estudio para los cálculos de varianza y frecuencia, haciéndola decreciente hasta cero en los extremos. Para los cálculos de valor medio, la influencia de la anchura de ventana en los extremos del registro es aún mayor, por lo que se ha elaborado un filtro de tipo potencial decreciente cuyos coeficientes son función de dicha anchura.

Dado que las variables estudiadas son de índole muy diversa no tiene sentido realizar una búsqueda de límites comunes para todas ellas, sino que se toman de partida los límites encontrados para la variable valor medio y se añaden los límites que determinan las variables varianza y frecuencia, en aquellas profundidades donde se aprecien variaciones especialmente significativas de esas dos variables.

Una vez determinados los límites definitivos de los tramos, se recalculan los valores de varianza, frecuencia y valor medio para cada uno de ellos, esta vez con ventanas de anchura iguales al espesor de cada tramo.

La caracterización de tramos se efectúa mediante la asignación de la media de cada una de las variables estudiadas. La variable valor medio se normaliza de 0 a 100% respecto al rango total del registro inicial, para minimizar la influencia de las características del sondeo (diámetro, lodo de perforación, ...). La variable varianza se normaliza entre 0 y 1, y los espesores medios de las capas en cada tramo quedan sin normalizar.

En la **Figura 6** se muestra un ejemplo de los tramos definidos de forma automática en uno de los sondeos estudiados. En ese gráfico vemos cómo de las variables analizadas, es el estudio de amplitudes el que mejor define los tramos de la diagrafía. No obstante, las variables de espesores y varianza deben emplearse como apoyo a la hora de caracterizar los tramos determinados en el sondeo. También debemos señalar que, aunque el estudio de espesores (equivalente al de frecuencias) no determina tramos con sentido físico, sin embargo, puede producir una subdivisión con un determinado carácter sedimentológico.

Con objeto de señalar un primer sentido geológico de los tramos geofísicos, y aunque en esta comunicación no se describen los métodos de interpretación litológica de las distintas capas (Díaz Curiel, 1996), se presenta en la tabla 1, la caracterización litológica simplificada de los tramos determinados en el sondeo de la **figura 6.**

Tramos	Caracterización litológica
1, 3, 5, 7, 11, 13 y 15	Alternancia de niveles de Arcillas y Limos
2, 4, 6, 8, 12, 14 y 18	Series de Arenas y Limos con intercalaciones de Arcillas
9 y 17	Paquetes de Arcillas con algunas pasadas de Limos
16	Alternancia entre niveles bien diferenciados de Gravas y Limos

Tabla 1. Caracterización litológica de los tramos obtenidos en el sondeo Moraña 2

6. Conclusiones

Los procesos de segmentación de diagrafías, que a la vista de técnicos no especializados y con el detalle con el que se ha expuesto, pueden resultar un tanto áridos, concluyen con una columna del sondeo en la que los registros continuos de parámetros físicos, se transforman en una serie de capas o estratos con los correspondientes valores de cada uno de dichos parámetros.

Este es el primer paso para la posterior obtención de ciertas propiedades más relevantes de dichas capas, como son su porosidad, permeabilidad, contenido en arcillas, calidad del agua de la formación, densidad, humedad, ...etc., lo cual, además de su propio interés, nos permitirá, finalmente, realizar la consiguiente asignación litológica.

Por otro lado, la determinación automática de los tramos de una diagrafía establece una subdivisión que, en la mayoría de los casos, es muy difícil de alcanzar de forma personalizada, con la ventaja añadida de que todos los tramos están determinados empleando el mismo criterio y no dependen del interpretador. El conocimiento de la distribución de los tramos de un sondeo tiene, entre otras, las siguientes aplicaciones:

Una primera utilidad radica en la posibilidad de utilizar dicha distribución de tramos de cara a la correlación de sondeos, sobre todo en grandes cuencas detríticas multicapa, donde la continuidad lateral de los tramos es mucho mayor (Díaz Curiel, 1996).

Además, aunque el número de tramos obtenidos (entre 15 y 20) sea aún algo elevado, la subdivisión de sondeos profundos resulta especialmente interesante en medios sedimentarios heterogéneos y anisótropos, pues facilita una abstracción y visión objetiva de conjunto, que permite su análisis e interpretación global de cara a múltiples aplicaciones geológicas y técnicas (análisis crono-estratigráfico de cuencas, hidrogeología, geotecnia, minería, etc.).

Un último aspecto destacable es la importancia que tienen en la identificación de las formaciones acuíferas en sondeos para captación de agua, en el conocimiento hidrogeológico y la gestión de los recursos hídricos de una cuenca, así como en la información que representa para la ubicación y planificación de sondeos en el área de estudio.

Una vez completado el presente sistema de zonación, y de cara a conseguir un mayor sentido geológico de los tramos geofísicos, pensamos que el siguiente paso sería establecer e incluir, de forma matemática, el carácter de las secuencias sedimentarias (positivas o negativas) dentro de cada tramo, para aumentar el grado de información que aportan las diagrafías.

Por último, quisiéramos señalar que, aunque los programas elaborados se han aplicado sobre sondeos de captación de agua subterránea, éstos podrían utilizarse igualmente en todo tipo de sondeos, independientemente de la finalidad a la que están destinados.

Bibliografía

ALONSO SÁNCHEZ, Teresa (1986): «*Aplicación de las Diagrafías a la Estratigrafía y, en particular, a la Investigación del Carbón*». Tesis Doctoral, E.T.S.I. Minas, Universidad de Oviedo.

BASEVILLE, M. & BENVENISTE, A. (1983): «*Sequential Detection of Abrupt Changes in Spectral Characteristics of Digital Signals*». IEEE Transactions on Information Theory, vol. 29, nº 5, 709–724.

BASEVILLE, M. & BENVENISTE, A. (1983): «*Design and Comparative Study of some Sequential Jump Detection for Digital Signals*». IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-31, nº 3, 521–535.

BRANISA, f. (1974): «*Filtering of Well-Log Curves*». Geophysics, vol. 39 (august), 545–549.

CHANDU, S.N. & SAHU, B.K. (1989): «*Role of Statistics and Cross-plots in Zonation of Well Logs*». Geophysical Research Bulletin, vol. 27, 115–126.

CHEN H.C. & FANG, J.H. (1986): «*A Heuristic Method for Optimal Zonation of Well Logs*». Mathematical Geology, vol. 18, 489–500.

CHOUINARD, P.N. & PAULSON, K.V. (1988): «*A Markov-Gauss algorithm for blocking well logs*». Geophysics, vol 53, nº 8, 1118–1121.

DÍAZ CURIEL, J.M. (1996): «*Interpretación y Correlación Automáticas de Diagrafías Geofísicas. Aplicación a la Hidrogeología en el Sur de la Cuenca del Duero*». Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

FOSTER, M.R. HICKS, W.G. & NIPPER, J.T. (1962): «*Optimum Inverse Filters which Shorten the Spacing of Velocity Logs*». Geophysics, vol. 27 (june), 317–326.

GILL, D. (1970): «*Application of a Statistical Zonation Method to Reservoir Evaluation and Digitized Log Analysis*». American Association of Petroleum Geologists Bulletin 54, 719–729.

HARBAUGH, J.W. & MERRIAM, D.F. (1968): «*Computer Applications in Stratigraphic Analysis*». John Wiley, New York.

HAWKINS, D.M. & MERRIAM, D.F. (1973): «*Optimal Zonation of Digitized Sequential Data*». Journal of Mathematical Geology vol 5, 389–395.

HAWKINS, D.M. & MERRIAM, D.F. (1974): «*Zonation of Multivariate Sequences of Digitized Geologic Data*». Journal of Mathematical Geology vol. 6, 263–269.

HAWKINS, D.M. & MERRIAM, D.F. (1975): «*Segmentation of Discrete Sequence of Geological Data*». Geol. Soc. Am. memoir 42, 311–315.

HAWKINS, D.M. & TEN KROODEN, J.A. (1979): «*Zonation of Sequences of Heteroscedastic Multivariate Data*». Computer and Geosciences, vol. 5, 189–194.

LANNING, N. & JOHNSON, D.M. (1983): «*Automated Identification of Rock Boundaries: An application of the Walsh Transform to Geophysical Well Log Analysis*». Geophysics, vol 48, feb, 197–205.

LIU, H.H. & FU, K.S. (1982): «A Syntactic pattern recognition Approach to Seismic Discrimination». Geoexploration, vol. 20, 183–196.

MOGHADDAMJOO, A. (1989): «*Constraint Optimum Well-Log Signal Segmentation*». IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 27, nº 5, 633–641.

PAVLIDIS, T. (1980): «*Linguistic Analysis of Wave forms in Pattern Recognition and Artificial Intelligence*». C.H. Chen Eds. 389–398, Academic Press, New York.

RADHAKRISHMAN, S.; SRIKAMTH, G. & MEHTAC, H. (1991): «*Segmentation of Well-Logs by Maximum Likelihood Estimation the Algorithm and Fortran-77 Implementation*». Computer and Geosciences, vol 17, nº 9, 1173–1196.

SHAW, B.R. & CUBIT, J.M. (1979): «*Stratigraphic Correlation of Well Logs: An Automated Approach*». Geomathematical and Petrophysical Studies in Sedimentology, Gill and Merriam Eds. Pergamon Press, Oxford.

SOUDER, W.W. and PICKET, G.R. (1974): «*A Computerized Method for the Zonation of Digitized Well Logs*». The Log Analyst, vol. 18, 3–8.

STEPHANOU, H.E. (1979): «*Multilevel Syntax Analysis for Geological Data Compression*». Instrument Society of America Transactions vol 18, 101–104.

TESTERMAN, J.D. (1962): «*A Statistical Reservoir-Zonation Technique*». Journal Petroleum Technology, vol. 14, p. 889–893.

WEBSTER, R. (1973): «*Automatic Soil Boundary Location from Transect Data*». Journal of Mathematical Geology, vol 5, 27–37.

VERMEER, P.L. & ALKEMADE J.A. (1992): «*Multiscale Segmentation of Well-Logs*». Mathematical Geology, vol 24, nº 1, 27–43.

WU, X. and NYLAND, E. (1987): «*Automated Stratigraphic Interpretation of Well-Log Data*», Geophysics, vol 52, nº 12, p. 1665–1676.

Las publicaciones periódicas españolas sobre Geología

Gutiérrez Gárate, Margarita

Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
Ríos Rosas, 23
28003 Madrid
biblioteca@plan.itge.es

Escorza, C. Martín

Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC
José Gutiérrez Abascal, 2
28006 Madrid
escorza@mncn.csic.es

Alcalá, Berta

Cemat. Pol. Ind. Campollano.
02006 Albacete.

En este trabajo se ha realizado un análisis cronológico de las revistas científicas españolas sobre Geología. Para ello, y en primer lugar, se han determinado las revistas que cumplen todas esas condiciones. Es decir, se ha tratado de elaborar la relación más amplia posible de revistas españolas en las que en sus páginas incluyan artículos científicos que tengan contenido geológico, en parte o en su totalidad. En dicha lista se ha considerado, para cada revista, su año de inicio y, en su caso, final.

La variación de estas fechas ha puesto de manifiesto que en el transcurso de los años hay una tendencia general de progresivo crecimiento en el número de revistas activas, con alguna época de extinción masiva. Algunas revistas han sobrevivido más de doscientos años, resistiendo los acontecimientos históricos, algunas veces desfavorables, que han hecho desaparecer a otras publicaciones.

The chronology of the scientific spanish publications about geology has been analyzed in this work. As a first step the journals that fulfill these conditions have been determined. It has been tried to elaborate the most complete relation of spanish papers as possible, which includes scientific articles with geological interest, partlly or totally. In this list has been considered, for each paper, the year of outset and final when the publication has disapear. The variation of these data show the general trend to the increase of these papers in the time, with some periods of massive extincion. Some journals have survived over two hundred years despite of the desfavorable historical events, in some cases, which have caused the finallization of other publications.

Introducción

La historia de la Ciencia en España puede ser estudiada a través de diferentes aspectos: de las biografías de los personajes que intervinieron en su desarrollo, por medio de la evolución de sus conocimientos, etc. En este trabajo se pretende contribuir a ella con el análisis de la distribución cronológica que presentan en España las revistas científicas de geología. El uso de estas publicaciones periódicas para el intercambio del conocimiento científico cuenta ya con casi 200 años y la historia de la Ciencia empieza a prestar atención a este instrumento que hasta ahora se ha mostrado tan eficaz en su función.

Una primera relación de revistas sobre Geología se realizó en 1988 considerando las activas en ese momento (Alcalá y Escorza, 1988). La identificación de una revista como científica no tiene porqué ser un proceso fácil, pues hay publicaciones de alta divulgación, incluso divulgativas, cuya frontera con artículos científicos de síntesis es difícil delimitar. En este trabajo se ha tratado de encontrar la más amplia relación posible de revistas españolas que en sus páginas incluya en parte o en su totalidad artículos de interés geológico. A partir de esa lista y haciendo uso de las fechas de inicio y, en su caso final, se ha puesto de manifiesto como varían ambas a lo largo del tiempo. A través de las distintas gráficas elaboradas se observa que hay épocas de 'extinciones masivas', aunque la tendencia general es de progresivo crecimiento. Algunos de los rasgos que se han detectado son la perdurabilidad de ciertos títulos durante casi doscientos años, resistiendo los avatares históricos que han afectado a otras publicaciones.

Los resultados muestran que en la última década se ha producido un cambio radical en esta tendencia, sobre cuya interpretación se avanzan algunas hipótesis.

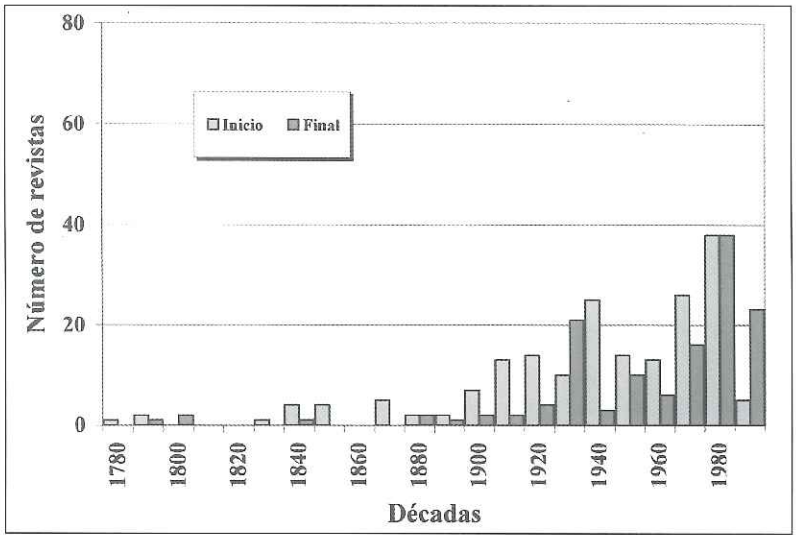


Figura 1. - Variación por intervalos de 10 años del inicio y fin de las revistas científicas españolas sobre temas de geología.

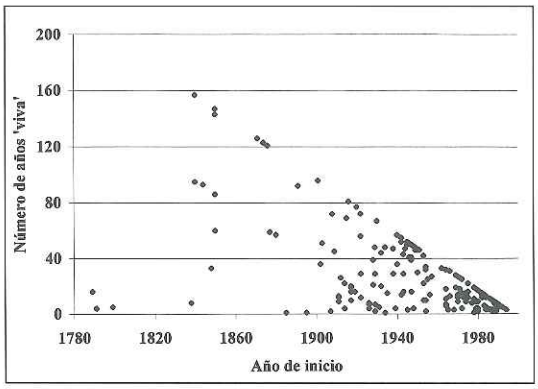


Figura 2. - Distribución a lo largo del tiempo (1790-1997) de las 185 revistas científicas españolas identificadas. Cada punto corresponde a un título. La alineación oblicua que corta al eje de abscisas en 1939 corresponde a la 'extinción' casi masiva ocurrida entonces; la que lo corta en 1997 agrupa a las que han llegado activas hasta ese año, que es el último que recoge este trabajo.

Metodología

Se debe decir en primer lugar que se ha considerado el concepto 'geología' para dar una etiqueta temática bien conocida al trabajo, pero en realidad se recogen los títulos que incluyen artículos sobre cualquiera de las disciplinas del área de las Ciencias de la Tierra. Esta amplitud de punto de vista está en consonancia con la tendencia interdisciplinar de los trabajos que se pone de manifiesto en la actividad científica más actual, tanto en colaboraciones como en las áreas en que se subdividen los Congresos y Reuniones Científicas (Gutiérrez *et al.* , 1996).

El trabajo se basa en la recopilación del mayor número de revistas publicadas en España que cumplen las condiciones antes citadas. Para ello se han revisado diversos catálogos y bases de datos. Así, por ejemplo, se ha extraído información del catálogo publicado por la *Real Sociedad Española de Historia Natural*, (RSEHN, 1988), en el que se relacionan sus fondos bibliográficos de revistas que dicha sociedad científica ha ido obteniendo desde hace más de 125 años por intercambio de su *Boletín*. También se ha utilizado la obra de López de Azcona (1961) donde recoge detalladamente las ediciones de la *Comisión del Mapa Geológico de España,* y de la Institución heredera, el *Instituto Geológico y Minero de España*, hoy ITGE.

Se han completado estas relaciones con la revisión de otros catálogos, como los publicados por diversas universidades: Complutense de Madrid (FCG, 1992; UCM, 1993), Politécnica de Madrid (UPM, 1989), ETSIMM (1996), de Zaragoza (FCUZ, 1995); y de otros organismos públicos como el ITGE (1988), la Biblioteca Nacional (1987) y, además de los que con soporte magnético existen en el CSIC (1991). En todos ellos puede obtenerse información de la existencia de publicaciones periódicas con interés para las Ciencias de la Tierra.

Según los datos que se ha dispuesto las revistas actualmente vivas que tienen más antigüedad –nacidas todas antes de 1880– son con el nombre actual las siguientes: *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona; Revista de la Real Academia de Ciencias, Físicas y Naturales de Madrid; Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Boletín Geológico y Minero, Boletín de la Real Sociedad Geográfica* y cabe incluir también al *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza* que vio interrumpida su publicación en 1939 pero que ha renacido después, sólo hace unos años, iniciando su segunda época.

Resultados

Desde el final del siglo XVIII hasta la actualidad se han recopilado un total de 185 revistas científicas españolas que incluyen temas geológicos; de todas ellas 54 se mantienen en la actualidad. Es decir, aproximadamente 2/3 de ellas han desaparecido con el devenir histórico. Pero no todas iniciaron ni finalizaron su actividad a la vez; cada una de ellas tiene su inicio y fin independientemente de las demás, aunque en este trabajo se plantea la existencia de algunas pautas de comportamiento, quizá en relación con factores externos, que han provocado la aparición o extinción en grupos de las mismas. El análisis de cómo se han producido estos acontecimientos durante estos casi dos siglos se ha realizado desde los siguientes puntos de vista.

Distribución de las frecuencias de inicio y fin por intervalos temporales

La variación del número de estas revistas que se crean y desaparecen, agrupados los datos por períodos superiores a un año, indicará la evolución de los acontecimientos de forma más destacada al recoger mayor número de casos en cada período. Eligiendo, por ejemplo, un intervalo de diez años pueden observarse (Figura 1), algunos rasgos destacados:

a) Desde inicio del siglo XX hasta el período 1930-40, hay un crecimiento de revistas que se crean y un número escaso que desaparecen. Para este ciclo, la relación entre las revistas de nueva creación a las que terminan es la más alta de todos los tiempos.

b) En el período 1930-1940 hay un doble resultado, por una parte siguen los nacimientos de nuevas revistas, que naturalmente corresponde al intervalo anterior a la Guerra Civil; y hay también una extinción notable de otras tantas quye se produce en los años 1936-1939.

c) Acabada la Guerra Civil, se incrementa el número de nuevas revistas que inician su actividad.

d) Desde 1950 a 1990, el ritmo de salida de nuevas revistas se mantiene en progresión creciente, a la vez que el de revistas que desaparecen va disminuyendo. Esto da lugar al crecimiento que se observa en la figura 1 durante este ciclo.

e) Desde 1990 el número de nuevas revistas es muy pequeño, con un fuerte descenso desde el período anterior.

