Nº 27 • PRIMER SEMESTRE 2005

Tierra y Tecnología

REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACIÓN GEOLÓGICA



Cena de Navidad 2004 con la Ministra de Vivienda

La paleosismología lacustre: gran fuente de datos sísmicos

Kargaly: esplendor minero en la edad de Bronce

Un nuevo paradigma geológico: la geobiología

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

Editorial

a vueltas con los riesgos geológicos

No hay un mes que la prensa nacional o internacional no nos sorprenda con la noticia de alguna catástrofe natural. En los últimos doce meses, sólo entre el maremoto del Índico, ocurrido en diciembre de 2004, y el huracán Katrina, agosto de 2005, que azotó la costa sur de Estados Unidos, ha habido miles de víctimas mortales y millones de personas desplazadas. Las estadísticas a nivel mundial señalan que el número de catástrofes naturales de origen geológico está aumentando de manera sensible, mientras que el número de fenómenos naturales violentos, como terremotos, erupciones volcánicas, maremotos, lluvias torrenciales, permanece casi constante. Y... ¿qué decir de los deslizamientos de tierra? Pues que su estadística resulta más dramática, ya que no crecen al mismo ritmo que los otros desastres naturales, sino que lo hacen exponencialmente. Nuestra interacción en el relieve terrestre va en aumento y, por tanto, cada vez es más desestabilizadora. El relieve que la naturaleza ha estabilizado en miles de años, a través de los procesos exógenos, nosotros lo desestabilizamos solo en meses. Como decía recientemente el profesor Cendrero, de Santander, tenemos que ir hacia una Geomorfología sostenible si queremos reducir la incidencia catastrófica de estas intervenciones.

¿Por qué ese aumento tan preocupante de las catástrofes naturales de tipo geológico? Pues por una razón bien sencilla. Porque la población, por circunstancias diversas, se establece en terrenos con alto riesgo natural, incrementando, por tanto, la probabilidad de que se produzca una catástrofe. No es lo mismo riesgo natural que catástrofe. El riesgo supone la probabilidad de que un fenómeno natural violento se produzca, mientras la catástrofe se mide por la cantidad de daños que producirá si se desencadena. Hay un riesgo muy alto de que el volcán Erta Ale, en Etiopía, entre en erupción, pero la catástrofe que ocasionaría sería casi nula por ausencia de población..

Desafortunadamente, la mayoría de la población mundial desconoce, o ha olvidado, pues la memoria histórica es corta, muchos de los riesgos naturales o asumen convivir con ellos. No tienen otro lugar donde irse. Pocos recuerdan ya, si es que hay alguien que lo sepa, excepto los estudiosos, que en las costas de Cádiz y Huelva hubo casi 2.000 muertos por efecto del maremoto asociado con el terremoto de Lisboa, en 1755.

Esta claro que con una baja conciencia del riesgo y con escasa información sobre él, la catástrofe está asegurada. La población mundial aumenta y se asienta donde puede o donde le dejan. ¿Qué hacer ante esta marea demográfica que ocupa lugares de riesgo? En la medida en que sea posible, prevenirse. Los países ricos lo hacen con medidas estructurales costosas, y con amplias campañas educativas e informativas. En los países pobres, sin recursos, bastantes problemas tienen para sobrevivir como para estar pendientes de las catástrofes naturales.

En España, la conciencia de los riesgos naturales no está aún muy extendida. Solo hay que recordar los últimos desastres, como el del camping de Biescas, las inundaciones permanentes en las costas mediterráneas, los deslizamientos de ladera, etc, para concluir que nos falta mucho por hacer. Afortunadamente, varios organismos públicos, en donde la presencia de geólogos empieza a ser notable, acometen con mayor energía acciones encaminadas a la mejora de la prevención. Así, ya desde hace años, el Instituto Geológico y Minero de España viene actuando en el conocimiento, prevención y mitigación de los riesgos geológicos, con la ejecución de mapas de riesgo u otras actuaciones informativas que deberían entregarse a los propios los municipios afectados para que los consideren en sus planes generales de ordenación. Desarrolla también metodologías e investigaciones de la peligrosidad geológica, modelizando los procesos geológicos y geotécnicos potencialmente peligrosos.

También, otro organismo público como la Escuela de Protección Civil, al mando felizmente de una geóloga, organiza algunos cursos sobre riesgos geológicos, aunque su campo de actuación es mucho más amplio que el estrictamente geológico.