Perdurabilidad del conjunto de las revistas

La observación de cómo se distribuye el inicio y, en su caso, el final del conjunto de las revistas (Figura 2) muestra algunos hechos:

a) Entre 1910 y 1930 nacieron varios títulos, la mayoría de vida efímera, pues antes de 1930 ya habían desaparecido.

b) Los años de la Guerra Civil (1936-39) dieron lugar al cierre de revistas que ya llevaban casi 100 años publicándose.

c) Entre 1950 y 1960 finalizaron su vida un cierto número de revistas que se habían fundado por los años 1920-30. Otras, que en aquella década iniciaron su andadura, también desaparecieron, con apenas 10 años de existencia.

d) Desde 1960 a 1970, época de claro desarrollo económico y social en España, surgieron revistas, pero también la mayor parte de ellas llegaron a su fin dentro de la década; desaparecieron también algunas que ya tenían más de 50 años.

e) En los últimos 20 años aparece una selección de supervivientes que han superado todas las crisis anteriores y que son verdaderos testimonios y testigos del progreso científico ocurrido desde hace más de 100 años en España. También han surgido algunos títulos nuevos.

Número de revistas activas por año

Cada año ha habido un cierto número de revistas científicas activas. Su variación a lo largo del tiempo nos muestra (Figura 3) que ha habido un progresivo aumento de las mismas hasta los últimos diez años. El hecho era esperado, ya que también en esta disciplina cabe suponer que se cumpla la ley de crecimiento de la literatura científica de Price (1956).

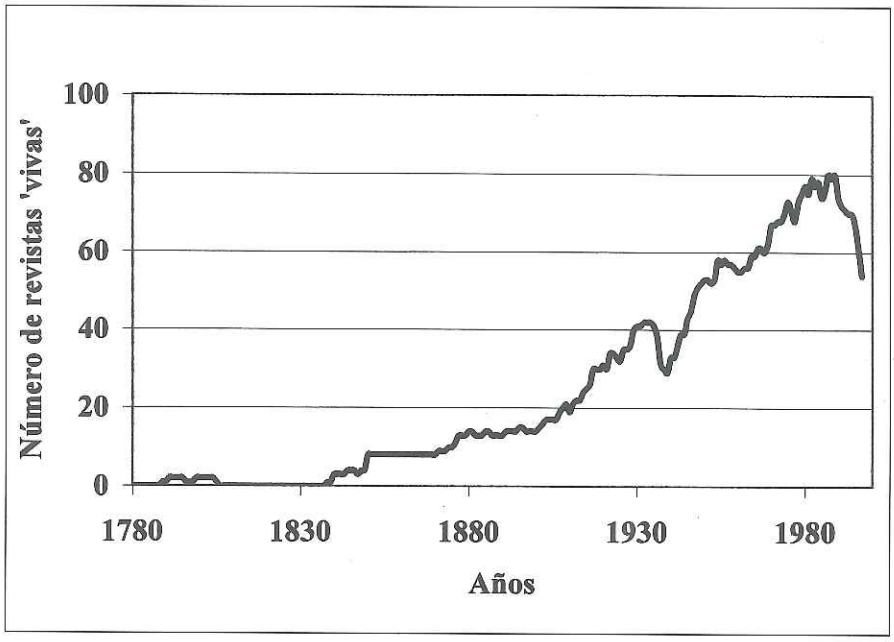


Figura 3. - Variación del número de revistas españolas científicas sobre geología activas por año, desde que se tiene noticia de la primera hasta la actualidad.

Pero además quedan patente otros hechos, algunos quizá también predecibles. Es el caso del descenso que se produce por causa, sin duda, de la Guerra Civil durante el período comprendido entre 1936 y 1939. Menos imaginable es la bajada que se detecta unos años antes de 1960. Y quizá para unos esperado y para otros sorprendente es el descenso que se dibuja desde 1989 y que parece marcar y caracterizar la realidad de los años más actuales.

Discusión

Los resultados que se han mostrado reflejan que desde hace casi 200 años el crecimiento del número de revistas españolas sobre Geología ha sido creciente. Sin embargo, como queda reflejado claramente en la figura 3, el resultado más sobresaliente es el que señala cómo a partir de 1990 este ritmo ha sido truncado y cambiado de signo para pasar a ser rápidamente decreciente. La explicación de este hecho seguramente está basado en una clara reacción a los cambios que se han producido en la evaluación de la producción científica con la consiguiente respuesta sociológica de los científicos. En efecto, un reciente estudio, que toma en consideración toda la producción científica española, indica que al inicio de la década de 1980-90 se produce en España un auge en el número de trabajos científicos publicados (Pujol, 1997), pero los artículos de todas las especialidades empiezan a ser mayoritariamente dirigidos hacia revistas internacionales (López Ruiz, 1991).

Es al tomar este trayecto de internacionalización cuando se produce un incremento notable del factor de impacto y aumenta el número de citas de los artículos realizados por científicos españoles. Este proceso fue probablemente motivado por el incentivo que supuso la evaluación del personal investigador que desde entonces se realiza precisamente a través del índice de impacto que calcula el ISI (*Institute for Scientific Information*, Filadelfia, Estados Unidos). A ello se unió el hecho de que desde 1983 a 1990 se produjo en España un considerable incremento del % del PIB destinado a la investigación, ya que pasó de 0,6 a 0,92 en dicho período, y el número de investigadores lo hizo desde el 1,0 al 2,5 por 1000. Todo ello ha supuesto que, respecto a la investigación, España ocupará el cuarto lugar en Europa y el undécimo del conjunto mundial (Jáuregui, 1994). Un crecimiento que podría compararse al que se detectó en Taiwan (Lawson, 1994) casi durante los mismos años. Todos estos datos de carácter positivo con cifras globales facilitadas por el mismo ISI contrastan con el desánimo que parece se generó como consecuencia de estas reformas en algunos grupos de investigadores (Gil-Albert, 1994).

Estos resultados se han detectado en el ámbito de las Ciencias de la Tierra pero desconocemos si se encuentra reflejado de la misma manera en otros campos de la investigación. No es extraño que las Ciencias de la Tierra, que suele tener uno de los niveles más bajos de atención presupuestaria, como sucede por ejemplo en Alemania (Abbot, 1993), sea más sensible a los cambios bruscos en la orientación de las políticas de investigación, por lo que no podemos afirmar que estos resultados sean extrapolables a otros sectores.

Del mismo modo, tampoco conocemos si estos nuevos conceptos y comportamientos acerca de donde llevar a publicar los trabajos han influido en otras cuestiones tales como el posible aumento o disminución de patentes, hallazgos, resolución de problemas industriales, sociales, etc. Incluso también habría que considerar hasta qué nivel de la escala geográfica se puede hablar de relación entre esas posibles causas y los efectos que aquí se han puesto de manifiesto, pues quizá en las interpretaciones debería tenerse en cuenta los factores regionales como, por ejemplo, se observa en Gran Bretaña (Ojasoo *et al.*, 1994). Es posible que las Ciencias de la Tierra, al tener una fuerte componente local en sus objetivos de investigación, haya tenido siempre un número de revistas mayor que otros ámbitos de investigación en los que los asuntos más cercanos son temas independientes del lugar en que se trabaja y de los propios recursos naturales próximos. Por todo ello es posible que los cambios en unos ámbitos afecten de una forma diferente a los otros.

En cualquier caso, la caída observada desde 1989 (Figura 3) es importante y puede ser interpretada desde muchos puntos de vista. Quizá los más comunes y generales sean, al menos, estos dos:

a) El carácter cada vez más global de la comunicación provoca una preferencia a publicar en revistas internacionales, lo que se refleja en un brusco descenso en el número de revistas nacionales.

b) Desaparecen las revistas nacionales que no tienen suficiente calidad para soportar la competencia que los mismos científicos les otorgan.

Si la tendencia correcta fuera la de la primera interpretación tendría como consecuencia el que este importante descenso fuera cada vez más profundo, e incluso más rápido; en los principios del siglo XXI pudiera no existir ninguna revista científica española sobre temas geológicos. Además, el fenómeno parece estar acelerado por la devaluación progresiva que los autores europeos de habla no inglesa hacen de las revistas en idiomas distintos al inglés, ya que suelen citar con notable preferencia los trabajos en inglés sobre incluso los de su lengua nativa (Abbot & Butler, 1993).

De ser cierta la segunda interpretación daría un porcentaje de posibilidades para la supervivencia de algunas revistas, aquellas que los mismos investigadores decidieran mantener. De ser así, el posible acuerdo no se haría por votación o se decidiría en una reunión, sino que estaría supeditado a recursos económicos y estos se podrían conseguir de dos maneras:

b.1) Por una subvención que garantizase la permanencia de una determinada revista, sea cual fuere el 'índice de impacto' que consiguiera. Esto provocaría una afluencia de trabajos que presumiblemente, ante posibles recortes económicos y desaparición de otras publicaciones, iría incrementándose; con ello se generaría la necesidad de más subvención y así, quizá, sucesivamente. El proceso daría lugar a una dependencia de aportes económicos crecientes cuyo origen externo (de agencias gubernamentales, o de entidades privadas patrocinadoras) estaría cada año sometido a revisión y riesgo de continuidad.

b.2) Mantenimiento de la revista por soporte de las cuotas a través de asociaciones. Los autores activos y potenciales decidirían mantener la edición, asimismo sin atender al 'índice de impacto' de la revista. Toda dependencia con el exterior desaparece y son los propios autores y socios los que soportarían los gastos.

Los datos actuales (Rey *et al.*, 1997) indican que se está implantando el modelo b.2, ya que los autores del ámbito que publicaron en 1990-94 prefirieron hacerlo en revistas nacionales, la mayoría de las cuales están sostenidas por grupos privados (asociaciones científicas, profesionales, cuotas de congresos, etc.).

Conclusiones

Desde hace 200 años los trabajos sobre Ciencias de la Tierra en España se han venido publicando en su mayoría en las 185 revistas que se han originado para tal fin en el propio país. A lo largo de este tiempo se observa un progresivo crecimiento del número de ellas activas por año, en clara sintonía con el progreso económico y científico que ha tenido lugar. Dentro de este progreso general se detectan, como no podía ser otra manera, la existencia de períodos críticos, no sólo para el trabajo científico, sino también para el conjunto de la sociedad, como es sobre todo el paréntesis de la Guerra Civil española (1936-39) durante el cual desaparecen un buen número de títulos de revistas científicas.

Es de señalar que desde hace unos diez años se observa un evidente descenso del número de revistas científicas de carácter pronunciado, cuya permanencia durante más tiempo puede dar lugar a que sólo unas pocas publicaciones sobrevivan a este fenómeno. Revistas tales como el *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* y el *Boletín Geológico y Minero*, que han perdurado durante más de 150 años, se pueden ver sometidas a estos avatares de difícil pronóstico. Las causas de este descenso brusco hay que situarlas en el proceso actualmente vigente de la tendencia a publicar en revistas de otros países que tienen un carácter más internacional. Con ello se busca alcanzar, tanto en el nivel profesional individual como en el colectivo, un mayor índice de impacto, lo cual provoca que la redacción de los trabajos se haga en inglés (que es firme candidato a permanecer como 'lingua franca' de la ciencia) y el envío de los mismos a editoriales de los países sajones, quizá con perjuicio para la difusión y aprovechamiento de esos trabajos por parte de empresas españoles que de tener más accesibilidad a ellos los conocerían y aplicarían más rápida y eficazmente.

Aunque todavía existen activas 54 revistas, la tendencia que se ha perfilado es muy posible que se asiente en el futuro, pues se observa que hay una preferencia en los jóvenes investigadores para realizar sus tesis doctorales o trabajos postdoctorales en los países de habla inglesa. Un dato en contrapunto de estas tendencias, y que podría llegar a frenarlas, es el de que durante los últimos años muchos autores hayan elegido enviar sus trabajos a revistas nacionales.

Agradecimientos

A José Pedro Calvo Sorando y Juan José Duran Valsero por la revisión del manuscrito y sugerencias.

Referencias

Abbot, A. (1993): Budgetary pressures squeeze German research institutes. *Nature*, 363, 292.

Abbot, A. and Butler, D. (1993): Working in a wider Europe. *Nature*, 363, 751-754.

Alcalá Martínez, B. y Escorza, C. M. (1988): Actuales publicaciones periódicas españolas de Geología. *Geogaceta*, 5, 97-98. Madrid.

BN (1987): *Revistas españolas con ISSN*. Biblioteca Nacional. Madrid.

CSIC (1991): *Catálogos informatizados de la Red de Bibliotecas del CSIC (CIRBIC)*. Revistas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.

ETSIMM (1996): *Catálogo de publicaciones periódicas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Universidad Politécnica. Madrid.

FCG. (1992): *Catálogo de las publicaciones periódicas de la Facultad de Ciencias Geológicas*. Universidad Complutense. Madrid.

FCUZ (1995): *Catálogo de revistas*. Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad de Zaragoza. Zaragoza..

Gil-Albert, F. (1994): Desmanes en las evaluaciones. *El Mundo*, 222, 30. Madrid.

Gutiérrez, M.; Alcalá, B. y Escorza, C. M. (1996): Panorama de la investigación geológica en España a través de sus Congresos nacionales (1984-88-92). *Geogaceta*, 20, 6, 1437-1440. Madrid.

ITGE (1988): *Catálogo de revistas*. Instituto Tecnológico y GeoMinero de España. Madrid.

Jaúregui, P. (1994): Entrevista: José María Mato. *El Mundo*, (4/10/94), 21. Madrid.

Lawson, M. (1994): Citation analysis confirms Australian science's declining influence. *Nature*, 370, 86.

López de Azcona, J. M. (1961): *Bibliografía sobre minería, metalurgia, geología y ciencias afines*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

López Ruiz, J. (1991): Los índices internacionales de evaluación. Su aplicación a la investigación geológica española. *Geogaceta*, 9, 109-112.

Ojasoo, T.; Dorè, J.C. and Miquel, J.F. (1994): Regional cinderellas. *Nature*, 370, 172.

Price, D.J.S. (1956): The exponencial curve of Science. *Discovery*, 17, 6, 240-243.

Pujol Gebelli, X. (1997): El peso de la ciencia española. *El País*, (8/10/97), 27. Madrid.

Rey, M. J. Martín y Plaza, L. (1997): El sistema español de I + D en Ciencias de la Tierra. Una aproximación desde el punto de vista de los investigadores. *Geogaceta*, 22, 177-180.

RSEHN (1988): *Catálogo de publicaciones periódicas de la biblioteca de la Real Sociedad española de Historia Natural*. Real Sociedad Española de Historia Natural. Madrid..

UCM (1993): *Catálogo de Publicaciones periódicas de la biblioteca de la Universidad Complutense*. 2 Vol. Editorial Complutense. Universidad Complutense. Madrid.

UPM (1989): *Catálogo colectivo de publicaciones periódicas*. Universidad Politécnica de Madrid.

Apéndice

Relación de las revistas científicas españolas, actuales y extintas, que contienen artículos de interés para la investigación en el ámbito de Ciencias de la Tierra. Son las que se han utilizado para la elaboración de este artículo.

Acta Científica Compostelana.
Acta Geobotánica Barcinonensia.
Acta Geológica Hispánica.
Actas del Laboratorio de Geología del Seminario de Barcelona.
Actas y Memorias de la Sociedad Española de Antropología, Etnografía y Prehistoria.
Agua.
Al-Basit.
Almud.
Altamira.
Ampuries.
Anales de Ciencias.
Anales de Ciencias Naturales.
Anales de Ciencias Naturales.
Anales de la Asociación de Palinólogos de Lengua Española.
Anales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza.
Anales de la Real Academia de Farmacia.
Anales de la Sociedad Española de Hidrología Médica.
Anales de la Sociedad Malagueña de Ciencias.
Anales de la Universidad de Madrid. Ciencias.
Anales de la Universidad de Zaragoza.
Anales de la Universidad Hispalense.
Anales de Minas.
Anales del Instituto y Observatorio de la Marina. Sección de Geofísica.
Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia.
Anales Hidrográficos.
Anales Hispanoamericanos de Hidrología Médica y Hermatológica.
Annals de la Seccio de Ciencias del Collegi Universitari de Girona.
Annals de l'Institut d'Estudis Gironins.
Antropología y Paleoecología Humana.
Anuario del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca.
Arqueología y Paleoecología.
Arrahona.
Arxius de l'Institut de Ciencies.
Atzavara, L'.
Azara.
Batalleria.
Berceo.
Bibliotheca Hispana. Sección Ciencias.
Boletín da Academia Galega de Ciencias.
Boletín de Historia y Geografía del Bajo Aragón.
Boletín de la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.
Boletín de la Comisión de Historia de la Geología de España.
Boletín de la Dirección de Minas y Geología.
Boletín de la Dirección de Minas, Metalurgia y Combustibles.
Boletín de la Dirección General de Minería.
Boletín de la Institución Libre de Enseñanza.
Boletín de la Institución Libre de Enseñanza.
Boletín de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Boletín de la Real Academia de Córdoba de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba.
Boletín de la Real Academia Hispanoamericana de Ciencias y Artes.
Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural.
Boletín de la Real Sociedad Geográfica.
Boletín de la Sociedad Aragonesa de Ciencias Naturales.
Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura.
Boletín de la Sociedad de Historia Natural de Baleares.
Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía.
Boletín de la Sociedad Malagueña de Ciencias.
Boletín de la Sociedad Oceanográfica de Guipúzcoa.
Boletín de la Universidad de Madrid. Ciencias.
Boletín del Instituto de Radioactividad.
Boletín del Instituto de Estudios Asturianos. Suplemento de Ciencias.
Boletín del Instituto Español de Oceanografía.
Boletín del Instituto Gemológico Español.
Boletín Geológico y Minero.
Bolletí de la Societat d'Historia Natural de les Balears.
Breviora Geológica Astúrica.
Butlleti de la Institucio Catalana d'Historia Natural.
Butlleti de la Societat de Cience Naturals de Barcelona.
Butlleti del Centre Excursioniste de Catalunya.
Cidaris.
Ciencias de la Naturaleza.
Ciencias, Las.
Col-Pa.
Comunicaciones sobre el carst en la provincia de Murcia.
Comunicaciones y Ponencias.
Comunicats.
Conferencias y Reseñas Científicas de la Real Sociedad Española de Historia Natural.
Cuadernos de Espeleología.
Cuadernos de Estudios Borjanos.
Cuadernos de Estudios Gallegos.
Cuadernos de Estudios Manchegos.
Cuadernos de Gemología.
Cuadernos de Geografía.
Cuadernos de Geología.
Cuadernos de Geología de la Universidad de Granada.
Cuadernos de Geología Ibérica.
Cuadernos de Investigación. Geografía e Historia.
Cuadernos de la Sección de Ciencias Naturales.
Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe.
Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada.
Cuaternario y Geomorfología.
Cursillos y Conferencias del Instituto Lucas Mallada.
Documents d'analisi geografica.
Eria.
Estudios de Prehistoria y Arqueología Madrileña.
Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Alava.
Estudios Geográficos.
Estudios Geólogicos.
Excavaciones Arqueológicas de España.
Física de la Tierra.
Geo y BioKarst.
Geogaceta.
Geographica.
Geographicalia.
Henares, Revista de Geología.
Hidrogeología.
Hidrología.
Ilerda.
Karaitza.
Lucas Mallada, (Revista de Ciencias).
Lull.

Mediterranea. Serie Estudios Geológicos.
Memoria de la Comisión Nacional de Geología.
Memoria General del Instituto Geológico y Minero de España.
Memorial Literario, Instructivo y Curioso de la Corte de Madrid.
Memorias de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza.
Memorias de la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas.
Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España.
Memorias de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. Ciencias Naturales.
Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.
Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural.
Memorias de la Sociedad Ibérica de Ciencias Naturales de Zaragoza.
Memorias y Comunicaciones del Instituto Geológico.
Mineralogistes de Catalunya.
Miscelanea Almera.
Monografías de la Sociedad Española de Geomorfología.
Monografías del Centro de estudios y Experimentación de Obras Públicas.
Monografías del Instituto Lucas Mallada.
Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología.
Munibe.
Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España.
Notas. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas.
Notés de Geografia Física.
Noticias Paleontológicas.
Paleomammalia. Cuadernos de Ciencias Naturales.
Paleontología i Evolucio.
Palinología.
Papeles de Geografía.
Pirineos.
Publicaciones de Geología.
Publicaciones de la Asesoría Geológica.
Publicaciones de la Cátedra de Geodinámica Interna.
Publicaciones de la Junta de Ciencias naturales de Barcelona.
Publicaciones de la Universidad de Madrid. Serie de Ciencias Naturales y geográficas.
Publicaciones del Departamento de Cristalografía y Mineralogía.
Publicaciones del Instituto Geológico - Topográfico.
Publicaciones del Laboratorio de Geología.
Publicaciones especiales del Instituto español de Oceanografía.
Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España.
Reseñas Científfcas de la Sociedad Española de Historia Natural.
Revista de Ciencia.
Revista de Geofísica.
Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza.
Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid.
Revista de la Sociedad Geológica de España.
Revista de la Universidad de Madrid. Ciencias.
Revista de la Universidad de Madrid. Ciencias.
Revista de Materiales y Procesos Geológicos.
Revista Española de Micropaleontología.
Revista Española de Paleontología.
Revista Minera.
Scientia Gerundensis.
Seminarios de Estratigrafía.
Seminarios de estratigrafía. Serie Monográficas.
Serie de Trabajos Varios.
Speleon.
Studia Geologica Salmanticensia.
Subsuelo.
Suelo y Planta.
Tecniterrae.
Terra.
Teruel.
Thalassas. Revista de Ciencias del Mar.
Tierra y Tecnología.
Trabajos Científicos del Observatorio de La Cartuja.
Trabajos de Geología.
Trabajos del Departamento de Paleontología.
Trabajos del laboratorio de Geología.
Trabajos del Mueso de Ciencias Naturales: Serie geológica.
Trabajos del Museo de Ciencias Naturales de Barcelona.
Trabajos sobre Neógeno/Cuaternario.
Treballs de la Institucio Catalana d'Historia Natural.
Treballs del Museu de Ciencies Naturals de Barcelona.
Treballs del Museu de Geologia de Barcelona.
Zubia.
Zubia. Monografías.

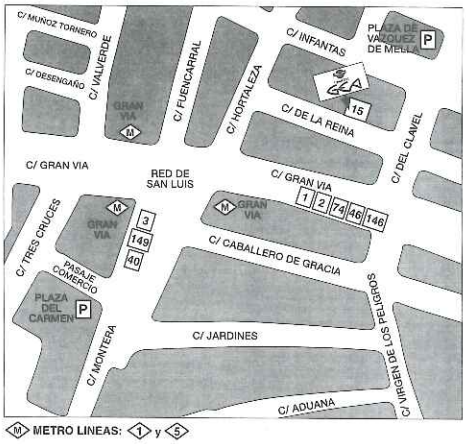
Nueva Librería Gea

- Cartografía
- Senderismo
- Guías naturaleza
- Biología
- Ecología
- Física
- Química
- Matemáticas
- Informática

LIBRERÍA GEA

ESPECIALIZADA EN GEOLOGIA

NUEVA DIRECCION
C/ Reina, 15 - 28004 MADRID
Tel. y Fax: 532 41 18
E-Mail: libreriagea@coverlink.es



Hacia una contabilidad energética del capital mineral de la Tierra

Lidia Ranz Villarino

Licenciada en Ciencias Físicas. *Fundación CIRCE.* Zaragoza.

Antonio Valero Capilla

Doctor en Ciencias Químicas. *Fundación CIRCE.* Zaragoza.

Se expone una metodología novedosa para cuantificar, desde una óptica energética, el capital mineral acumulado en los yacimientos metálicos. El enfoque termodinámico y económico permiten identificar los costes físicos en que la Sociedad incurre al extraer y utilizar los recursos minerales del planeta.

A new methodology to quantify, from an energy point of view, the accumulated mineral wealth of the metallic ore deposits is presented. The thermodynamic and economical focus allows identifying the physical costs beard by the Society when extracting and using the mineral resources of the planet.

Los recursos minerales constituyen un capital natural limitado en cantidad y de carácter no renovable (al menos respecto a la cadencia generacional humana), por lo que su extracción constituye una pérdida patrimonial de la riqueza mineral con la que la Tierra nos obsequió hace ya algunos millones de años. La importancia de estas sustancias minerales es hoy en día enorme, ya que constituyen el motor y el combustible de la economía mundial. En primer lugar, suministran la mayor parte de las materias primas necesarias para la elaboración de los productos que más tarde consumimos. En segundo término, la práctica totalidad de la energía que actualmente utilizamos (más del 90%, incluyendo el uranio) es de origen mineral. Incluso las llamadas fuentes energéticas renovables utilizan convertidores de energía, que tanto para su creación como para su mantenimiento, necesitan de grandes cantidades de recursos minerales.

Según datos del U.S. Bureau of Mines, el consumo mundial de materiales se cifra ya en treinta mil millones de toneladas anuales, presentando además una alarmante tendencia a la alta. Obviamente, este comportamiento depredador, que caracteriza a nuestra civilización industrial, es inviable en el



Foto 1.- Los recursos minerales son recursos no renovables en el ciclo humano.

tiempo. Por lo que si decidimos reconducir nuestras acciones hacia bases más sostenibles, será menester comenzar por una gestión responsable de las actuaciones relacionadas con los recursos minerales. Gestión que ha de partir de un conocimiento lo más riguroso posible de la riqueza mineral del territorio a administrar, contabilizando además las pérdidas de capital que periódicamente provoca la extracción.

En esta dirección apuntan la labores investigadoras que se están llevando a cabo desde la Fundación CIRCE en colaboración con la Fundación Argentaria, y que tienen como objetivo el establecimiento de una metodología de cuantificación física del capital mineral de la Tierra[1]. La aplicación final de esta metodología y los resultados que la misma arroje, servirán para informar y orientar a la sociedad sobre los verdaderos costes físicos en los que ésta incurre al extraer y hacer uso de los recursos minerales de la Tierra.

En líneas generales se trata de aplicar ciertos procedimientos provenientes de la Termodinámica, así como de la reciente metodología de Análisis de Ciclo de Vida[2], con el fin de ordenar y clasificar los recursos minerales de acuerdo con dos de las características que los hacen valiosos: su composición química concreta y su concentración singular. De esta manera, se podrán evaluar mediante criterios físicos precisos, los efectos que provoca la esquilmación de nuestros yacimientos minerales. A través de la noción de *coste exergético de reposición,* podremos estimar la energía que tendríamos que invertir para, en caso de que hubiéramos extraído y disipado el capital mineral de un yacimiento dado, deseáramos recomponer la riqueza mineral que este depósito encerraba.

1. Características singulares de los recursos minerales

Los recursos minerales se caracterizan por un conjunto de propiedades que los diferencian de otros recursos naturales que nos ofrece la Tierra. Igualmente, los depósitos donde se acumulan, poseen una serie de particularidades que los distinguen de otras agrupaciones minerales de la corteza terrestre. Estas características pueden ser principalmente de dos tipos: intrínsecas o extrínsecas, y ambas responden a los enfoques de los distintos campos científicos desde los que los minerales se pueden analizar.

Las características intrínsecas son peculiaridades propias del mineral e independientes de la sociedad humana que las analiza. Entre éstas encontramos dos grandes grupos: las características físico-químicas y las geológico-mineras. Entre las primeras se encuentran la *composición* y *concentración* de los yacimientos. Además, los minerales que éstos contienen pueden clasificarse en función de las propiedades magnéticas, ópticas, eléctricas o térmicas, que presenten. La radioactividad y la luminiscencia, pueden proporcionar otros criterios válidos de catalogación, y la densidad, la dureza, o el peso específico se convierten también en características a considerar. Como es bien conocido, si atendemos a los procesos de formación y concentración que han actuado durante la *génesis* de los depósitos minerales, éstos se pueden clasificar en tres grandes grupos: *ígneos, sedimentarios* y *metamórficos.* Otras características geológicas de los yacimientos minerales son su tamaño, su geometría, su composición mineralógica o su asociación geológica. La profundidad a la que se encuentran y la edad y litología de la roca encajante son otros factores a tener en cuenta en las prospecciones mineras.

Las características extrínsecas de los minerales son de índole socioeconómica, y entre éstas podemos hallar: su utilidad, su necesidad, su sustituibilidad, su toxicidad, su valor económico, etc. Estas propiedades dependen de la sociedad que las juzga, y por tanto son muy variables en el espacio y en el tiempo. Por ejemplo, la



Foto 2.- Las rocas y minerales industriales son actualmente los recursos minerales no energéticos de mayor importancia económica del mundo.

actual valoración económica de muchas sustancias minerales, se hace exclusivamente atendiendo a criterios de conveniencia de los mal llamados «productores» de materias primas. Y estos criterios oscilan en el tiempo y dependen de las oportunidades de beneficio en un momento dado. De hecho, el valor económico de numerosos minerales metálicos se decide en mercados internacionales. Como se desprende de los datos del World Resources Institute (1994), la evolución de las cotizaciones de los metales, así como la de los minerales energéticos, muestra una acusada tendencia a la baja. Sin embargo, las extracciones de estos minerales, se incrementan año tras año. De forma que a nivel mundial, cada vez se consumen más recursos minerales a precios cada vez más baratos.

La economía estándar sólo se ocupa de aquello que, siendo de utilidad directa para el hombre, resulte además apropiable, valorable y productible[3]. Por lo que los recursos minerales quedan fuera del objeto de análisis del sistema económico, y no

[1] Una exposición más detallada de la metodología se encuentra en el libro *Desarrollo Económico y Deterioro Ecológico*, que coordinado por José Manuel Naredo, será publicado en breve por la Fundación Argentaria.

[2] El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un procedimiento para estudiar sistemáticamente el impacto en recursos, ambiental y toxicológico de cada uno de los productos generados por la industria, desde su producción y distribución, hasta su uso y final evacuación. La metodología del ACV se divide en cuatro fases: Definición de objetivos y alcance, Inventario, Análisis de impacto ambiental y Estudio de alternativas de mejora. En Alting *et al.* (1993), en Young *et al.* (1994) o en Boustead (1997) se puede encontrar una descripción sencilla de esta metodología.

[3] Una consulta amena y detallada acerca del nacimiento y objeto de la economía estándar puede realizarse en Naredo (1987).

poseen un valor explícito hasta que no han sido extraídos, tratados y vendidos. De hecho en los mecanismos de formación de los precios, aunque sí se consideran los costes de producción de los minerales, jamás se le asignan a éstos un valor inicial que tenga en cuenta aquellas características físicas concretas que los hacen valiosos. Pero como ya hemos comentado los recursos minerales tienen un valor intrínseco, ya que poseen, al menos, dos características físicas que los hacen singulares: una composición particular que los distingue de su ambiente circundante, y una disposición que se conforma en una concentración geográfica específica. Como veremos estas propiedades se pueden evaluar energéticamente.

Precisamente, con esta propuesta de contabilización energética del patrimonio mineral, y apoyándonos en las nociones de *coste termodinámico* y *coste exergético de reposición* , hemos intentado asentar un primer peldaño metodológico que señale el camino hacia una gestión más sostenible de los recursos minerales.

2. El coste termodinámico de los recursos minerales

Los recursos minerales, al interaccionar con el ambiente que les rodea, son capaces de ceder energía, hasta que finalmente se exhaustan, y se convierten en sustancias comunes del entorno. Supongamos que llegáramos al hipotético caso, en que todos los materiales minerálicos que encierran los yacimientos minerales de la Tierra, se hubieran extraído y explotado, de forma que todos hubieran reaccionado con su ambiente físico circundante. Al final todos se habrían convertido en sustancias comunes de ese ambiente físico, eso sí, completamente dispersados por la superficie terrestre. La energía que espontáneamente se liberaría en este proceso de reacción y dispersión, coincidiría con el mínimo trabajo que tendríamos que invertir, en caso de que deseáramos deshacer el proceso, esto es, volviéramos a producir y concentrar esos minerales, a partir de ese estado ambiental de máxima disipación.

Como cada tipo de mineral, dependiendo de su composición y de sus condiciones de concentración, tendría un coste mínimo de reposición diferente, esto permitiría una ordenación del variado mundo mineral, que se unificaría bajo una perspectiva energética. De esta manera, los minerales susceptibles de explotación podrían ordenarse de acuerdo con su «contenido energético» asociado.

Definimos el *coste termodinámico de un mineral*, como *el mínimo trabajo necesario para, de manera reversible, producir ese material en un estado específico de estructura y concentración, a partir de materiales comunes en un entorno de máxima disipación*[4]. Este mínimo trabajo, que por definición es teórico, es precisamente la *exergía del mineral.* Observemos como, a la luz de este enfoque, el concepto de *coste termodinámico* encierra en su interior una *valoración energética* de dos propiedades físicoquímicas de los recursos minerales, como son su composición química específica y su concentración singular.

La metodología que se va a utilizar para el cálculo del coste termodinámico del recurso mineral, contará con una serie de etapas, que a continuación describimos.

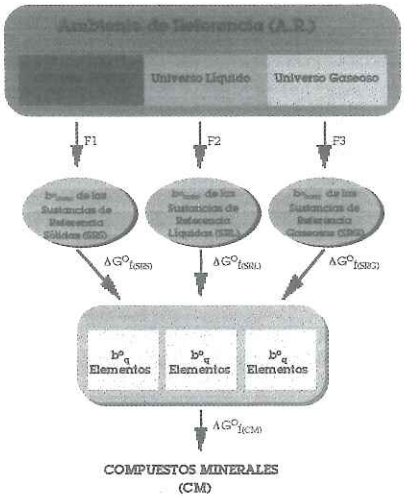


Figura 1.- Metodología de cálculo del coste termodinámico de un mineral.

Partiremos de un sistema artificial al que llamaremos Ambiente de Referencia (A.R.), y que presentará una gran similitud con el ambiente físico real[5]. Al igual que éste, el A.R. contará con tres fases: una sólida, otra líquida, y una tercera gaseosa. Cada una de estas fases estará compuesta por unas sustancias de referencia (S.R.), que se encuentran en un estado de máxima dispersión. En primer lugar, calcularemos la mínima energía útil necesaria para separar de esa sopa entrópica un conjunto de sustancias de referencia, que nos permitan luego construir el compuesto mineral del que buscamos calcular su exergía. La mínima energía útil que tendremos que invertir en esta etapa la llamaremos *exergía de concentración de las sustancias de referencia* ($b^{o}_{conc\ S.R.}$). Una vez concentradas y aisladas las sustancias de referencia, romperemos los enlaces que las ligan, de manera que dispondremos ya de los elementos que forman el mineral, aislados. La energía útil teórica invertida en este proceso es de naturaleza química. El mínimo trabajo que hemos tenido que poner en juego para obtener los elementos aislados, a partir de sustancias integrantes del A.R., es lo que se conoce como la *exergía química del elemento* (b^{0}_{qelto}). Una vez que contamos con los elementos aislados, los unimos formando el compuesto mineral deseado. La exergía que se libera en este proceso, es también de naturaleza química. El mínimo trabajo que se ha ido invirtiendo progresivamente en cada una de las etapas, dará lugar a la *exergía total del mineral.* ($b^{o}_{mineral}$).

La exergía total del mineral tiene por tanto dos componentes, la *exergía de concentración* y la *exergía de reacción* (de naturaleza química). El valor de la primera nunca suele sobrepasar el 15% del valor de la exergía total, a menos claro está, que el mineral estudiado forme parte del A.R, en ese caso la exergía de concentración y la exergía total coinciden.

La metodología que aquí hemos expuesto puede aplicarse a todos aquellos minerales que cuenten con una composición química concreta y fija. El cálculo de su coste termodinámico o exergía es uno de los principales ob-

[4] El problema está precisamente en la definición de lo que se considera un entorno de máxima disipación. Existen autores como Ahrendts (1980) que abogan por tomar como ambiente, un sistema artificial formado, para cada elemento, por las especies más estables termodinámicamente. Otros como Szargut (1987), defienden un ambiente de referencia lo más similar posible al ambiente físico real, y por tanto, integrado por las sustancias más abundantes y estables de la corteza terrestre.

[5] Para nuestros cálculos tomaremos el A.R. propuesto por Szargut (1989).

jetivos de un programa de investigación que actualmente se encuentra en curso. Sin embargo, podemos adelantar como botón de muestra los siguientes resultados para cinco minerales metálicos (**Tabla I**).

Recurso	Minerales	Fórmula	$Ex_{min.}$ *(kJ/kg)*	*Base Reservas (ton. de metal cont.)*	*Ex. B. Reservas (MJ)*
Cinc	Esfalerita	ZnS	9.243,53	$3,3\ 10^{08}$	$4,54\ 10^{12}$
Cobre	Calcopirita	$CuFeS_2$	9.165,86	$5,9\ 10^{08}$	$1,56\ 10^{13}$
Estaño	Casiterita	SnO_2	240,69	$1,0\ 10^{07}$	$3,06\ 10^{09}$
Hierro	Hematites	Fe_2O_3	77,36	$1,0\ 10^{11}$	$2,21\ 10^{13}$
Plomo	Galena	PbS	3.949,26	$1,3\ 10^{08}$	$5,93\ 10^{11}$

Tabla I.- Exergía de cinco minerales metálicos.

Los datos de la base de recursos han sido tomados del World Resources Institute (1994). Por simplificar los cálculos, para este ejemplo se ha considerado que todos los recursos de cinc estaban en forma de casiterita, los de cobre como calcopirita, y así sucesivamente. El valor de la suma de la exergía correspondiente a la base de recursos de estos minerales equivale a 4,288 10^{13} MJ. Esto quiere decir que si extrajéramos y disipáramos la base de recursos de estos cinco metales, la mínima energía que tendríamos que invertir para volver a reponerla, sería al menos la equivalente al 53 % del consumo anual de energía que en 1991 presentó Estados Unidos.

Como podemos observar, el valor del coste termodinámico de la base de recursos de estos cinco minerales es muy pequeño. Ello se debe a que los cálculos se han realizado suponiendo que los procesos que tienen lugar son procesos reversibles. Sin embargo, el mundo real se caracteriza por su irreversibilidad, y de todos es conocido que la energía a invertir es muy superior a la mínima teórica que fija la Termodinámica.

Por lo que estos cálculos teóricos se pueden completar cotejándolos con los costes energéticos reales de extracción y concentración de los minerales en su estado natural, así como con aquellos otros metalúrgicos de aislamiento del metal. De esta manera, merced a la comparación, se puede estimar la energía que habría sido necesaria aportar para, con la tecnología actual, producir y concentrar los recursos partiendo de un ambiente de referencia de máxima disipación, es decir, lo que hemos acordado en denominar *coste exergético de reposición* de los recursos minerales.