Por su parte, el ICOG, en su línea de colaborar en la tarea de concienciación colectiva del peligro de los riesgos geológicos, bastante desconocidos y obviados, en muchas ocasiones, por los gestores públicos, ha organizado recientemente su I Curso de Gestión de los Riesgos Naturales. Los riesgos no solo hay que conocerlos, prevenirlos y mitigarlos, sino que también hay que saber gestionarlos. Esta iniciativa es solo una de las múltiples que se deben realizar para cumplir con el mandato social de asegurar la vida de las personas y la integridad de sus bienes. Evitar que haya administraciones locales o autonómicas que sigan sin tener en cuenta los riesgos geológicos en la planificación territorial, es una obligación inexcusable para aquellas instituciones que, como el ICOG, apuestan por la calidad de vida, el desarrollo sostenible y la seguridad ciudadana. ■

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
Tel.: 915 532 403
icog@icog.es · www.icog.es

COMITÉ EDITORIAL
Editor principal
J. L. Barrera Morate

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

Corresponsales
Luis Alfonso Fernández Pérez (Asturias)

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

Diseño
Teresa del Arco Rodríguez
TECNA, SL

Maquetación
Juan González Cué
TECNA, SL
Tel.: 915 780 226. Fax: 915 780 248
www.tecna.org
madrid@tecna.org

Imprenta
Grafistaff, SL

Foto de portada
María Garrido Gil
Islandia. Zona geotermal de Geysir

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 27
primer semestre · 2005

CELEBRACIONES
5 • Cena de Navidad 2004 con la ministra de Vivienda Mª Antonia Trujillo

RIESGOS GEOLÓGICOS
15 • La paleosismología lacustre: gran fuente de datos sísmicos. *M.A. Rodríguez Pascua*
27 • Nueva Orleans: crónica geológica de un desastre anunciado. *Andrés Díez Herrero*

HISTORIA DE LA GEOLOGÍA
29 • Kargaly: esplendor minero en la edad de Bronce. *Salvador Rovira Llorens y María Isabel Martínez Navarrete*

OCEANOGRAFÍA
39 • Geomorfología submarina, ejemplos del margen continental español. *Juan Acosta Yepes*
57 • Productividad oceánica: conceptos, principios y base analítica. *Alfonso Pardo*

BIBLIOTECAS
65 • La biblioteca del IGME y sus colecciones. *Margarita Gutiérrez Gárate*

HIDROGEOLOGÍA
71 • Las aguas embotelladas en estados diminutos y territorios dependientes insulares. *Marc Martínez Parra*

MINERÍA
83 • El futuro inmediato en las minas de metales preciosos del sudeste español. *Francisco Hernández Ortiz*

INGENIERÍA GEOLÓGICA
89 • Estudio informativo de la Radial 1: un itinerario geológico didáctico. *Ignacio Piedra Morales*

BREVES
95 • Nuestra Sede Colegial asediada. *Carlos Manera Bassa y José Ignacio Gallego García*
99 • Ficheros de datos del ICOG. BOE núm 143 Jueves 16 de junio de 2005

MEDIO AMBIENTE
101 • Una visión ampliada de la teoría de placas tectónicas. *Octavio Apalategui Isasa*
107 • Un nuevo paradigma geológico: la geobiología. *Juan Carlos Mirre Gavalda*

RESEÑAS
116 • Pérdidas por terremotos e inundaciones. *Andrés Díez Herrero*
117 • Íntima geometría. Guadalupe Luceño. *Luis Luna*

RÉPLICA
119 • Pérdidas por inundaciones en España. [Réplica]. *Luis I. González Vallejo*

PREMIOS
122 • VII Certamen Fotográfico Emilio Elizaga.