3. El coste exergético de reposición de los recursos minerales

Al igual que la exergía o coste termodinámico de un mineral, tiene dos componentes (la exergía de concentración y la exergía de reacción), el coste exergético de reposición, puede obtenerse como suma del *coste exergético de concentración* y del *coste exergético de reacción.*

El *coste exergético de reacción* de un recurso mineral coincidirá con la energía necesaria para *producir* ese recurso, a partir de sustancias comunes del ambiente, contando con la mejor tecnología actualmente disponible. Este coste real, aunque más elevado que el mínimo valor fijado por la exergía de reacción, se mueve en el mismo orden de magnitud que ésta. Pues, como bien se conoce, la oxidación del hierro, por ejemplo, es un proceso exotérmico en el que se libera energía. Si los procesos reales fueran reversibles, invirtiendo el valor de esa energía podríamos deshacer el proceso, esto es obtener hierro, a partir de su óxido. No es esto lo que ocurre en la realidad, el valor de la energía a invertir es superior a ese mínimo valor que fija la termodinámica, pero sin embargo, nuestra tecnología es tal, que ambos valores se mueven en el mismo orden de magnitud.

Esto no ocurre en los procesos de mezcla y separación, que es donde más se acusa la irreversibilidad de los procesos. De todos es conocido lo que ocurre cuando se mezclan sal y azúcar. La energía que se libera en el proceso es prácticamente nula. Sin embargo, su separación es costosísima. De hecho, cuando esto ocurre en nuestra vida cotidiana, más vale tirar la mezcla, que esforzarnos en separarla. El orden de magnitud de la energía liberada en la mezcla (exergía de concentración), y el de la energía real a invertir para la separación (coste exergético de concentración) son bien distintos. A pesar de ello su tendencia es la misma: Cuanto más diluído está el mineral más energía se necesita para separarlo, y este crecimiento es exponencial.

Definimos como *coste exergético de concentración* a la energía real a invertir para concentrar los recursos minerales a partir de un estado de máximo desorden y disipación. Como se deduce de su definición, el coste exergético de concentración depende del estado de la tecnología de extracción y separación, que como bien sabemos, varía con el tiempo y con el tipo de mineral.

La tecnología actualmente disponible varía sustancialmente dependiendo del intervalo en torno al cual se desee realizar la concentración. La eficiencia de estos procesos disminuye conforme la concentración baja. La concentración de un mineral desde la ley de la mina hasta su ley comercial, implica poner en juego un valor de energía real completamente distinto al de la concentración desde la ley media del mineral en la corteza hasta la ley del yacimiento. En el primer caso, la energía real será K_1 veces la energía teórica, y en el segundo caso será, por ejemplo, K_i veces.

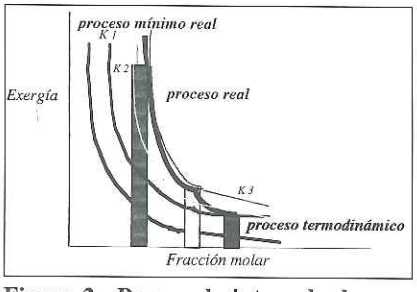


Figura 2.- Para cada intervalo de concentración: coste exergético de concentración = Ki · Coste termodinámico.

Como para este trabajo sólo disponemos de la información proveniente de un solo intervalo de concentración de la curva (desde la ley de la mina hasta la ley comercial), únicamente podremos determinar K_1. Pero como K_1 será menor que K_2, que será menor que K_3, el proceso real será *al menos* K_1 veces el proceso termodinámico, de forma que este valor nos fijará un mínimo: la mínima energía que tendríamos que invertir en el proceso de concentración real. En lugar de determinar *el coste exergético de concentración* obtendremos el *coste exergético mínimo de concentración.*

4. Cálculo del coste exergético mínimo de concentración de los recursos minerales

Como ya hemos comentado, las sustancias minerales susceptibles de explotación minera, se encuentran en el interior de minas y canteras con una determinada concentración, que recoge la *ley de la mina*. En estos complejos mineros se procede a la extracción de los minerales y a la concentración de los mismos hasta alcanzar el nivel señalado por la *ley comercial* del recurso. Para realizar estos procesos de extracción, separación, y concentración de los minerales, hay que poner en juego energía. Ésta puede contabilizarse y sumarse, dando lugar a la energía total utilizada en la mina. En los Inventarios de los Análisis de Ciclo de Vida se halla recogida esta información.

Por lo que puede estimarse teóricamente cuánto es la mínima energía necesaria para, a partir de los recursos en la mina (con composición específica, y concentración dada por la ley de mina), obtener los recursos a la salida de la mina (con composición específica y ley comercial). Aunque esta información no está directamente contenida en el valor de la exergía del recurso, se puede calcular fácilmente.

Posteriormente, se compararán los costes exergéticos obtenidos teóricamente, con los costes exergéticos reales estimados. A partir de ello se extrapolarán los resultados de la comparación, y se podrá estimar cuánto nos costaría concentrar los recursos minerales de un yacimiento dado, contando con la tecnología hoy existente, si estos recursos se encontraran completamente desperdigados en la corteza terrestre.

En el siguiente esquema **(Fig. 3)** se resume a modo de organigrama las distintas etapas del proceso aquí expuesto.

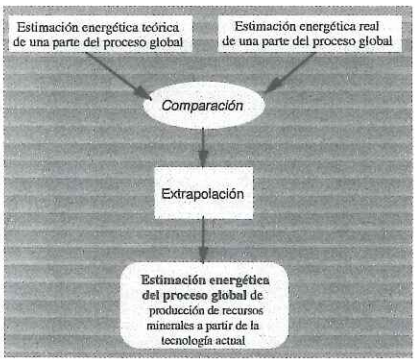


Figura 3.- Etapas del proceso de estimación energética de la producción de recursos minerales.

El cálculo se ha de centrar entonces en la obtención de las constantes, K, que separan el comportamiento teórico con el mínimo real para cada recurso. De acuerdo con los datos suministrados por Antonio Ortiz[6], hemos procedido al cálculo de esas constantes para nuestra selección de minerales.

Los resultados que arroja la metodología podrían resumirse en los datos de las **Tablas II y III**.

De acuerdo con este análisis, si extrajéramos, utilizáramos y desperdigáramos por toda la superficie terrestre las reservas de estos cinco recursos, como mínimo tendríamos que invertir entre el 30 y el 100% de la energía comercial que fue consumida a nivel mundial en 1991, para volver a concentrar los metales que estas reservas contenían.

Se podría proceder de manera semejante para calcular el *coste exergético de reacción*. Pero como ya hemos comentado, éste, a diferencia del coste exergético de concentración, es del mismo orden de magnitud que la *exergía de reacción*. La suma del coste

Recurso	Ley mina *(%)*	Ley comercial *(%)*	Energía real *(Kwh/ton.)*	Ex.teórica *(KJ/kg)*	*K*
Cinc	0,50	20	1.500-2.500	139,9	122-204
Cobre	5,00	50	650-800	89,8	83-101,6
Estaño	0,05	60	33.300	148,1	2.568
Hierro	30,00	55	20-60	26,9	8,5-25
Plomo	3,00	65	800-1.000	36,8	248-310

Tabla II.- Cálculo de las constantes (K) para cinco metales.

Recurso	Ex_{conc} *KJ/kg*	Reservas *t metal*	Cost.Ex.Min.Conc *MJ*
Cinc	448,15	$1,4\ 10^8$	$7,68\ 10^{12}$ - $1,28\ 10^{13}$
Cobre	468,94	$3,1\ 10^8$	$1,20\ 10^{13}$ - $1,48\ 10^{13}$
Estaño	305,00	$8,0\ 10^6$	$6,27\ 10^{12}$ - $6,27\ 10^{12}$
Hierro	111,01	$6,5\ 10^{10}$	$6,12\ 10^{13}$ - $1,84\ 10^{14}$
Plomo	193,05	$6,3\ 10^7$	$3,02\ 10^{12}$ - $3,77\ 10^{12}$

Tabla III.- Coste energético mínimo de concentración para cinco metales.

[6] A. Ortiz (1997), comunicación personal

exergético de reacción y del coste exergético de concentración, dará lugar el *coste exergético de reposición.*

5. Conclusiones

Cada metal tendrá un coste exergético de reposición dado, y a cada territorio se le asociará un valor de coste energético en función de los yacimientos minerales que éste encierre. De esta manera se podrá evaluar la pérdida de capital mineral que supone la extracción, y se podrá contabilizar en unas mismas unidades energéticas.

Aunque esta metodología de cuantificación energética tan sólo aporta información acerca de dos características de los recursos minerales, dejando de lado el resto, creemos que podrá utilizarse como una herramienta útil para la gestión, pero eso sí, empleada como un instrumento más a combinar con otros.

Además, el algoritmo de cálculo podría completarse ampliando su alcance a las rocas, pues al no disponer éstas de una composición química concreta y fija, se han quedado fuera del ámbito de aplicación de la metodología. Igualmente, se podrían afinar los valores arrojados por la cuantificación energética de las distintas reservas de minerales, siempre y cuando desde ámbitos geomineros se facilitara la información de las reservas y recursos de todos los elementos, de acuerdo con las principales menas minerales donde éstos habitualmente se agrupan. Los estudios concernientes a los procesos industriales, químicos, metalúrgicos y de separación serán también necesarios para una correcta obtención del *coste exergético de reposición.*

De esta manera, a través de un enfoque energético, se puede proceder a una ordenación del variado mundo mineral. La información suministrada por esta cuantificación energética, contribuirá a instruir y a orientar a la sociedad sobre los verdaderos costes físicos en los que ésta incurre al extraer y hacer uso de los recursos minerales de la Tierra.

La investigación técnica y la colaboración interdisciplinar suministrarán las herramientas necesarias para llevar a cabo una exhaustiva cuantificación energética de nuestro patrimonio mineral.

Referencias bibliográficas

AHRENDTS, J. [1980]: Reference States. *Energy*, **5**, 667-677

ALTING, L. y JORGENSEN, J. [1993]: The Life Cycle Concept as a Basis for Sustainable Industrial Production. *Annals of the CIRP*, **42**, 1, 163-167

BOUSTEAD, I. [1997]: LCA, How it Came About. *The International Journal of Life Cycle Assessment Ecomed Publishers*, **1**, 3, 147-150

NAREDO, J. M. [1987]: *La Economía en Evolución*, Siglo XXI de España Editores, S.A.

SZARGUT, J. [1987]: Standard Chemical Exergy of Some Elements and Their Compounds, Based upon the Concentration in Earth's Crust. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, **35**, 1-2, 53-60.

SZARGUT, J. [1989]: Chemical Exergies of The Elements. *Applied Energy*, **32**, 269-86

YOUNG, S.B & VANDERBUG, W.H. [1994]: Applying Life Cycle Analysis to materials. *JOM*, **46**, 4, 22-27

WORLD RESOURCES INSTITUTE [1994]: *World Resources 1994-1995, A Guide to the Global Environment*, Oxford University Press.

BOSCH & VENTAYOL

GEO SERVEIS

SONDEOS GEOTÉCNICOS.

SONDEOS EN SUELOS CONTAMINADOS.

INGENIERÍA GEOLÓGICA. GEOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE.

HIDROGEOLOGÍA. PIEZÓMETROS.

RECONOCIMIENTOS GEOLÓGICOS.

C/ Rocafort, 261, ático 2.ª - 08029 Barcelona.

Tel. (93) 778 08 16. Fax (93) 439 25 90

Fundamentos para una gestión del agua coherente con un modelo de desarrollo

Pedro Arrojo Agudo

Profesor titular del Departamento de Análisis Económico de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Zaragoza.

Julio Sánchez Chóliz

Catedrático del Departamento de Análisis Económico de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Zaragoza.

Jorge Bielsa Callau

Profesor Asociado del Departamento de Análisis Económico de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Zaragoza.

El agua constituye un activo ecosocial, en cuya gestión deben primar los criterios de sostenibilidad de los recursos naturales. El modelo de Desarrollo Sostenible debe incorporar un compromiso ético del conjunto de la sociedad que haga posible la preservación de bienes naturales tan preciados como el agua.

Water represents an ecosocial asset in whose management the criteria of sustainability of natural resources should play major role. The Sustainable Development model should incorporate an ethical compromise of the whole Society to make possible the preservation of natural goods as precious as water.

Introducción

A raíz de la presentación del Informe Brundtland, la utilización del término «Desarrollo Sostenible» se ha ido extendiendo, al tiempo que, inevitablemente, su contenido se ha ido dispersando en función de interpretaciones o manipulaciones más o menos interesadas. Entendemos pues pertinente fijar el sentido exacto que nosotros concedemos al término.

Tomaremos una referencia conceptual de partida recogiendo dos citas que nos pueden ayudar a situarnos. La primera corresponde al propio Informe Brundtland que no fue sino el Informe de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo:

« ...Se entiende por desarrollo sostenible el que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades...»

La segunda cita corresponde a la introducción del «Programa comunitario de política y actuación en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible: HACIA UN DESARROLLO SOSTENIBLE» de la Comisión de las Comunidades Europeas (1992):

«En el sentido que se le ha dado en el presente documento, la palabra sostenible quiere ser reflejo de una política y una estrategia de desarrollo económico y social continuo que no vaya en detrimento del medio ambiente ni de los recursos naturales, de cuya calidad dependen la continuidad de la actividad y del desarrollo de los seres humanos...»

Introduciremos a continuación algunos conceptos básicos para fundamentar más sólidamente y matizar el concepto en cuestión.

La degradación entrópica del Universo: una ley inapelable

El segundo principio de la termodinámica establece que en todo proceso o fenómeno de cambio (físico, químico, biológico...), natural o artificial, se produce, si no un consumo propiamente de energía (en el sentido de destrucción o desaparición de la misma), sí una degradación irreversible, o dicho en otras palabras, se produce un aumento irreversible de entropía (la entropía mide el nivel de desorden de la materia). Dicha degradación energética supone que, en definitiva, parte de la energía, si bien seguirá existiendo en forma de calor, no podrá volver a ser utilizada. Llevada esta ley al subsistema de la actividad humana que estudia la ciencia económica podremos afirmar que todo proceso productivo o de consumo llevará inexorablemente aparejado una degradación entrópica y energética. El carácter inapelable de este segundo principio de la termodinámica no puede, sin embargo, justificar una despreocupación fatalista al respecto. De hecho, existen múltiples caminos en todo proceso de cambio (productivo, de consumo, etc...) que, partiendo de una situación y llegando a otra, generan balances entrópicos y energéticos muy diferentes. Los siguientes apartados clarifican en cual-

quier caso la injustificabilidad del citado fatalismo.

La Biosfera, sistema base abierto energéticamente

Tomando la referencia clave de interés en ese fenómeno complejo y maravilloso que es la vida, estableceremos como sistema base de nuestras consideraciones la Biosfera. Dicho sistema tiene como característica esencial la de ser abierto energéticamente. Dicho en otras palabras, recibe sistemáticamente una cuota energética, que no sólo se capta en forma de calor ambiental, sino que alimenta los ciclos y fenómenos climáticos, y lo que es fundamental, se incorpora al ciclo de la vida a través de la función clorofílica en las plantas verdes. De esta forma, la naturaleza ha trenzado un primoroso equilibrio que se sostiene sobre la base de precisos parámetros climáticos y ambientales en los que sistemáticamente la degradación energética (del citado segundo principio), generada por los fenómenos vitales, es compensada por el aporte de la energía solar verde. Al hablar de compensar el balance energético y entrópico no sólo nos referimos a regenerar la disponibilidad de energía útil (exergía), en forma por ejemplo de alimentos, sino también al reciclado de los residuos, algo que es tan esencial como lo primero (al fin y al cabo son dos caras de la misma moneda). En cierta forma, podríamos decir que la biosfera ha creado un ámbito en el que el reloj de la degradación entrópica se ha detenido, o cuando menos retardado, con la complicidad del sol.

Nuestro modelo de desarrollo, un modelo insostenible

En los últimos tiempos la humanidad parece empeñada en reactivar ese reloj desde una concepción un tanto suicida del desarrollo económico. El paradigma de progreso impulsado por la civilización occidental nos ha abocado a una concepción productivista-consumista del bienestar y de la felicidad tan miope como, en muchos aspectos, engañosa. La ley del máximo beneficio individual, o incluso más en general, de la máxima utilidad percibida en el marco del mercado, se ha demostrado no sólo ineficiente, sino, lo que es más grave, inconsistente de cara a gestionar los equilibrios vitales de la biosfera. La concepción del crecimiento ilimitado como base del desarrollo económico no sólo choca con el carácter finito de los recursos sobre los que se asienta, sino que, perdiendo toda consideración hacia los frágiles equilibrios cíclicos que fundamentan la vida, ha empezado a provocar cambios irreversibles de consecuencias imprevisibles, pero en todo caso sumamente graves. En definitiva, hemos demostrado ser capaces de reactivar el reloj de la degradación entrópica y energética del planeta con efectos gravísimos, no sólo sobre generaciones más o menos remotas, sino también sobre generaciones inmediatas.

El Desarrollo Sostenible: un concepto económico basado en la Ética

Vivir y desarrollarnos sin hipotecar el patrimonio ambiental y de recursos de las generaciones futuras, podría resumir en lo esencial nuestra concepción del «Desarrollo Sostenible». En principio tal concepción chocaría, como se ha explicado, con el segundo principio de la termodinámica, si no fuera por la capacidad de asimilar dinámicamente energía solar por parte de la biosfera, alimentando la estabilidad de ciclos climáticos, ambientales y bioquímicos de suma complejidad y fragilidad. Las leyes que gobiernan esos equilibrios cíclicos han garantizado durante miles y millones de años unos parámetros físico-químicos en niveles asombrosamente estables, que han posibilitado y posibilitan la existencia y desarrollo de la vida tal y como la conocemos. Aceptar y respetar tales leyes o no hacerlo entra hoy de lleno en el ámbito de nuestra capacidad de decisión. La incapacidad de las ciencias y prácticas económicas dominantes, tanto para explicar y gestionar los equilibrios de la biosfera, como para responder a la gestión óptima de las utilidades de las generaciones futuras, deberían forzarnos a una profunda reflexión. Sin embargo, mientras este proceso de revisión se abre paso, sería de una irresponsabilidad temeraria esperar las respuestas más vitales y urgentes de simples y tibias reformas de los esquemas vigentes, como hacen de hecho algunas de las corrientes medioambientalistas más en boga.

Hoy es preciso, más que nunca, cuestionar la base ética del utilitarismo individualista del mercado, no sólo por razones de justicia social planetaria, sino por razones de justicia intergeneracional y de supervivencia. Garantizar un entorno de vida, cuando menos no deteriorado respecto al que recibimos de nuestros padres, no será una conclusión que surja de nuestras estimaciones de utilidad óptima intergeneracional gestionadas desde el mercado (entre otras razones porque es imposible conocer las curvas de utilidad de las generaciones futuras...). Será una opción, una premisa, un principio ético y no una conclusión económica.

Criterios de sostenibilidad respecto a los recursos naturales

Daly (1994) plantea desde un ángulo estrictamente económico lo siguiente: «...Algunos argumentan que el capital hecho por los humanos y el capital natural son bienes sustituibles uno por el otro de manera que la idea de factor limitante (para la producción), que requiere que los factores sean complementarios, es irrelevante. Sin embargo, creo que está bastante claro para el sentido común que el capital hecho por los humanos y el capital natural son esencialmente complementarios, y sólo marginalmente sustitutivos....»

Al hilo de esta cita estimamos conveniente diferenciar en tres grupos los posibles recursos y funciones ambientales:

- Recursos renovables.
- Recursos no renovables y no sustituibles.
- Recursos no renovables sustituibles.

En el primer grupo podríamos considerar el agua dulce, tanto en parámetros de cantidad como de calidad. Obviamente, las claves de la «sostenibilidad» en este tipo de recursos residirán en el respeto riguroso a los equilibrios y procesos cíclicos naturales que aseguran esa renovabilidad, así como en un respeto igualmente riguroso a los ritmos de dicho proceso de reno-

vación, garantizando en su defecto su sustitución por procesos de reciclado artificial. En este grupo podríamos considerar por extensión recursos que, como los metales, (hierro, cobre, aluminio...) más que renovables son fácilmente reciclables artificialmente en un alto porcentaje.

En el caso de los recursos no renovables, una aplicación estricta del principio de preservación del recurso implicaría su no uso (caso de que tal uso implique su destrucción). Sin embargo distinguiremos, como se ha señalado, entre recursos no renovables insustituibles y sustituibles. En el primer grupo podríamos considerar el ejemplo de la biodiversidad, o incluso, bajo ciertos matices, recursos como el suelo (frente a fenómenos erosivos). Nuestra incapacidad tecnológica de sintetizar los bancos genéticos de especies en extinción (que ni siquiera se conocen en la mayoría de los casos) -más allá de especulaciones «Jurásicas»- o la lentísima regeneración natural de los sistemas edáficos, conferirían a estos recursos el carácter citado. En estos casos no cabe más criterio de sostenibilidad que el de la preservación estricta.

Cuestión más compleja es fijar criterios de sostenibilidad para recursos, que como el petróleo o los combustibles fósiles en general, se incluirían en el grupo de los recursos no renovables sustituibles. Por lo pronto, el citado carácter de sustituibles se complejiza seriamente si la utilidad vigente o potencial no se reduce a la estrictamente energética (la utilidad en la industria química o farmacéutica, por ejemplo). Pero por aclarar conceptos, reduciendo por ejemplo la utilidad del petróleo a su carácter de combustible, el criterio de sostenibilidad pasaría por garantizar la sustituibilidad del recurso por tecnologías de energía renovable con cargo al uso en sí del recurso en cuestión. Dicho en otras palabras: no tenemos derecho a «disfrutar» de un petróleo barato previéndose que en un futuro próximo las generaciones inmediatas pagarán el coste de la correspondiente crisis energética. Sin entrar aquí en la insostenibilidad del actual uso intensivo de los combustibles fósiles (efecto invernadero), no debería quemarse un solo litro de gasolina que no llevara cargado un impuesto finalista que financie tanto la investigación como la implantación de energías renovables en plazos fijos (acoplados al previsible periodo de tiempo de escasez y agotamiento del petróleo).

En resumen, como luego desarrollaremos para el caso del agua, el concepto de «Desarrollo Sostenible» implicará un abanico de criterios según casos:

- Pura, simple y radical preservación del recurso no renovable.
- Uso respetuoso con los ciclos de renovabilidad natural y sus ritmos (complementado eventualmente con estrategias de reutilización y/o reciclado artificial).
- Sustituibilidad financiada con cargo al uso mismo del recurso. No renovable.

Hacia un concepto enriquecido socialmente de Desarrollo Sostenible

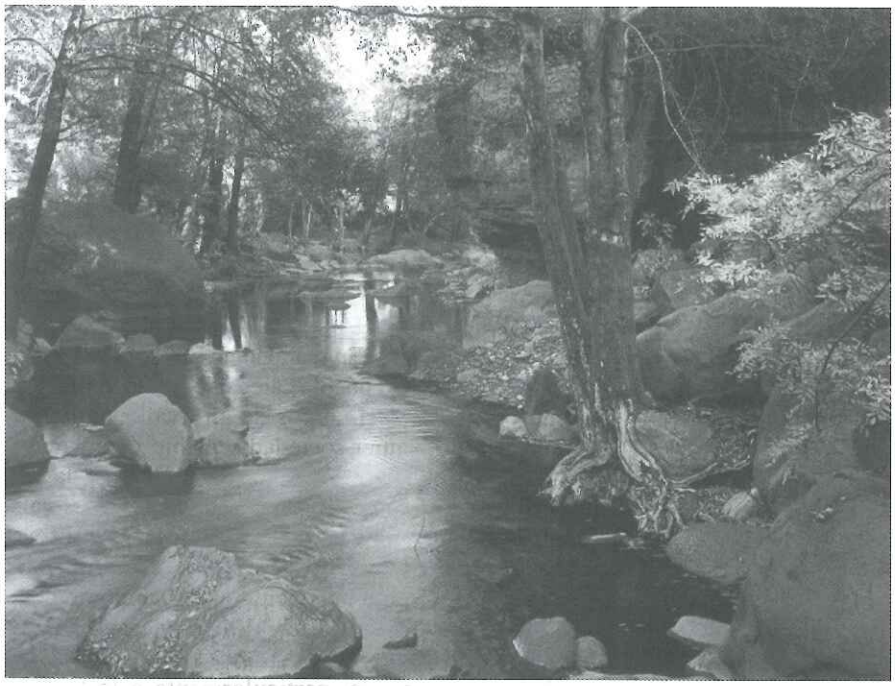
A menudo el concepto de desarrollo sostenible se restringe a factores esenciales para la habitabilidad del planeta, como pueden ser la capa de ozono, la estabilidad climática o la biodiversidad. La fuerza ética del principio de sostenibilidad sobre tales elementos entendemos que es difícilmente cuestionable. Sin embargo, una multitud de factores, recursos y funciones ambientales, con otros órdenes de importancia y trascendencia sobre el conjunto de la biosfera (por implicar aspectos cualitativamente menos trascendentes, por su carácter local, por su discutible reversibilidad, etc...), requerirán sin duda de un proceso de valoración para establecer compromisos de sostenibilidad, respecto a las generaciones venideras, que sin duda serán más discutibles y polémicos (preservar un paraje de ribera, o proteger una especie a nivel local que no esté globalmente en extinción...). Pero no es sólo compleja la concreción de criterios de sostenibilidad en referencia a patrimonios, recursos o funciones ambientales. La valoración de las funciones sociales y culturales involucradas en la gestión y uso de recursos naturales, tan básicos y esenciales como el agua, no pueden escapar al alcance ético de la sostenibilidad que hemos introducido. Los derechos colectivos de pueblos, a veces milenarios, a preservar su identidad, su territorio, sus valores culturales, sus formas de vida, etc..., así como los valores sociales que se derivan de todo ello, deben de ser apreciados con sumo respeto y delicadeza (desde la década de los 50 se estiman en más de 10 millones las personas forzadas a abandonar sus hogares, sus tierras y formas de vida por causa de macroproyectos hidráulicos en el mundo, con un más que dudoso balance de respeto a los derechos humanos).

En realidad no son sólo valores de los pueblos afectados, sino verdaderos patrimonios de alto valor para cualquier sociedad sensible y madura, en peligro muchas veces de pérdida irreversible. Integrar por tanto tales valores socioculturales, tras el oportuno estudio y estimación de los mismos, en un concepto enriquecido de desarrollo sostenible es a nuestro entender oportuno, coherente e incluso insoslayable, particularmente a la hora de proponer criterios de valoración y gestión de las funciones del agua como activo ecosocial.

El agua, mucho más que un factor económico: un activo ecosocial fundamental

Durante millones de años, desde que el homo sapiens existe sobre el planeta, las grandes masas marinas, lagos, ríos y acuíferos subterráneos han supuesto, directa o indirectamente, para la humanidad, tanto fuentes de recursos (agua de boca, pesca, medios de transporte...), como sumideros de desechos. Durante esos millones de años los impactos de la actividad humana sobre esos grandes gestores naturales de los ciclos del agua fueron irrelevantes, o en todo caso digeribles. La capacidad regeneradora de la energía solar, gestionada, tanto por el ciclo geoclimático del agua, como por los ciclos biológicos correspondientes, han permitido considerar al recurso agua como un bien inagotable, de calidad en general no cuestionable, o en todo caso recuperable de forma natural; mares, ríos y lagos (también la atmósfera...) han podido ser considerados como sumideros infinitos de todo tipo de residuos y desechos, sin mayores problemas.

Ello ha llevado en general a darle consideración de recurso, libre en principio, público después, altamente apre-



El agua constituye un activo social de primer orden.

ciado a menudo en función de condiciones geográficas y climáticas, pero no claramente valorado en términos estrictamente de mercado en la mayor parte de los casos.

Sin embargo, la escasez de aguas de calidad y las gravísimas consecuencias directas e indirectas de la degradación del medio marino, de ríos, lagos y acuíferos nos colocan ante la ineludible necesidad de reconceptualizar las funciones y el valor del agua.

La tendencia a considerar este recurso como un simple factor económico, susceptible de valorarse monetariamente en base a referentes de mercado, como guía esencial de racionalización en su gestión y uso, nos parece parcial, insuficiente y, lo que es más grave, incoherente con los criterios que exigiría un modelo global de desarrollo sostenible.

En estos momentos es obvio que la función productiva del agua está siendo ensalzada en los altares de proyectos y planes hidrológicos (aunque generalmente con escasísimo o nulo rigor económico, por cierto...) de forma reduccionista y parcial. Por ello, es preciso remarcar aquí el trascendental valor de sus funciones ecológicas así como el de sus funciones sociales, culturales y de salud. Desde nuestro punto de vista el agua es mucho más que un factor económico; es un ***activo ecosocial***, con funciones económicas, ecológicas y socio-culturales de alto valor.

Desgraciadamente, tanto en la gestión tradicional del agua, como incluso en los planes hidrológicos actualmente en discusión, se parte de una concepción puramente productivista del recurso y de los sistemas hidrológicos naturales (ríos, lagos, acuíferos, mares...), considerándolos simples bienes económicos de carácter generalmente público. El resultado de hecho es aterrador: ríos cloaca, riberas basurero, cauces secos, acuíferos contaminados, sobreexplotados o salinizados, mares y lagos gravemente degradados.... El actual estado del medio hídrico y sus entornos es, sin duda, uno de los más espeluznantes y claros avances del tipo de hipotecas, a menudo irreversibles, a que nos está conduciendo el vigente modelo de desarrollo insostenible. Las consecuencias de tales hipotecas son de un valor inconmensurable e imprevisible. Los efectos sobre la biodiversidad, tanto en aguas dulces como en los mares, las cadenas tróficas, los ciclos del agua o incluso el clima, apenas si hemos empezado a conocerlos y considerarlos.

¡Y qué decir sobre los efectos de tales concepciones economicistas (cuando no especulativas...) sobre colectivos humanos débiles que han sido expoliados y desplazados en nombre del progreso, amparándose eso sí «científicamente» en criterios de compensación de los agentes como los de Kaldor-Hicks, que nunca llegaron a estimarse seriamente y menos a hacerse efectivos en favor de los afectados en su auténtica dimensión! En definitiva colectivos indígenas desplazados, pueblos inundados, formas de vida, patrimonios culturales y tradiciones centenarias o milenarias arruinadas.

Hoy podemos convenir, suponemos que con cierta facilidad, que tan estúpido sería valorar las cataratas del Niágara esencialmente como un genial salto de agua para generar electricidad, como injusto sería valorar el patrimonio cultural y social del valle de Campo sobre la base de las hectáreas de huertos anegables, o ignorar los derechos milenarios de los pueblos indígenas del Amazonas en nombre del «progreso del hombre blanco». No se puede medir o compensar con cánones de vertido las afecciones a la salud de miles o millones de personas por contaminaciones de lindano u organoclorados diversos, como no se podrá compensar a nuestros hijos, nietos y bisnietos con todo el oro del mundo por un mar Mediterráneo en acelerado proceso de muerte, tal vez irreversible....

Reubicar el valor que concedemos a las funciones ecológicas, económicas y sociales del agua es por todo ello esencial, y de ahí la necesidad de conceptualizar este recurso como ***activo ecosocial.***

Parámetros de sostenibilidad fundamentales en la gestión del agua

Sobre la base del principio y la definición general de ***«Desarrollo Sostenible»*** planteada hasta aquí, habrá que preguntarse qué aspectos, funciones o elementos del patrimonio ambiental y social son éticamente necesario garantizar a las generaciones futuras. En este punto crucial las cosas se complican y será ineludible un esfuerzo interdisciplinar en el que físicos, químicos, geólogos, biólogos, historiadores, sociólogos, juristas, economistas etc.... tendremos que aportar referentes de valoración, en el caso que nos ocupa sobre las funciones del agua, que colo-

quen a la sociedad ante una estimación multicriterio que necesariamente deberá tener un carácter político (en el sentido de global). Obviamente no pretendemos resolver aquí un proceso de valoración tan complejo, pero sí ofrecer las referencias que entendemos más relevantes a la hora de estimar lo que podríamos llamar parámetros de sostenibilidad asociados a las funciones de uso del agua.

Como ya hemos mencionado, apostar por un modelo de *Desarrollo Sostenible* implica articular *un marco de acotaciones cuantitativas y cualitativas* en el uso de los recursos naturales, que en el caso del agua hemos agrupado respecto a los siguientes aspectos:

- Renovabilidad de la calidad hídrica.
- Formación y conservación de suelos.
- Biodiversidad en el medio hídrico .
- Ecosistemas y entornos de ribera.
- Valores sociales y culturales.
- Ordenación territorial equilibrada.

Tales acotaciones reducen la disponibilidad de la *Oferta Física*. Sin embargo al mismo tiempo ofrecen un escenario en el que la intensidad de circulación, y por tanto la Oferta Circulante pasa a ofrecer expectativas cuasiilimitadas de disponibilidad de aguas de calidad.

La *Demanda* en absoluto puede considerarse como la *variable independiente* de la Planificación Hidráulica. El nivel de *elasticidad* de dicha demanda respecto a los precios, leyes, normas etc...(respecto al Modelo de Gestión) nos abre hoy la posibilidad de articular estrategias de *Gestión de la Demanda* en las que el *Ahorro* y la *Eficiencia* deben de constituir las fuentes esenciales para atender nuevos usos razonables y eficientes que el actual modelo de desarrollo (no sostenible) pueda requerir.

Las estrategias de *Gestión de la Demanda* son, en definitiva, estrategias puente (cuando menos para los dos próximos decenios) que, desde el respeto a criterios de sostenibilidad, deben dar margen en el tiempo a los cambios radicales que exige la evolución global hacia un Modelo de Desarrollo Sostenible.

Bibliografía

Aedenat-Ecofontaneros (1994): «La Bajada del Ebro, una llamada a la sensatez, la racionalidad y la imaginación desde la acción» Fundación Ecología y Desarrollo.

Arrojo (1994): «Economía ecológica del agua: argumentos frente al APHN». IV Jornadas de Economía Crítica- Valencia.

P. Bartelmus (1993): «Environment growth and development. The concepts and strategies of sustainability» Routledge.

Campo, J. M. (1994): «Pirineos y Plan Hidrológico: usuarios y usados».

Comisión de las Comunidades Europeas (1992): «Hacia un Desarrollo Sostenible: Programa comunitario de política y actuación en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible».

H. Daly (1994): « Consejos para promover el desarrollo ecológicamente sustentable». Ecología Política.

Faucheux, Froger, Noel (1993): «Quelle hypothése de rationalité pour le développment soutenable, Economie Appliqué.

Howitt, R. E. (1993): «Property Rights, Transaction Risk, and Markets for Natural Resources». Dpt. of Agricultural Economics-University of California, Davis. USA.

MOPTMA (1993): Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional.

Del Moral, L. (1994): «El abastecimiento de Sevilla y su zona de influencia: inercias de la política de oferta y debilidades de la gestión de la demanda». Investigaciones Geográficas.

Omedas, M. (1994): «El agua en el desarrollo económico-social y medioambiental de Aragón». Premio Pignatelli 94 DGA.

UNESCO (1991): «Environmentally sustainable economic development: building on Brundtland».

«LA TIENDA VERDE»

C/. MAUDES, N.º 38 - 28003 MADRID
TELS.: 533 07 91 - 533 64 54
FAX: 533 64 54

«LIBRERIA ESPECIALIZADA EN CARTOGRAFIA, VIAJES Y NATURALEZA»

- MAPAS TOPOGRAFICOS: S. G. E. I. G. N.
- MAPAS GEOLOGICOS.
- MAPAS DE CULTIVOS Y APROV.
- MAPAS AGROLOGICOS.
- MAPAS DE ROCAS INDUSTRIALES.
- MAPAS GEOTECTONICOS.
- MAPAS METALOGENETICOS.
- MAPAS TEMATICOS.
- PLANOS DE CIUDADES.
- MAPAS DE CARRETERAS.
- MAPAS MUNDIS.
- MAPAS RURALES.
- MAPAS MONTADOS EN BASTIDORES.
- FOTOGRAFIAS AEREAS.
- CARTAS NAUTICAS.
- GUIAS EXCURSIONISTAS.
- GUIAS TURISTICAS.
- MAPAS MONTAÑEROS.

«VENTA DIRECTA Y POR CORRESPONDENCIA»
«SOLICITE CATALOGO»

Las competencias profesionales del geólogo derivadas del título de Licenciado en Geología (y II)

Luis E. Suárez Ordóñez

Presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España.

En el anterior número 16 y 17 de esta revista se realizó una reflexión acerca de «Las competencias legales de los geólogos» conocidas como atribuciones profesionales, siendo ahora el objetivo de estas líneas el estudio de las competencias profesionales del geólogo derivadas del título académico de Licenciado en Geología, condición necesaria pero no suficiente para el ejercicio de la profesión de Geólogo, dado que, de acuerdo con el **artículo 3.2 de la Ley 7/1997, de 14 de abril**, de medidas liberalizadoras en materia de Colegios profesionales **es obligatoria la colegiación para ejercer las profesiones colegiadas.**

A la hora de relacionar los conceptos de **Título académico** (Licenciado en Geología) y **Título o regulación profesional** se observa que ***no*** **existe una definición legal general** para ambos conceptos; sin embargo, **el Real Decreto 1665/1991**, que regula el Reconocimiento de Títulos de Enseñanza Superior de los estados miembros de la Unión Europea, que exigen una formación mínima de tres años, establece las características de los mismos. De acuerdo con el **artículo 1.a)** del referido Real Decreto los **requisitos legales del título académico son:**

– Expedido por una autoridad competente.

– Certifica que el titular ha cursado y superado con éxito un ciclo de estudios de una duración mínima de tres años en un centro universitario de enseñanza superior o equivalente, como es en nuestro caso la Licenciatura de Geología.

– Acredita que el titular posee las cualificaciones profesionales requeridas para acceder a una profesión regulada por el Estado, como es el Título Profesional de Geólogo.

Por otra parte, **el artículo 1.b) del Real Decreto 1665/1991** tipifica como **profesión regulada** la "actividad o conjunto de actividades profesionales para cuyo acceso, ejercicio o algunas de sus modalidades de ejercicio se exija directa o indirectamente un título (académico) y constituyan una profesión en un estado miembro".

En relación con esta materia, en marzo de 1997 se ha publicado el excelente libro **"La profesión de Biólogo"**, cuyo autor es Pere Camprubí i García, **Presidente del Colegio Oficial de Biólogos**, en la que se analiza exhaustivamente esta profesión siamesa a la nuestra, con la que hace años compartíamos el Título académico de Licenciados en Ciencias Naturales.