Mª Antonia Trujillo

Cena de Navidad 2004 con la ministra de Vivienda

El Colegio de Geólogos ha convertido su anual cena coloquio de Navidad, celebrada el 21 de diciembre, en una grata tradición. En la del último año de 2004, todos los asistentes pudieron constatar cómo se ha ido transformando, no en una fría y convencional reunión profesional, sino en un lugar de encuentro, en un acto que alejado de excesivos protocolos no ha prescindido, sin embargo, de un excepcional marco como es el del Casino de Bellas Artes de Madrid

La distendida y cordial presencia de Maria Antonia Trujillo, ministra de Vivienda, ha contribuido a convertir la velada en un escenario de amigable charla y de intercambio de impresiones. Acompañándola asistieron también al evento parte del equipo directivo del ministerio: el Secretario General, Javier Ramos, el Director General de Vivienda, Francisco Pacheco, el Director General de Urbanismo, Marcos Vaquer Caballería, y el Jefe de Gabinete de la ministra, Enrique Álvarez. Otros asistentes relevantes fueron el Secretario de Estado de Universidades e Investigación, el colegiado Salvador Ordóñez, el Director General del IGME, el colegiado José Pedro Calvo Sorando, y el decano de la facultad de CC. Geológicas de la UCM, Eumenio Ancochea.

La noche comenzó con un cóctel en el patio central del Casino, en el que los asistentes pudieron conversar y tras el cual se dio paso, ya en el espléndido salón de baile del edificio, a las intervenciones del Presidente y Vicepresidente del ICOG, en las que se plantearon cuestiones de interés para los colegiados y se exhortó a la ministra a la colaboración entre la administración y los colectivos profesionales, sobre todo, el de Geólogos. Sorprendió la ingeniosa y oportuna presentación que se hizo del perfil humano de la nueva ministra, seguida por su medida intervención en medio de un cálido ambiente. Posteriormente, se procedió a la entrega de las distinciones 2004, como la que entregó la ministra a Diego Caballo Ardila, Jefe de la edición gráfica de la Agencia EFE, como Miembro de Honor del ICOG, por su abnegada labor en el jurado de los premios de fotografía Emilio Elízaga que concede el colegio. A continuación se siguió con la cena.

A lo largo de toda la noche, la velada transcurrió en un tono más propio de una reunión de amigos que de un acto político, a pesar de que el acto estuviera presidido por altos cargos de la administración y otras personalidades del mundo profesional. Tras la cena, en la que no dejó de sorprender el atrevido entrante de unas lentejas con foie, se dio paso a unas cuantas preguntas que resumían las preocupaciones de los colegiados, y que fueron respondidas por la ministra con mucha soltura y desde la propia mesa en la que se hallaba sentada, no queriendo acceder a responder desde la tribuna, tal vez con la intención de que se mantuviera el clima más propio de un coloquio que de unas declaraciones meramente políticas.

Al término del acto la ministra accedió a las consabidas fotos, y se rompió con la rigidez que imponen las mesas, para pasar a la relajada conversación de compañeros, amigos, y conocidos. Los más rezagados mantuvieron animadamente la charla y una gran parte de los asistentes aún tuvieron fuerza y ganas de acercarse al Palacio de Gaviría para bailar hasta altas horas de la madrugada.



Mesa presidencial.

DISCURSO DEL PRESIDENTE DEL COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS D. LUIS EUGENIO SUÁREZ ORDÓÑEZ

Excma. Sra. ministra de Vivienda, Autoridades y Personalidades, Invitados y Colegiados

Un año más los geólogos españoles y nuestros invitados nos reunimos para celebrar la tradicional cena-coloquio de Navidad con un alto responsable de la Administración.

Este año la Junta de Gobierno del Colegio, atenta a los temas que interesan a los ciudadanos y, por ende, a los geólogos, ha creído oportuno invitar a la máxima autoridad responsable de la política de vivienda en España.

Por ello, tenemos el honor de ser los anfitriones y contar con la presencia de Dª. María Antonia Trujillo, ministra de Vivienda. Con este foro posibilitamos que nuestra invitada nos pueda transmitir sus propuestas y que seamos capaces de trasladarle la opinión de los geólogos españoles en los temas de su competencia.

El Colegio Oficial de Geólogos de España es el primer Colegio postconstitucional, dado que su Ley de creación se publicó veinte días después de promulgarse la Constitución española en 1978.

La ley de leyes española establece la función constitucional de los Colegios profesionales en su artículo 36, que tipifica que "la ley regulará las peculiaridades propias del régimen jurídico de los Colegios profesionales y el ejercicio de las profesiones tituladas". Sin embargo, 26 años después de la promulgación de nuestra constitución, todavía está vigente la Ley de Colegios Profesionales de 1974, con modificaciones cosméticas.