En el referido libro se establecen "**las características esenciales de toda profesión regulada**, de acuerdo con las disposiciones legales de muy diverso rango y jurisprudencia de los Tribunales:

a) Ejercicio **personal** de la actividad, como rasgo diferenciador respecto del concepto de empresa.

b) Quehacer **habitual** y continuado, que por sí mismo no es sinónimo de pericia, pero que distingue de la práctica ocasional de una actividad profesional.

c) Ejercicio **público** y ostensible, que pueda ser conocido por cualquiera. Precisamente *profesión* proviene de la palabra latina "professional" que significa "declaración pública".

d) Constituye el **medio de vida** de la persona.

e) Produce bienes y servicios **para los demás.**

f) Ejercicio **libre** y voluntario de la actividad, en contraposición a las actividades ejercidas de manera forzada, como por ejemplo, las de los presos y soldados de leva.

g) Exigencia de **conocimientos y capacitación**, siendo necesario acreditar la posesión de un Título académico universitario reconocido por el Estado (art. 1.2. de la Ley 2/1974 de Colegios Profesionales).

h) Inscripción **obligatoria** en el Colegio Profesional correspondiente para el **ejercicio** de la profesión (art. 3.2. de la Ley 7/1997 de Colegios Profesionales).

i) Ejercicio de la profesión **regulado legalmente,** mediante reglamentaciones y normas generales y específicas. En España, la función reguladora corresponde, en desigual medida, al Estado y al Colegio Profesional propio de la profesión (art. 1.3 de la Ley de Colegios Profesionales), y

j) El intrusismo profesional es un **delito** (art. 403 del Código Penal)".

En Europa, hasta qué punto los títulos académicos habilitan para el ejercicio profesional es una cuestión que **se resuelve de forma muy diversa,** según el Estado de que se trate e incluso, según la profesión titulada que se esté considerando.

No puede decirse que haya una correspondencia estricta entre los diferentes modelos de relaciones de la Universidad con el Estado y de la Sociedad Civil con los sistemas de habilitación profesional de los titulados superiores. No obstante, hay que señalar que:

– **El modelo de educación *napoleónico*** tiende a **automatizar la habilitación profesional a la consecución de un Título académico universitario,** mientras que **los modelos anglosajón y germánico** de relaciones Universidad / Estado / Sociedad Civil **supeditan dicha habilitación a un examen posterior a la finalización de los estudios universitarios;** además, en algunos casos se exige acreditar un periodo de prácticas tuteladas, como paso previo a dicha prueba.

– **En el modelo *anglosajón*** son los profesionales quienes, mediante unas pruebas teórico-prácticas efectua-

das por su organización corporativa, admiten en su seno al titulado, aspirante a ser reconocido como profesional; en la medida que una persona sea reconocida como tal por una organización profesional, la Sociedad Civil y el Estado hacen lo mismo al respecto, y

– **En el modelo *germánico***, es el Estado el que efectúa dicho examen, cuya superación favorable implica el reconocimiento profesional de la persona que se somete al mismo.

Por todos es sabido que en España, de acuerdo con el artículo 3.2. de la Ley 7/1997, de 14 de abril, de Colegios Profesionales, **existe la obligatoriedad de la inscripción en una corporación profesional**, y que los títulos universitarios habilitan automáticamente para el ejercicio profesional, con las matizaciones que se apuntan a continuación. No obstante, en el marco del proceso de armonización de todas estas cuestiones que está impulsando la Unión Europea, cada vez son más numerosos los casos, y las voces, que reclaman **unos años de prácticas profesionales** como paso previo a la aceptación social de que un titulado universitario es un profesional, responsable y competente. Sin embargo, no cabe duda que la Universidad española ha seguido muy fielmente el modelo napoleónico, tanto en su organización interna como en sus relaciones con el Estado y la Sociedad Civil.

No obstante, a pesar de los elementos de ruptura con el modelo napoleónico que tradicionalmente ha regido las relaciones entre Universidad, Estado y Sociedad Civil, en la Ley de Reforma Universitaria (L.R.U.). aún perviven elementos propios de dicho modelo.

En este sentido, en cuanto a **Títulos académicos,** es importante reseñar que, de acuerdo con la L.R.U. y del Real Decreto 1496/1987, pueden ser de **dos categorías:**

- **Títulos oficiales** con validez en toda España, que **surten efectos académicos plenos y habilitan para el ejercicio profesional** (LRU, art. 28.1; RD 1495/1987, art. 1 a 5, 8, 10, 11.3 y disposiciones adicionales 1 y 2; RD 1497/1987, modificado por RD 1267/1994). Así, en el Estado Español, el Título académico de Licenciado en Geología capacita para obtener el Título profesional de Geólogo, mediante la correspondiente colegiación en el Colegio Oficial de Geólogos de España.

- **Títulos y diplomas propios de la Universidades, de las que explícitamente no se reconocen efectos oficiales** (LRU; art. 28.3; RD 1946/1987, art. 6), como pueden ser el ámbito geológico los títulos propios de Graduado en Ingeniería Geológica, impartido conjuntamente por la Universidad de Barcelona y la Universidad Politécnica de Cataluña, el Título académico de Ingeniero Geólogo, impartido por la Universidad de Alicante y los Títulos de Master en Ingeniería Geológica y de Legislación y Normativa aplicada a la Gestión Geológica, impartidos por la Universidad Complutense de Madrid, cuyos Títulos profesionales no están otorgados, hasta este momento, por ningún Colegio Profesional.

En consecuencia, dentro de unos pocos años y en relación a su situación profesional, las universidades españolas estarán produciendo tres **tipos de titulados:**

1. Los que **posean un título reconocido por el Estado,** con su campo de actuación profesional reconocido y un colegio profesional que los representa ante la Sociedad y los poderes públicos. Es el caso, entre otros, de los licenciados en Geología, con el Título profesional de Geólogos.

2. Los que posean un título reconocido por el Estado, pero que aún no tengan reconocido ni el campo de actuación profesional ni el colegio profesional que les sea propio; a medio plazo estos titulados tienen expectativas de alcanzar la situación de titulados incluidos en el grupo anterior. Es el caso, por ejemplo de los Licenciados en Ciencias Ambientales.

3. Los que posean un título *propio de universidad* y por tanto no reconocido por el Estado, lo que significa que **no** tienen reconocido **ni** el campo de actuación profesional **ni** su colegio profesional y, además sus expectativas de alcanzar la situación de los titulados del primer grupo son más pequeñas y, en todo caso, inferiores a las de los titulados del segundo grupo. En este caso, están entre otros, el título académico de Ingeniero Geólogo.

No obstante, **el título académico de Ingeniero Geólogo** puede ser reconocido en el futuro por el Estado, como ocurre en el resto de Europa, e integrados en el Colegio Oficial de Geólogos de España, como propone este Colegio, pasando al tipo de títulos enunciados en primer lugar.

Como reflexión final conviene comentar que es de capital importancia que **los Planes de Estudio de la licenciatura en Geología se planteen un giro profesional** a la carrera, dado que **para establecer las normas asignadas de competencia profesional, es ineludible tener muy en cuenta cuál es la formación recibida por los geólogos profesionales.** Así, por encima de la competencia real de los geólogos en el ejercicio profesional, si un ente administrativo o jurisdiccional duda de la competencia profesional de un geólogo en una actividad profesional concreta, **habrá que estar al correspondiente currículo académico del geólogo**. Por ello, es importante reseñar que aparte del contenido concreto de cada materia, **el nombre de la asignatura y las descripciones de la misma adquieren importancia capital,** dado que de las mismas se derivan cada una de las competencias concretas para el ejercicio profesional del Geólogo. Para las Administraciones Públicas o para un Tribunal de Justicia, si los Planes de Estudio contemplan la asignatura "Geología Ambiental", los geólogos serán competentes en este campo. Si, en cambio, la asignatura se designa como "Geomorfología", aún teniendo el mismo contenido, será más difícil al ente administrativo o jurisdiccional asignar la competencia profesional en materia de Medio Ambiente.

Por último, dado que el mercado geológico evoluciona más rápidamente que los Planes de Estudio, y aunque exista la voluntad política de adaptar los mismos a las leyes del mercado, en algunos casos esto sería imposible. Quedarían lagunas de actividad, **competencias profesionales del geólogo no derivadas del Título de Licenciado en Geología.** Así, ¿qué titulado sería competente para realizar un estudio de suelos contaminados?, ¿o de un proyecto de residuos sólidos urbanos? Ambos difícilmente estarían cubiertos por una competencia legal o por una competencia profesional derivada de un Título académico. Estamos ante **las llamadas competencias de hecho**. Es competente el que el mercado diga que es competente por su excelencia profesional. Se llegaría a asignar la competencia profesional al profesional competente. **Se cumpliría nuestro lema colegial: la competencia para el competente.**

¿Adónde va Tindaya?

José Luis Barrera Morate

Vulcanólogo.

Si no fuera porque la Montaña Tindaya de Fuerteventura se encuentra ante un futuro medioambiental incierto, no estaría nuevamente escribiendo sobre ella. La otra vez, hace unos siete años, lo hice por motivos profesionales. Fue cuando el ITGE adjudicó al equipo de volcanología de la empresa Geoprín, el concurso para la ejecución de la Cartografía Geológica a escala 1:25.000 del Plan Magna, correspondiente a las 20 hojas de la isla de Fuerteventura. Esta oportunidad me permitió adquirir un conocimiento petrológico-volcánico sobre este excepcional intrusivo cuarzotraquítico que es Tindaya.

La preocupación medioambiental por la montaña surgió hace ya bastantes años, cuando se empezó la explotación de la traquita de Tindaya como piedra de cantería. Arqueólogos, historiadores, geólogos y geomorfólogos, entre otros, se movilizaron para impedir que la explotación industrial siguiera adelante. La lucha clásica entre industria-desarrollo y conservacionismo se hizo presente. Pero eran otros tiempos. Tiempos en los que la conciencia ambiental sólo la practicaba un número reducido de personas, y el desarrollismo industrial a ultranza, era el motor único de avance económico y social.

Con el aumento de la conciencia conservacionista, y la resonancia cada vez mayor que están dando los medios de comunicación al fenómeno Tindaya, lo que era una simple disputa local, trascendió la frontera insular y se ha convertido en una polémica internacional. Es posible que si el nombre de Chillida no estuviera por medio, probablemente el alcance de la cuestión hubiera sido menor. Sea como fuere, el caso es que la montaña espera pacientemente –mucho más que las partes implicadas en el conflicto– a que se decida su incierto futuro. El lenguaje que hablamos entre los hombres permite que nos entendamos y podamos discutir, pero la montaña tiene un lenguaje distinto, difícil de entender por muchos de nosotros y que necesita de un traductor. Ella, aunque solitaria y callada en medio del valle de Tetir, está hablando: ¡escuchémosla!

Fuerteventura es una isla oceánica que, como todas ellas, es de origen exclusivamente volcánico. Las primeras emisiones subaéreas tuvieron lugar en el Terciario, hace algunas decenas de millones de años. Desde entonces, su evolución volcano-estructural ha continuado con algunos lapsos de inactividad, hasta fechas relativamente recientes (unos 20.000 años). En ella afloran formaciones geológicas exclusivas de las Islas Canarias, como es el Complejo Basal, un conjunto de rocas submarinas y rocas plutónicas diversas (piroxenitas, gabros, sienitas, etc.), que representan las cámaras magmáticas del volcanismo ascendente. Igualmente su Complejo de rocas ultralcalinas, o el metamorfismo de contacto de rocas ultrabásicas sobre rocas ígneas básicas (único caso mundial conocido), son sólo algunas de las particularidades petrológicas de la isla. Por ello, Fuerteventura se convierte en un magnífico escaparate geológico-volcanológico donde estudiar todos los estadios de evolución magmática de un volcanismo oceánico. Pero..., en este panorama volcánico, ¿qué significa Tindaya?

Cuando los primeros volcanes basálticos en escudo comenzaron la construcción subaérea de Fuerteventura, en la isla afloraban ya formaciones de lavas submarinas y sedimentos mesozoicos de fondo oceánico, ascendidos tectónicamente a superficie más de 2.000 metros. Sobre ellos surge el primero de estos macroedificios basálticos, el de Gran Tarajal. Luego le siguen el de Jandia al SSO y el de Tetir, al NNE. Los tres se alinean según un eje volcano-estructural de ámbito regional tipo *rift* que, orientado N30°E, continuó su actividad en dirección a Lanzarote y el Banco de la Concepción. En su diferenciación geoquímica natural, estos magmas basálticos evolucionan a mag-



Montaña Tindaya (Fuerteventura).

mas sálicos de tipo traquítico, que ascienden a la superficie en su intento por convertirse en erupciones explosivas de peligrosidad diversa, según el volumen de magma disponible. Así, hacia el final de las primeras fases eruptivas basálticas de los tres edificios mencionados, se producen pequeñas intrusiones subvolcánicas traquíticas s.l, alineadas según el mismo eje estructural anterior, entre las que está Tindaya. Estos cuerpos ígneos representan, por tanto, el final de un episodio petrológico-geoquímico muy característico en la evolución temporal de muchos volcanes en escudo de islas oceánicas.

Montaña Tindaya, con una edad de 21 millones de años, es el intrusivo traquítico correspondiente a la diferenciación de la primera fase eruptiva del edificio basáltico de Tetir, también llamado norte por algunos investigadores. En planta presenta una forma elipsoidal con elongación norteada, ya que participa también del *rift* de intrusiones traquíticas (representadas por abundantes diques, y otros pitones subvolcánicos) que recorre toda la parte occidental de la isla en dirección NNE-SSO. Realmente, la intrusión traquítica de Tindaya es la expresión ensanchada de un dique que, en ese punto, intruyó de forma más amplia. Su particularidad volcánica consiste en ser el extremo final del gran corredor traquítico de la isla y ser el único cuerpo asociado a la construcción del edificio basáltico de Tetir. Petrológicamente, su especial naturaleza cuarzotraquítica le hace ser uno de los pocos intrusivos sálicos con esa composición dentro de todo el conjunto.

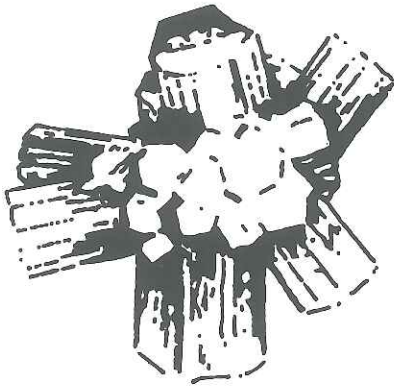
Pero aún hay más. La Montaña de Tindaya posee un valor geomorfológico y paisajístico como ningún otro cuerpo intrusivo de toda Fuerteventura, que se puso de manifiesto cuando la erosión pliocena lo dejó al descubierto. Una vez emplazado en el corazón del gran volcán de Tetir, las emisiones basálticas posteriores continuaron la construcción vertical del macroedificio. Varios de sus conductos de emisión procedían de la banda de *rift* que seguía activa en la costa occidental de la isla en aquellos periodos geológicos. Testigos de ellos se encuentran atravesando la intrusión de Tindaya en forma de diques basálticos paralelos y subverticales, orientados según la elongación de la montaña. La ausencia de actividad volcánica durante un lapso de tiempo importante, hizo que, como hemos adelantado anteriormente, la erosión descubriera el magnífico pitón traquítico. Su especial composición, y el hecho de estar «armado» por los diques basálticos (cual muro de hormigón) hicieron de él un potente baluarte ante los agentes erosivos. Mientras él resistía los embates atmosféricos, su entorno de coladas basálticas se deshacía lenta pero inexorablemente. De esta manera quedó solitario en medio del silencioso valle de Tetir, mostrando su resistencia desafiante, su extraordinaria belleza morfológica y su soledad amenazada. Tal vez no resista ahora la lucha del más mortal enemigo de la naturaleza: el hombre.

Evidentemente, la Montaña de Tindaya no es conocida ni social ni políticamente por ninguno de los aspec-

tos científicos que aquí se han expuesto. Su fama proviene de la explotación minera de su roca traquítica como piedra de cantería que, junto con las ignimbritas de Arucas y las fonolitas del norte de Gran Canaria, componen la triada de piedras de cantería más utilizadas en las construcciones del archipiélago canario. La roca es de textura microgranular y color ocre amarillento, similar al de cualquier arenisca terciaria peninsular, como por ejemplo la arenisca de Villamayor en Salamanca. Recientemente, y después de varios meses de negociación con la empresa explotadora, el Gobierno Canario ha procedido a la expropiación de las canteras. El objeto último de la expropiación es utilizar la montaña para la ejecución del Proyecto Tindaya que ha diseñado el escultor vasco Eduardo Chillida. El proyecto consiste en el vaciado de una parte de ella, creando una gran sala cúbica y un mirador al exterior, similar en cierta medida a lo que César Manrique hizo en el Mirador del Río en Lanzarote.

Por último, permítaseme una reflexión sobre este futuro artístico que se le quiere dar a Tindaya. Ya a comienzo de los años 90, durante la ejecución del Plan Magna, propusimos que se considerara Punto de Interés Geológico (PIG), y así figura en las fichas correspondientes del proyecto, no sólo por su valor geomorfológico, sino por la representatividad volcano-estructural que posee. Está muy bien que el Gobierno Canario haya procedido a su expropiación, pero no para los fines que pretende pues, en nuestra opinión, el deterioro ambiental que sufrirá el lugar por la llegada masiva de turistas no se compensará con los beneficios artístico-sociales que se pretenden. No tengo nada en contra del proyecto escultórico de Chillida, salvo que lo haga en Tindaya. No entiendo cómo un artista con formación de ciencias (recuérdese que es ingeniero) y una sensibilidad artística harto demostrada, no es sensible a la belleza que emana de la propia Ciencia Natural en forma de paisaje. El descubrimiento de Tindaya como ***Montaña Mágica*** (según palabras de Chillida), ya lo hicieron muchos siglos antes los aborígenes de la isla, fascinados por su belleza. En ella dejaron huellas de su admiración en forma de dibujos y petroglifos que aún se conservan y que, recientemente, han recordado en la prensa historiadores y arqueólogos. ¿Por qué empeñarse en reconvertir su magia a las modas actuales, y no admirarla tal y como la concibió la naturaleza, que algún respeto merece como hacedora también de belleza? Estamos ante un caso parecido al de la Mezquita de Córdoba. Como manifestación de dominio y humillación del hereje, los reyes cristianos «ocuparon» y destruyeron parte de la mezquita árabe. La catedral cristiana se impuso por la fuerza.

Hay otras montañas altas y preciosas en Fuerteventura en donde el proyecto de Chillida creo que sería posible. Si usted quiere, Don Eduardo, le acompaño a la isla y se las enseño. Así tendríamos la ocasión de consensuar su interés y el de la Geología.



MINERALES Y FOSILES
REGALOS-DECORACION

C/ Guzmán el Bueno, 133 (centro comercial)
28003 Madrid ESPAÑA
Teléf./Fax: 534 26 87

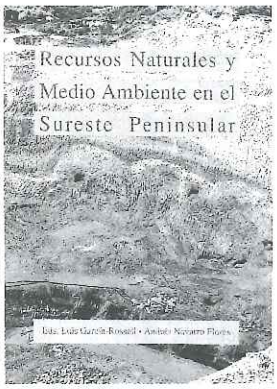
Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Sureste Peninsular

Luis García-Rossell y Andrés Navarro Flores (Eds.), 554 pp. Instituto de Estudios Almerienses, Diputación de Almería, 1997.

La adecuada gestión de los recursos naturales de un modo respetuoso con el medio ambiente es un tema que preocupa cada vez más no sólo a los científicos, sino a la administración en todos sus niveles, como lo demuestra la publicación del libro titulado Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Sureste Peninsular por parte del Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación de Almería en colaboración con el Ayuntamiento de Cuevas de Almanzora. Este libro recoge los distintos trabajos presentados en el «*Simposio de recursos y medio ambiente en el sureste peninsular. Investigación y aprovechamiento*». Celebrado en Cuevas de Almanzora en noviembre de 1994, con un carácter interdisciplinar trató temas como los recursos minerales e hídricos, geología, usos del suelo, fauna y flora, gestión de los recursos naturales y medio ambiente, etc; ubicados prácticamente en su totalidad, y salvo claras excepciones, en la provincia de Almería.

Cerca de la tercera parte de los trabajos presentados se refieren al estudio de los recursos minerales. Entre ellos se encuentran algunos artículos sobre la Comarca del Mármol (Macael y alrededores) en la Sierra de los Filabres, que constituye el núcleo más importante en la producción de mármol en España y uno de los más importantes a nivel mundial. Por un lado se examina el aspecto de su comercialización cuya mejora pasa por el desarrollo de Planes Integrados de Acción Comercial (PIAC); y, por otro lado, se analiza la incidencia de estas explotaciones en el medio ambiente, globalmente alta desde el punto de vista de su impacto visual, lo que supone la necesidad de realizar un Plan Global Medioambiental que defina las medidas a acometer para conseguir una adecuada protección sin impedir la extracción del recurso. Cerrando el tema, uno de los trabajos recoge la historia de la colección de lapidarios de mármol almeriense del museo Nacional de Ciencias Naturales. También se analizan las mineralizaciones de oro y mercurio, mostrando diversas metodologías para la delimitación de los yacimientos: análisis multivariante de los datos geoquímicos, detección y modelización teórica del transporte de vapor de mercurio, de manera que la comparación entre los resultados simulados y los datos reales de concentración de Hg medidos en el campo mediante el empleo de un detector de mercurio, pueden ayudar a localizar la profundidad de la zona mineralizada, sus características básicas e incluso aproximarse al conocimiento de la concentración inicial de vapor de mercurio en el foco. Otros trabajos estudian diversos aspectos de los recursos minerales: las posibles aplicaciones en la industria vitrocerámica y petrúrgica de las rocas volcánicas, tradicionalmente con un escaso aprovechamiento; viabilidad de explotación de los recursos en el núcleo minero de Mazarrón, considerando, además del volumen de reservas explotables, la relación estéril-mineral, el tratamiento mineralúrgico y el estudio de mercado de los productos, la Evaluación de Impacto Ambiental y el plan de Restauración, analizando así la rentabilidad del proyecto; los procesos de alteración y la mineralogía de los sulfatos en Sierra Almagrera; la mineralogía y la geoquímica del yacimiento de mordenita de los Escullos (Cabo de Gata); y, una perspectiva histórica y económica de la minería en Andalucía.

En cuanto a los recursos hídricos destaca por su evidente importancia el trabajo dedicado a la gestión de los mismos en la provincia de Almería, dado el reciente desarrollo experimentado en base a la imposición de una agricultura intensiva, cuyo mantenimiento plantea un importante problema por el déficit hídrico existente. Por ello, el autor propone como modelo de gestión para eliminar este déficit, la utilización de agua desalada, de aguas regeneradas procedentes de las residuales de los principales agrupamientos de población, y para el resto del déficit la realización de un trasvase desde el exterior. También, las aguas termales, de suma importancia en la provincia de Almería forman parte del recurso hídrico, siendo su conocimiento generalmente escaso, quizás debido a su calidad que plantea problemas tanto en el abastecimiento, al no ser potables según la reglamentación técnico-sanitaria, como en su uso agrícola.



Se analiza también otro aspecto básico como es el de la contaminación, estudiándose la problemática de la misma por metales pesados en suelos agrícolas de zonas áridas, y la contaminación de los acuíferos del Campo de Dalías y del Delta del Andarax, fundamentalmente los procesos de intrusión marina y las consecuencias de la elevada concentración de boro de las aguas del Andarax. Por otra parte, son fundamentales las investigaciones encaminadas al tratamiento de aguas orgánicamente contaminadas, mediante procesos fotocatalíticos en general y concretamente aprovechando la energía solar.

Por lo que respecta a la ordenación del territorio se presentan trabajos que van desde el desarrollo de una metodología que combina las observaciones de campo, fotografías aéreas e imágenes de satélite como un primer paso para el reconocimiento general del terreno que permita el establecimiento de unidades homogéneas para un determinado uso; hasta la aplicación del método de capacidad de uso de suelo, que determina si una zona es o no apta para un uso específico. No hay que olvidar la importancia que en el sureste peninsular plantea el problema de la desertización, analizándose en diversos trabajos la relación de este proceso con la puesta en cultivo de ciertos suelos, la cuantificación de los procesos de erosión hídrica y estabilidad de laderas frágiles en base a la experimentación sobre parcelas y cuencas instrumentalizadas, así como el desarrollo de los bad-lands, su génesis, principales procesos, descripción y sistematización.

Como buque insignia en el aspecto medioambiental de la provincia de Almería se encuentra el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, por lo que no podían faltar en esta publicación algunos trabajos desarrollados en él. Así, se analiza: la gestión de este espacio geológicamente singular por su origen volcánico y desde el punto de vista de la flora y la fauna, y cuyo balance resulta positivo, siendo de propiedad privada el 83% de su superficie y a pesar de las amenazas del turismo, las construcciones residenciales, la sobrecarga ganadera, la actividad urbanística ilegal y la minería a cielo abierto; el modelo de gestión de los humedales de importancia internacional; y la gestión de los recursos marinos con el programa de seguimiento de la colonización del arrecife artificial instalado y el diseño de un programa proteccionista que da cobertura a 490 ha. de las que se pretende erradicar la pesca de arrastre.

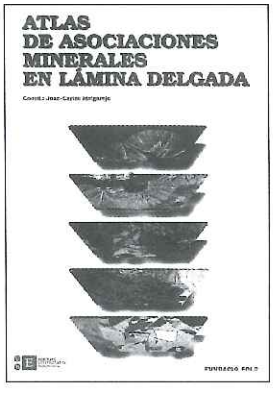
El resto de los trabajos recogidos en esta publicación tratan diferentes temas entre los que se encuentran: análisis de la correlación de epicentros de terremotos con la red de fallas del SE peninsular, lo que permite deducir un conjunto de segmentos de fallas activos, que corresponden fundamentalmente a las fallas de dirección NE-SW que se extienden desde Almería hasta Alicante; estudio de los recursos naturales, como el análisis de los factores que amenazan la estabilidad de los recursos naturales (florísticos y faunísticos) en el Parque Natural Sierra María-Los Vélez, o los georrecursos de la cuenca neógena de Lorca (Murcia), muy adecuados para su utilización en programas científicos y de educación ambiental; análisis de las variaciones climáticas; estudio de los aspectos biogeográficos; aplicaciones de los satélites meteorológicos polares al seguimiento de procesos medioambientales; y, vigilancia de la radiactividad natural, entre otros.

Mercedes Vallejo Ordóñez

Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada

Joan-Carles Melgarejo (Coord.), 1076 pp. Edicions Universitat de Barcelona, 1997.

Esta voluminosa obra es el resultado de la recopilación del conocimiento mineralógico y petrológico de un gran número de expertos, acerca del estudio de las asociaciones minerales y de su análisis en lámina delgada. Por un lado, el libro trata de ensalzar el estudio sistemático de las asociaciones minerales, basándose en que éstas son el resultado de unas condiciones determinadas de formación (temperatura, presión, pH, Eh, entre otras), y considera necesario su estudio teniendo en cuenta el aspecto sistemático (para el conocimiento científico), el petrogenético (que permite el establecimiento de criterios de clasificación) y el aplicado (para el conocimiento de especies minerales susceptibles de beneficio económico). Además, considera el factor de la *mineralodiversidad*, ya que de las aproximadamente 3.500 especies de minerales conocidas, un gran número no dejan de ser meras *curiosidades mineralógicas*. Por otro lado, el estudio de las mencionadas asociaciones mediante el método del análisis de las mismas en lámina delgada, es considerado como una herramienta básica al permitir una primera identificación inmediata con el único coste de elaboración de la lámina, lo que permite acotar el problema facilitando el trabajo posterior con técnicas mucho más caras y disminuyendo el coste del estudio.



La primera parte del libro es un manual de petrología que recoge el estado actual de los conocimientos sobre las asociaciones minerales tanto en medios naturales (todo tipo de rocas y yacimientos: minerales de la arcilla, depósitos de boratos, rocas volcánicas, meteoritos, etc...) como en otros sintéticos (petrografía del hormigón, asociaciones minerales en procesos cerámicos y degradación de edificios históricos); estableciendo los principios metodológicos para la interpretación de asociaciones minerales en lámina delgada (empezando desde la misma base, con una introducción a las técnicas de preparación de las muestras). Todos los capítulos recogen una extensa bibliografía, así como un buen número de figuras y tablas, y están agradablemente amenizados con fotografías, a todas las escalas.

La segunda parte (algo más de la mitad del libro) constituye el atlas propiamente dicho, con una descripción exhaustiva de unas 600 especies minerales mediante la elaboración de fichas que recogen las características ópticas de los minerales, fundamentalmente a través de magníficas fotografías que son a la vez representativas de las asociaciones minerales de la especie en cuestión. Estas descripciones van acompañadas también de una considerable bibliografía. Toda esta información está ordenada alfabéticamente, pero por la denominación inglesa de los minerales. Sin embargo, en las últimas páginas aparece un índice de estas fichas, ordenado alfabéticamente según los términos en castellano, lo que sin duda facilitará el uso de este atlas a los castellano-parlantes, aliviando en parte la dificultad intrínseca que supone el considerable peso de esta gran obra.

Mercedes Vallejo Ordóñez

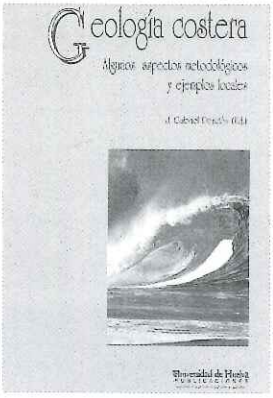
Geología costera. Algunos aspectos metodológicos y ejemplos locales

J. Gabriel Pendón (Ed.), 229 pp. Universidad de Huelva. Servicio de Publicaciones, 1997.

La idea de este libro nació en el marco del I Curso de Geología Costera, celebrado en 1995 dentro del programa de los cursos de verano de la sede iberoamericana de la Universidad Internacional de Andalucía. De los ocho capítulos que constituyen el libro, los tres primeros y el último están dedicados a la Costa de Huelva, y los otros cuatro recogen diversos aspectos relacionados con el estudio de la dinámica litoral en general, y con el análisis más concreto de diversos puntos de la costa peninsular en particular.

El libro comienza con una descripción del marco físico general actual del sector costero de la provincia de Huelva, comprendido entre las desembocaduras del los ríos Tinto y Guadiana, así como la caracterización hidrodinámica actual del mismo en función de los procesos actuantes y responsables de la dinámica sedimentaria (fisiografía y geología, clima, tectónica, mareas, régimen de vientos costeros, oleaje, aporte fluvial y otros factores). El capítulo también incluye la evolución histórica de dicha costa que se clasifica como de tipo mixto, pasando de ser una costa dominada por las mareas a un dominio del oleaje, haciendo especial hincapié en el estudio del estuario del Río Piedras.

En los capítulos segundo y tercero se analizan los estuarios de los ríos Odiel y Guadiana, respectivamente. En el primer caso, con el título de *Procesos sedimentarios y secuencias de facies en el estuario mesomareal del río Odiel (Huelva, España)*, el autor hace una descripción de este sistema en el que predominan los procesos de transporte y sedimentación frente a los de erosión con la consiguiente colmatación del estuario, y destaca la importancia de las oscilaciones climáticas locales sobre la sedimentación. El capítulo tercero muestra con el análisis de la desembocadura mesomareal del río Guadiana, un ejemplo de transformación de estuario en delta, donde el elevado aporte sedimentario y la posición constante del nivel del mar después de la elevación holocena han ocasionado un rápido relleno de la desembocadura. Finalmente, aunque después de un salto de cuatro capítulos, y como broche de este libro, se presenta un estudio comparativo de los estuarios de la Costa de Huelva mediante la caracterización de los más importantes a través de un breve itinerario geológico por la costa occidental de dicha provincia, y que constituye la guía de la excursión científica que se realizó durante la celebración del citado curso.



En el cuarto capítulo se interpretan los caracteres dinámicos y estratigráficos de algunos estuarios cantábricos, profundizando en los criterios de clasificación de estos sistemas fluviomarinos, zonaciones geomorfológicas y aspectos texturales. En el quinto capítulo se describen los complejos dunares litorales, sus estructuras sedimentarias, la clasificación en función de los distintos tipos morfológicos y su utilidad en el contexto ambiental de la costa. En el sexto capítulo se trata la aplicación de nuevas tecnologías a la dinámica costera, como los SIG y la Teledetección, recogiendo diversos aspectos metodológicos y realizando un repaso a las fuentes básicas de información y la tipificación y cuantificación de los errores que cada una de ellas conlleva. Y, por último el séptimo capítulo, titulado *Dinámica y regeneración de Playas. Gestión del litoral*, introduce una serie de técnicas recientes para la regeneración de playas, basándose en algunos ejemplos de la costa catalana.

Mercedes Vallejo Ordóñez

Guía ciudadana de los Riesgos Geológicos

Editado en versión española por Luis Suárez y Manuel Regueiro, 196 pp. Publicado en español por el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, 1997.

Esta práctica obra es una adaptación de la edición del *Instituto Americano de Geólogos Profesionales*, que ha sido realizada por un equipo de geólogos españoles. Sin embargo, el libro, que recoge fundamentalmente los riesgos naturales relacionados con la Geología, no constituye una simple traducción literal de la versión americana, sino que cada capítulo ha sido adaptado por los especialistas españoles a las características concretas de los riesgos geológicos en España. Para ello, los autores de la adaptación han desarrollado sus respectivos capítulos de acuerdo con la incidencia de cada tipo de riesgo geológico en nuestro país, incluyendo ilustraciones, gráficos, tablas, mapas y ejemplos concretos, correspondientes al suelo hispano. Además, en cada capítulo se ha incorporado un apartado concreto sobre la importancia de cada tipo de riesgo en España, así como una bibliografía específica española añadida a la recogida en la versión americana. Por último, a las tres partes en que se divide la edición americana se ha añadido una cuarta parte dedicada a *El Sistema Español de Riesgos Catastróficos*, realizada por el Consorcio de Compensación de Seguros.

El libro no pretende sustituir a los profesionales de la geología, sino simplemente informar a los lectores sobre la existencia de los riesgos geológicos, explicando los peligros que éstos plantean y exponiendo de manera sencilla cómo ayudan los geólogos a mitigar dichos riesgos. De este modo, constituye una introducción muy asequible a cualquier ciudadano sobre temas que la mayor parte desconocen. El libro ha sido redactado para lectores no científicos, con un uso reducido de palabras técnicas. El texto se complementa con numerosas ilustraciones en color procedentes tanto de la edición americana como de catástrofes naturales producidas en España, algunas de ellas muy recientes, como las inundaciones de Alicante del año 1997.

La primera parte de esta obra es una introducción en la que se pretende explicar a la sociedad qué es la geología, quiénes son los geólogos y para qué sirven, y cuáles son los riesgos geológicos y por qué se producen, con algunas indicaciones de cómo evitarlos en lo posible. Así, se pone en conocimiento de los ciudadanos españoles los riesgos geológicos existentes, desconocidos o no muy bien comprendidos por la mayor parte de la población, como son los efectos de los minerales reactivos o de los asbestos, o el fenómeno de la subsidencia; la proximidad de otros que, aunque conocidos, se consideran lejanos, como es el caso de los terremotos; y una información rigurosa sobre aquellos riesgos, quizás más conocidos en España por su frecuencia, sobre todo recientemente, como son las inundaciones. Por otra parte, el libro intenta inculcar a la sociedad los costes que supone la ignorancia geológica, capaz de aumentar los daños ocasionados por los riesgos geológicos, y la importancia de la comprensión del tiempo geológico, dentro del cual muchos procesos geológicos se convierten en peligrosos.



El desarrollo del tema que constituye la base del libro se recoge en las partes segunda y tercera, que se refieren a los riesgos producidos por los materiales y los procesos geológicos, respectivamente. En cuanto a los materiales cuya presencia puede constituir riesgos geológicos se han considerado, agrupados en tres capítulos independientes, algunos minerales reactivos, los asbestos, y el radón y otros gases peligrosos. Estos son temas que afectan muy directamente a la población, ya que las principales víctimas de las pérdidas económicas son los propietarios de viviendas construidas en aquellas zonas en las que los suelos expansivos o la utilización de materiales de construcción inadecuados pueden causar importantes daños en las estructuras. Del mismo modo, existe una gran controversia con respecto al radón y a los asbestos, permaneciendo parte de la población totalmente inadvertida de los peligros reales, mientras que otros sufren innecesarios miedos. En cuanto a los riesgos derivados de los procesos geológicos, se han tratado en seis capítulos: terremotos, volcanes, deslizamientos y aludes, subsidencia y hundimientos, inundaciones y riesgos costeros, todos ellos resultantes de los procesos dinámicos que caracterizan nuestro planeta.

Todos los capítulos, que están estructurados de manera similar para facilitar su consulta, comienzan con una explicación del riesgo concreto, en qué consiste y su naturaleza dentro del tiempo geológico, dónde y por qué se producen, indicando su distribución geográfica y los métodos de medida o cuantificación de la severidad del riesgo, así como los peligros que representan. También se tratan los costes que suponen y cómo podrían atenuarse las pérdidas derivadas del riesgo con los medios existentes, tanto a nivel tecnológico como humano, considerándose, el papel del geólogo en la reducción de los riegos. Además, se exponen las características concretas de cada uno de los riesgos en España, con datos y ejemplos ocurridos en toda la geografía hispana, junto a los tomados de la edición americana. Finalmente, en cada capítulo se añade a la lista de referencias bibliográficas y de vídeos de la edición americana, otra extensa lista correspondiente al riesgo geológico concreto en España.

La edición española incorpora una cuarta parte que trata acerca de la historia del sistema de cobertura de los riesgos catastróficos en España. Este sistema de cobertura, al igual que el desarrollado en otros países, surge como respuesta a las pérdidas ocasionadas por los eventos naturales, que desbordaban las previsiones más pesimistas de las compañías aseguradoras, haciéndose necesario un diseño de mecanismos específicos de compensación, capaces de dar respuesta aseguradora al ingente número de reclamaciones indemnizatorias a que pueden dar lugar los efectos catastróficos de algunos eventos naturales. En España, destaca la figura del Consorcio de Compensación de Seguros, que ha demostrado ser uno de los más eficaces del mundo, y cuyo funcionamiento se basa en los principios de *compensación* y *solidaridad*, siendo significativa la participación pública en la cobertura de algunos riesgos catastróficos. Este cuarto capítulo desarrolla las modalidades de intervención del Consorcio de Compensación de Seguros, los riesgos que cubre, la obligación de aseguramiento, los daños indemnizables, las sumas aseguradas, la franquicia y el plazo de carencia y la financiación del sistema. Finalmente, se incluye un resumen de la cobertura de riesgos catastróficos en otros países como Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón y Francia.

Para finalizar esta guía, la edición española añade los apéndices A y B en los que se recoge dónde obtener asistencia técnica de los geólogos profesionales, y dónde obtener ayuda de las organizaciones aseguradoras, respectivamente.

Mercedes Vallejo Ordóñez

Los minerales in



Las rocas y minerales industriales tienen una presencia constante en la vida cotidiana, si bien normalmente pasan desapercibidas para la mayoría de sus inadvertidos usuarios que, por lo tanto, desconocen su importancia.

Un breve recorrido por algunos de los principales objetos y materiales que nos rodean puede servir para destacar la extraordinaria relevancia que estas sustancias minerales han llegado a alcanzar en el mundo moderno.