El ordenamiento jurídico español se rige por una ley estatal de Colegios profesionales preconstitucional. Hemos desaprovechado más de dos décadas de construcción de la democracia en España, para abordar una reforma del sistema corporativo de los colegios profesionales, que generara unas mayores dotes de eficiencia y competencia de los colegios y entre las diferentes profesionales, cuyos beneficiarios últimos serían los ciudadanos.

Esto ha ocurrido, porque los Colegios profesionales y la Administración del Estado han estado de espaldas, sin saber que hacer con la patata caliente del sistema corporativo en España. Los partidos políticos ante la autohibernación de los Colegios han reaccionado con una política de obstrucción en la aprobación de Estatutos colegiales hasta 1996, y reformando la Ley de Colegios en lo referente a medidas liberalizadoras, o cercenando la participación de los Colegios en la sociedad en leyes, como la Ley de Reforma Universitaria de 1983 o la Ley Orgánica de Universidades, la LOU, de 2002.

Esperamos y confiamos que en los próximos Reales Decretos de adaptación de las enseñanzas universitarias al espacio Europeo de Enseñanza Superior, el llamado convenio de Bolonia, se recoja en el texto articulado y no en la exposición de motivos, sin aplicación real alguna, la participación de los colegios en la



El presidente del ICOG, Luis Suarez, dirigiendose al público.

creación de títulos, y en sus directrices generales, en los consejos sociales y en las competencias profesionales.

Este discurso transformador del sistema corporativo español, que presentamos en la cena colegial de Navidad de 2001 a José Luis Rodríguez Zapatero, si se lleva a cabo un uso eficaz del tiempo político, puede convertirse en una realidad.

Si revisamos el vídeo de la aquella cena colegial, nos percataremos, cómo el actual Presidente del Gobierno cumplimentaba la hoja de ruta política para el desarrollo constitucional de los Colegios Profesionales. En su discurso nos transmitía que hace 20 años un empresario era considerado en España como alguien que tenía una voracidad insaciable para su beneficio y que cumplía un escaso papel social.

Hoy en la sociedad española se ha ganado espacio para que los empresarios tengan una mejor imagen. Incluso, añado, se ha puesto en boga una nueva denominación: emprendedores. Nos señalaba que "había que hacer un proceso paralelo a los empresarios sobre lo que representan los Colegios en la sociedad. Igual que España descubrió a los empresarios y han ido conformando su opinión", creo, decía Zapatero que "la sociedad española debe de reconocer y conocer a los Colegios profesionales. Estos han de abrirse, han de llamar, pues son un pilar básico de la vertebración social. Una mayor comunicación, una mayor actitud de compromiso social, una mayor cooperación entre todos los Colegios. Los Colegios deben emprender un camino de modernización a través de un Congreso de Colegios Profesionales, abierto a las fuerzas políticas, donde se discutiera y acordara sobre la actividad profesional libre y en la Administración".

Creo que los Colegios profesionales debemos hacer autocrítica. No es de recibo instalarse en el inmovilismo, diciendo que la derecha nos ignora y la izquierda no nos quiere. Ha llegado el momento, en que los Colegios se presenten en sociedad sin complejos, despojados de lastres corporativos decimonónicos. Para ello, los Colegios deben abandonar los trasnochados manuales corporativos, para abrir espacios de participación a la sociedad, salir de nuestras fronteras colegiales y tratar de saber lo que la gente quiere de nosotros. Debemos promover un acercamiento a los ciudadanos para averiguar su opinión y lograr la confianza y la credibilidad de la sociedad. En definitiva, reitero que es necesario un giro de los colegios profesionales hacia la sociedad para merecer su confianza.

Los Colegios tenemos que movilizar nuestro potencial transformador. Pero también, como dice el politólogo irlandés Philip Petit "lo que se requiere de los poderes públicos es humildad, la suficiente como para crear mecanismos sociales de control independiente, que exige el ciudadanismo, y no sólo darle el apoyo legal, sino hacerlos realmente independientes y fuertes y luego ser lo suficientemente humildes como para aceptar que estos mismos cuerpos que han ayudado a crear, se conviertan en sus peores críticos, en los más duros. Para esto, se requiere una gran virtud, porque a todos los Gobiernos, (a unos mucho más que a otros, añado yo), les cuesta mucho aceptar la critica y más aún de sus propias creaciones".

La política es el arte más importante y el más difícil de la vida humana y ciertamente necesitamos políticos devotos de sus ideales, en el sentido de servicio a los ciudadanos y al sistema democrático, y que conciban al realismo como matización, no como anulación de los valores. Pero lo más difícil es diseñar instituciones de modo que recojan siempre el sentir de la otra parte. Hay un dicho republicano que reza: Audi altera partem ("escucha a la otra parte"). Hay que crear o transformar este tipo de cuerpos sociales autónomos. Ya lo dijo Maquiavelo, el de los Discursos, el republicano, no el de "El Príncipe". No se pueden tener buenas leyes sin buenas costumbres, pero tampoco se pueden tener buenos hábitos sociales si no hay buenas leyes. Las dos cosas van juntas. Las buenas leyes tienden a mejorar los hábitos sociales que a su vez impulsan nuevas leyes. Es un circulo vicioso.

Por ello, los Colegios profesionales necesitamos desarrollar una cierta idea de autogestión, de responsabilizarnos de nuestros problemas con el objetivo de ofertar los mejores servicios a los ciudadanos, que impulse la Ley de Colegios de la democracia

El objetivo del Colegio de Geólogos son los ciudadanos, como detentadores de derechos y como usuarios de nuestros servicios profesionales, no nuestros colegiados. Por ello, venimos desarrollando, en la medida de nuestras posibilidades, una política profesional transformadora del sistema corporativo español, de acuerdo con las directrices profesionales de la Unión Europea, con el objetivo marco de garantizar el principio constitucional de la igualdad de oportunidades. Esta máxima colegial de impulsar la libre competencia, queda recogida en nuestro lema oficioso: "La competencia para el competente".

Con este objetivo de proteger los intereses de los ciudadanos y mejorar los servicios a los colegiados, este mes el Colegio ha conseguido la Certificación del Sistema de Calidad ISO 9001/2000 de cinco servicios: colegiación, visados, bolsa de empleo, asesoría jurídica de colegiados y títulos profesionales. Contados colegios profesionales tienen un Sistema de Calidad certificado, por lo que en nombre de la Junta de Gobierno quiero agradecer a todo el personal del Colegio, con el Secretario Manuel Regueiro, como dinamizador del sistema, el esfuerzo realizado, así como a la empresa asesora del sistema de calidad Cualicontrol y a la certificadora Germanische Lloyd.

Con el sistema de calidad hemos mejorado en eficacia y plazo la gestión de la colegiación. Así mismo, los proyectos se consiguen visar en un máximo de tres días. A más, en los



Vista del salón donde se celebró la cena.

próximos meses, instalaremos el servicio el visado digital de proyectos para mejorar su rapidez y eficacia. Asociado con el visado, para el próximo año el seguro de responsabilidad civil, que cubría todos los proyectos visados, se extenderá a las empresas cuyos trabajos sean firmados por colegiados.

La relación de los colegiados demandantes de empleo con las empresas ha mejorado sustancialmente, siendo un instrumento formal para que el paro en el colectivo de geólogos colegiados sea muy bajo, del 6,4%, no pudiendo cubrir en ocasiones las ofertas de empleo que llegan al Colegio, ¿por qué será?, casi exclusivamente del mercado de empleo privado.

Se ha mejorado sustancialmente la asesoría jurídica por medio de su gestión electrónica, que permite consultas por Internet personalizadas de los colegiados, con la posibilidad de visitas a la base de datos general de dictámenes y el envío de respuestas en un plazo inferior a seis días.

Por último, con la apoyatura jurídica de los Estatutos del Colegio y siguiendo el modelo anglosajón, hemos establecido los títulos profesionales en Ingeniería geológica, en Hidrogeología, en Geología ambiental y en Recursos minerales, así como el título profesional de Eurogeólogo, en función de la experiencia profesional y la formación continua, impartida en la Escuela de Geología Profesional, que permitirán certificar la calidad de la competencia profesional para los curricula vitarum, concursos públicos, pruebas de selección,...

Pero todo no va a ser profesión. También en el Colegio nos preocupamos y nos ocupamos por la acción humanitaria. Por ese motivo, el Colegio de Geólogos, creó, en febrero de 1999, la ONG Geólogos del Mundo, abierta a todos los ciudadanos, con el objetivo de participar activamente en la Cooperación Internacional mediante el ejercicio de la Geología humanitaria.