Así, por ejemplo, es posible que cualquier ciudadano, al levantarse por la mañana en cualquier casa de cualquier ciudad del mundo, desconozca que la moqueta que pisa tiene una base de goma que contiene carbonato cálcico; que en la fabricación del vidrio de las bombillas de su sistema de iluminación y de los ventanales de su casa se ha utilizado, entre otros minerales, arenas de sílice, sosa y feldespato; que la cafetera que pone en marcha cada mañana se ha fabricado a base de vidrio y plástico, este último con un alto contenido en cargas minerales (carbonato cálcico, talco, etc.); y que los pavimentos de la cocina y del cuarto de baño son materiales cerámicos fabricados fundamentalmente a base de minerales industriales (arcilla en la pasta y feldespato, carbonatos, boratos, arcilla, sílice y pigmentos minerales en el esmalte). Es también posible que ignore que la taza donde bebe el café de la mañana y los sanitarios de su cuarto de baño son de porcelana, un material fabricado a base de cuarzo, feldespato y caolín, o que el papel de periódico o el libro que hojea mientras desayuna contiene, además de celulosa, carbonato cálcico o caolín y ha sido fabricado por procesos en los que se han empleado otros minerales como el sulfato sódico, la sosa, o la cal.

Probablemente no será tampoco consciente, mientras desayuna, que para el cultivo de los productos vegetales que constituyen parte de su dieta, es imprescindible el empleo de fertilizantes, compuestos por mezclas de minerales como potasas, fosfatos, azufre y otros minerales, o que la acidez del suelo vegetal donde se cultivaron, se controló a base de yeso o caliza, aunque el especial brillo de la piedra pulida (granito o mármol) que constituye la encimera de la cocina, si le recuerda ocasionalmente su procedencia natural.

Es poco probable, sin embargo, que pueda imaginar la existencia de sílice, pumita, o diatomita en los limpiadores abrasivos de la cocina, o de diatomita, carbonato cálcico o carbonato sódico en la pasta de dientes que utiliza por las mañanas. Tampoco que la barra de labios contiene carbonato cálcico o talco, si bien éste último se ha ganado un lugar en el cuarto de baño y en el aprecio de los ciudadanos en los archiconocidos «polvos de talco».

ustriales en la vida cotidiana

por Manuel Regueiro

Si nuestro pensativo ciudadano mirase hacia el techo o a las paredes de su casa, podría intuir muros de ladrillos recubiertos de un enlucido de yeso y falsos techos de escayola, materiales de construcción fabricados a base de rocas o minerales industriales. Incluso la pintura al temple que constituye el «gotelé» que recubre las paredes, se trata de una pasta de carbonatos (dolomita generalmente).

Antes de salir de casa es conveniente no olvidarse de cambiar la cama del gato, material compuesto por arcillas (sepiolita o bentonita).

El pavimento de acceso a la vivienda puede estar compuesto de losas de piedra, al igual que el recubrimiento de la fachada, e incluso el tejado puede que sea de pizarra o teja de arcilla cocida.

Al subir a su vehículo nuestro ciudadano no será consciente de que las cubiertas del vehículo son de goma, material que en su composición incluye arcillas y carbonato cálcico como cargas minerales, ni de que todo el material plástico que le rodea contiene minerales como wollastonita, mica, talco, arcillas, sílice o carbonato cálcico. Además la extraordinaria calidad de las pinturas que se emplean en los coches hoy en día se debe entre otras razones a los minerales que contienen: dióxido de titanio, caolín, talco, wollastonita, sílice, carbonato cálcico, etc.

Es de suponer que cuando se detenga en la gasolinera para repostar su vehículo, no advierta que esa aparentemente simple operación, se debe a que en algún lugar del mundo una cabeza de perforación o tricono recubierto de diamantes industriales atravesó las rocas hasta alcanzar un yacimiento petrolífero, labor en la que colaboró un lodo de perforación fundamentalmente compuesto por bentonitas y barita. En la fabricación de las gasolinas a partir del petróleo por craking catalítico, se emplean también arcillas y zeolitas.

Las carreteras por las que circula nuestro vehículo pueden ser de hormigón, material compuesto por una mezcla de áridos (gravas, arenas o piedra triturada) y cemento (para cuya fabricación se emplean fundamentalmente calizas y arcillas), o pavimento asfáltico, mezcla de áridos y asfalto.

Si nos detenemos a observar los edificios de nuestra ciudad, comprobaremos hasta que punto los minerales y rocas industriales son necesarios para su construcción. Hormigón, ladrillo o piedra constituyen los principales componentes de los edificios, pero si su estructura es de acero, es importante recordar que en la fabricación del acero intervienen minerales como la fluorita, bentonita y cromita, además de hornos forrados con ladrillos refractarios que a su vez se fabrican con bauxita, cromo, circón, sílice, grafito, cianita, andalucita, sillimanita y arcillas. El aislamiento de la mayoría de los edificios se realizar hoy en día utilizando fibra de vidrio, cuyas materias primas son las mismas que las del vidrio. Las estructuras de hormigón ligero se basan en el empleo de arcillas expandidas o de perlitas (una roca volcánica especial).

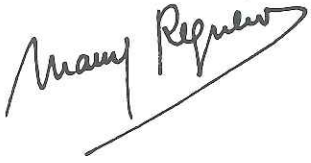
Una vez en el lugar de trabajo, algunos de los objetos que utilizamos habitualmente tienen minerales industriales. Así los lápices se fabrican a base de grafito y arcilla y los papeles copiativos contienen bentonitas. La mayoría de las revistas y catálogos tienen ese tacto especial del papel satinado gracias al caolín, carbonato cálcico u óxido de titanio que contienen. Incluso las tintas empleadas en la impresión contienen carbonato cálcico. Los sistemas de comunicación modernos utilizan multitud de minerales industriales. Así el conocido chip de sílice se fabrica a base de cuarzo y la fibra óptica que hoy se emplea en las comunicaciones se fabrica a base de vidrio. Los monitores o pantallas de televisión o de los ordenadores son de vidrio, pero también carbonato de estroncio (fabricado a partir de celestita), fósforo, tierras raras o litio. La fabricación de superconductores implica el empleo de muchos minerales industriales (ytrio, lantánidos, titanio, circón, barita).

La mayor parte de las industrias consumen un enorme número de minerales industriales. Así en la industria alimentaria se emplean diatomitas en el filtrado de zumos, cervezas, vinos o aceites y calizas y cal en el proceso de fabricación de azúcar. La sal, componente fundamental de cualquier mesa es también un mineral industrial.

La industria farmacéutica emplea carbonato cálcico en los antiácidos y dolomita, caolín o paligorskitas para la fabricación de medicamentos para el dolor de estómago; la tintura de yodo o los medicamentos a base de litio para los problemas mentales son otros ejemplos de usos farmacéuticos de minerales.

En la industria de los abrasivos, el papel de lija o las limas de uñas, las pastas de pulir para pulido de pinturas o de cuberterías se fabrican utilizando arena de sílice, pumita, granate, diatomita, corindón o esmeril. La limpieza de grandes barcos con chorro de arena se realiza empleando también arena silícea o granates.

Por último, para completar este breve repaso de la inmensa cantidad de rocas y minerales industriales que nos rodean durante nuestra vida quizás podamos mencionar que incluso el recuerdo de nuestro paso por ella probablemente quede inscrito en nuestro lugar de reposo eterno en una lápida, que, naturalmente, será ¡de piedra natural!



El «Garum»: Facies y gastronomía

*por Jaime Palacio Suárez**

Desde el punto de vista geológico el «Garum» puede ser: una unidad lutítica con frecuentes inclusiones de niveles conglomeráticos, así como de otros más finos de lutitas ocres y grises, que incluso puede llegar a contener horizontes limolítico-calcáreos (caliches) y además, fauna marina de alveolinas y orbitolites, por ejemplo. Su color es también mezcla de ocres, grises y otros en general poco limpios, pero con claro predominio del rojo intenso, por ello y por su heterodoxa y heterogénea composición se le conoce con esa denominación, que si no desde el Paleoceno, procede al menos de 400 ó 500 años antes de Cristo.

El «Garum» nació e identificó a la cocina romana. Consistía fundamentalmente en una papilla de peces en salazón y en descomposición cuyo olor era, en la mayoría de los casos, un insulto para cualquier pituitaria medianamente cultivada, pero muy apreciada como condicionante del sabor final de un plato.

Como corresponde a cualquier producto gastronómico que se precie tampoco hay un acuerdo sobre la auténtica receta del «garum» y así mientras Gargilius Martialis nos dejó una fórmula de elaboración consistente en:

«En una vasija sólida de unos treinta litros, se sitúa una primera capa de pescados del grupo del salmón, anguila y sardinas (ricos en grasas), se colocan encima hierbas aromáticas (cuantas más mejor), a continuación otra capa de pescado y posteriormente dos dedos de sal, repitiendo el ciclo tantas veces como sea necesario hasta completar la vasija. Se deja marinar la mezcla durante una semana y durante los siguientes veinte días se remueve el fondo. Basta por último recoger el líquido formado y tirar los restos sólidos».

Plinio, por el contrario, opina que el «garum» de su época se hacía sólo con los intestinos de los pescados, las hierbas y la sal.

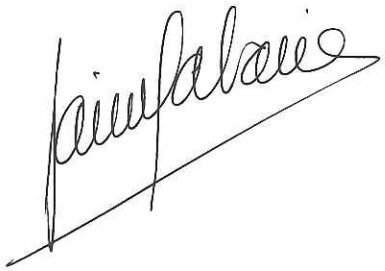
Existe además la evidencia de que a partir del siglo I el pescado exclusivo para la elaboración del «garum», era la caballa procedente de las costas españolas.

Más geológica, como la receta de Gargilius (con sus capas y ciclos sedimentarios) o menos como la de Plinio, lo que parece evidente es que el «garum», indispensable por su toque de sabor, ofendía todas las narices y algunos paladares, hasta el punto de que ciertos cocineros y entre ellos el gran Apicio (una especie de Paul Bocusse o Juan Mari Arzak de la época) lo variaban mezclándolo con hierbas para suavizar su pestilencia.

Apicio lo mezclaba con hierbas aromáticas, miel y vino. Su fama y riqueza le permitieron realizar experimentos gastronómicos difícilmente reproducibles, se cuenta que cebaba a sus ocas con higos secos y las mataba con vino y miel. Plinio cuenta que mataba los mújoles, por los que pagaba verdaderas fortunas en subastas públicas, sumergiéndolos en «garum», para luego aprovechar el hígado únicamente.

Apicio fue una leyenda gastronómica creada en tiempos de Tiberio que perduró hasta la actualidad. Hay una evidente relación entre el «garum» y la llamada salsa de ostras de la cocina china. Otra cosa es el «garum» que aún hoy se hace en Mérida y en el litoral catalán, preferentemente en Tarragona, convirtiendo el maloliente aderezo romano en delicioso aperitivo a base de anchoas o sardinas saladas, aceite, ajo y hierbas aromáticas.

Desgraciadamente nuestro «garum» sigue siendo heterogéneo, heterodoxo, rojizo, paleoceno, mezcla abigarrada de litologías y fauna marina y sobre todo poco o nada apreciado por las actuales Tiberio, Nerón, Calígula, Trimalción, Lúculo..., con lo cual cada día se hace más difícil subsistir en este mundo de la restauración sobre todo si para mayor cúmulo de dificultades ser un Apicio, además, no es tarea ni mucho menos sencilla.



* Director de Investigación Geológica y Geología Aplicada de INYPSA y Miembro de la SEGAOT.

LAS CATASTROFES GEOLOGICAS MATAN CADA AÑO A MAS DE 100.000 PERSONAS

Estos eventos naturales generan pérdidas de billones de pesetas a la economía mundial

Colabore en la prevención de estas tragedias, convirtiéndose en un ciudadano informado y reivindicando la realización de estudios geológicos solventes. Estas pérdidas pueden evitarse en un 90 % de los casos, sensibilizando a los poderes públicos para que pongan en práctica políticas adecuadas de desarrollo urbanístico y planificación de territorio que tengan en cuenta la prevención de los riesgos geológicos.

La *GUIA CIUDADANA DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS,* editada en versión española por **L. Suárez** (RENFE) y **M. Regueiro** (UCM/ITGE) y publicada por el **Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España** (ICOG), con la colaboración de los mejores geólogos especialistas del país **(J. L. Barrera, R. Capote, J. J. Durán, M. Ferrer, L. I. González de Vallejo, F. Quiralte** y **M. Hernández)** y de los expertos **del Consorcio de Compensación de Seguros,** supone una valiosa adaptación a la situación de los riesgos geológicos en España del libro original ***The Citizens' Guide to Geological Hazards*** realizado por **el Instituto Americano de Geólogos Profesionales** (AIPG). Contiene más de 145 ilustraciones en color, amplias referencias bibliográficas de libros, artículos y vídeos, tablas de datos, índice y diversos apéndices informativos. Proporciona explicaciones concisas sobre los riesgos geológicos generados por asbestos, radón, minerales reactivos, terremotos, volcanes, deslizamientos, subsidencia, inundaciones y procesos costeros. También resume el papel que juegan los profesionales de la geología en el estudio y mitigación de estos riesgos y analiza el sistema español de cobertura de los riesgos catastróficos (212 páginas).

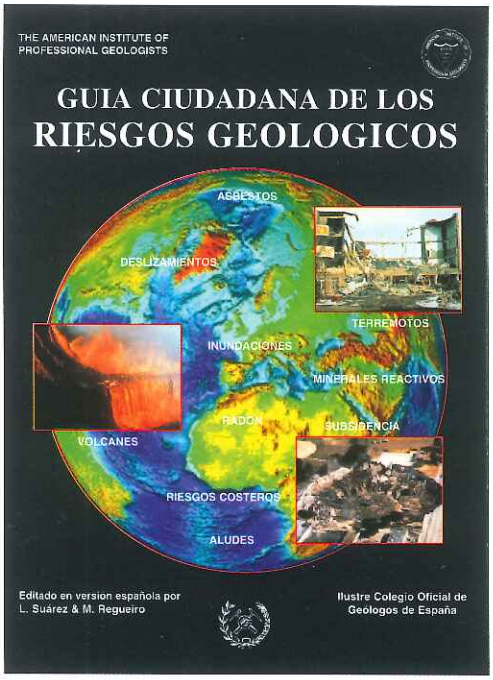
La guía incluye como complemento opcional un juego de diapositivas de 35 mm, con las imágenes del libro, para su empleo con fines educativos.

La *GUIA CIUDADANA DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS* es una lectura imprescindible para todo el mundo. Este libro representará un antes y un después en su vida y en la de su comunidad. Está especialmente indicado para ayudar a:

Propietarios de viviendas	Legisladores	Ingenieros	Abogados
Arquitectos	Urbanistas	Inmobiliarias	Economistas
Aseguradores y mediadores	Políticos	Bancos Hipotecarios	Geólogos

¡REACCIONE AHORA! No deje que usted o su comunidad se conviertan en una cifra más de una trágica estadística. Esté informado y exija a los poderes públicos que las decisiones que tomen, estén basadas en estudios geológicas profesionales.

¡LA VIDA Y LAS PROPIEDADES QUE PUEDE UD. SALVAR PODRIAN SER LAS SUYAS!



¡Sí! TARJETA DE PETICION

¡Sí! ruego me envíen ..... ejemplares del libro, al precio de 3.495 ptas. ❒ No colegiados
+ 700 ptas. para gastos de envío 2.995 ptas. ❒ Colegiados

TOTAL .....

CIF o DNI: .....

NOMBRE: .....

EMPRESA: .....

CALLE: .....

POBLACION: .....

CP: ..... TFNO.: .....

FECHA: ..... Firma:

FORMAS DE PAGO

A nombre del Colegio Oficial de Geólogos de España

❒ Adjunto cheque por ..... ptas.

❒ Transferencia Bancaria a la C/C n.º 0075/0075/77/0601372378 BANCO POPULAR (Ag. 0075). Glorieta de Cuatro Caminos, n.º 4. 28003 MADRID. (Adjuntar fotocopia)

Se ruega remitan sus pedidos a: ICOG, Avda. Reina Victoria, n.º 8, 4.º B. 28003 MADRID
Teléfono: 91 553 24 03 - Fax: 91 533 03 43

Declaración de Girona sobre el Patrimonio Geológico

I. La Tierra es un planeta singular. Hoy por hoy el único donde se conoce existencia de vida. Los mecanismos de la evolución, geológica en primer lugar y biológica posteriormente, han condicionado, a lo largo de los 4.500 millones de años de la Historia terrestre, la existencia de una extraordinaria Biodiversidad, compuesta por millones de especies entre las que el hombre ocupa un lugar preponderante.

II. La relación entre el hombre y la Tierra ha sido, desde su aparición en el pasado geológico reciente, muy estrecha. El hombre forma parte del planeta y comparte con él un fragmento de su historia. La especie humana es la única capaz de reconstruir la inmensa colección de eventos acaecidos a lo largo del tiempo geológico.

III. Las evidencias de esta dilatada y cambiante historia no se han perdido. El registro geológico, representado por una enorme variedad de formas, depósitos sedimentarios, rocas, fósiles, minerales y otras muchas manifestaciones geológicas, constituye un testimonio fundamental para el conocimiento de la memoria de la Tierra, de los climas y paisajes del pasado, y de las variedades biológicas y geológicas del presente. El conocimiento de lo acontecido en el pasado es primordial para valorar en su verdadera dimensión los fenómenos y procesos actuales, así como para elaborar modelos predictivos del futuro.

IV. La historia de la Tierra, como cualquier historia, no es un continuo absoluto, al menos por lo que hace referencia a los archivos conservados. Posee hitos especialmente significativos en el tiempo, y lugares o puntos que reflejan procesos de especial interés, que el hombre tiene el derecho a conocer y, consecuentemente, la obligación de conservar. Esta serie de elementos geológicos singulares, representativos de la historia geológica de cada región en particular, y de la Tierra en su conjunto, constituye el Patrimonio Geológico.

V. El Patrimonio Geológico es un bien común, perteneciente a cada individuo, a cada comunidad y, en último término, al conjunto de la humanidad. Su destrucción es casi siempre irreversible y conlleva la pérdida de una parte de la memoria de la Tierra, dejando a las generaciones futuras sin la posibilidad del conocimiento directo de parte de su evolución y de su historia.

VI. El Patrimonio Geológico está íntimamente unido al medio natural, al medio físico, al medio ambiente. Su conservación, absolutamente necesaria e indisociable de la del Patrimonio natural y cultural en general, es un rasgo de las sociedades culturalmente avanzadas. De igual manera, una política ambiental y de conservación de la Naturaleza que no contemple adecuadamente la gestión del Patrimonio Geológico, nunca será una política ambiental correcta.

VII. El Patrimonio Geológico, adecuadamente gestionado, puede llegar a constituir una pieza fundamental del bienestar social y económico de su entorno, además de contribuir eficazmente al desarrollo sostenible de los ambientes rurales donde generalmente se localiza y avanzar así en el camino de un mayor entendimiento entre el hombre y la Naturaleza. Igualmente, el Patrimonio Geológico es un elemento necesario para la educación ambiental.

VIII. Se hace imprescindible aplicar a corto y medio plazo la legislación vigente con vistas a una eficaz protección del Patrimonio Geológico, aprovechando las figuras legales existentes en las normativas internacionales, nacionales, autonómicas o locales, o crear otras complementarias o específicas, que contemplen y traten adecuadamente los Puntos y Lugares de Interés Geológico.

IX. Cada persona, cada administración, cada gobierno, tiene la obligación de ejercer acciones para dar a conocer, proteger, difundir y poner en valor el Patrimonio Geológico, en los distintos ámbitos que le sean propios: local, regional, nacional e internacional.

X. Por último, es necesario que los responsables de las diferentes Administraciones Públicas y Centros de Investigación, técnicos, científicos, investigadores, ambientalistas, naturalistas, ecologistas, periodistas y educadores, se movilicen activamente en una campaña de sensibilización del conjunto de la población a fin de lograr que el Patrimonio Geológico, indudable cenicienta del Patrimonio, deje de serlo, en beneficio de todos.