La ONG cuenta con las cuotas de sus socios, que ya son 580, como ingresos fijos. Desde su creación, las relaciones de la ONG y el Colegio de Geólogos se rigen por un Convenio de Cooperación anual, mediante el cual, la ONG recibe la ayuda de infraestructura de nuestra sede, aumentada por la transferencia del 0,7% del presupuesto anual del Colegio. Tengo que expresar en este foro, la satisfacción por el funcionamiento de la ONG, ya que en los casi seis años de gestión, ha realizado un total de 24 proyectos de cooperación, repartidos en seis países, en los que han participado más de 40 geólogos y geólogas. Dichos proyectos han correspondido a partes iguales a riesgos geológicos y ordenación territorial y también a abastecimientos de agua a poblaciones Asimismo, se han llevado a cabo programas de formación en geología durante tres años en El Salvador.

Este año se han desarrollado cuatro proyectos de prevención de riesgos en El Salvador y uno en Nicaragua. Además, se han llevado a cabo otros tres de abastecimientos de agua, correspondientes a El Salvador, Honduras y Malí.

Nuestra política colegial ha estado dirigida hacia la sociedad, a los ciudadanos, nuestros clientes. Somos un Colegio abierto a los ciudadanos, a todos los colectivos profesionales y entidades.

Sin embargo, en ocasiones, no existe una relación directa entre la oferta de servicios geológicos y las demandas de los ciudadanos. Por falta de información o por desconocimiento, los ciudadanos sienten la necesidad, cuando la problemática tiene difícil solución. En el caso concreto de la vivienda, el ciudadano necesita de la geología cuando se han producido grietas en su casa, por insuficiencia o carencia de un estudio geotécnico del edificio. En este caso, en ocasiones, aparece un intermediario entre el geólogo y el ciudadano: la Administración pública.

Por ello el Colegio ha elaborado un documento denominado "Propuestas de los geólogos para la modernización de la Administración Pública", que hemos remitido a la Vicepresidenta del Gobierno y a los Ministerios competentes en materia de geología. Nos hemos entrevistado con varias ministras, con unos resultados esperanzadores, esperanzadores para los ciudadanos. El Colegio siempre explica sus propuestas en clave ciudadana, en que benefician las mismas a los ciudadanos. Nosotros nunca pedimos competencias exclusivas, es más hemos renunciado a ellas en nuestros Estatutos. Lo que pedimos es competir en igualdad de condiciones en la Administración y que la normativa que emane de la misma, combata las restricciones a la competencia en el mercado privado. Nada más, pero nada menos.

Nosotros los geólogos no podemos ni queremos decirle al compañero funcionario que nos eche una mano en tal reglamento o código. Que la RPT consiga mas plazas para el gremio. Sabéis que los geólogos no tenemos cuerpo, pero tenemos espíritu, espíritu ciudadano, y alma geológica.

Así se lo hemos hecho saber en nuestras reuniones con la ministra de Vivienda y con su equipo de colaboradores. Tengo que reconocer que el diálogo con el Ministerio de Vivienda es franco y constructivo, con una vocación de sus responsables de escuchar permanentemente a la otra parte, por lo que confío que nuestras propuestas, con las matizaciones que la realidad haga necesarias, puedan ser asumidas en beneficio de los ciudadanos.

En relación al Código Técnico de la Edificación, representantes del Colegio han participado con el CEDEX en la elaboración del capítulo relativo al estudio geotécnico. Tengo que agradecer al Ministerio de Vivienda, el establecimiento de un nuevo trámite de audiencia en lo relativo al Informe Geotécnico del Código, de importancia capital para los ciudadanos, pues no en vano un 33% de los siniestros de las viviendas, ocurren por carencia o insuficiencia de estudios geotécnicos de los terrenos. Creo que esta siniestralidad se minimizará, con algunos concretos cambios en la útil pero mejorable redacción actual y con la exigencia de que los estudios geotécnicos sean visados en los Colegios Profesionales correspondientes. Con ello

se conseguiría asegurar la calidad de los trabajos y la protección de los ciudadanos al exigir la realización de los estudios geotécnicos por un técnico competente (ingeniero, arquitecto, geólogo), los colegios profesionales serían los responsables de hacer cumplir las cláusulas del estudio geotécnico previstas en el Código y, en el caso del Colegio de Geólogos, el ciudadano estaría cubierto con un seguro de responsabilidad civil mínimo de 300.000 euros. Las ventajas para los ciudadanos son obvias, sin inconvenientes apreciables: la tarifa de visado en el caso de este Colegio supondría un incremento del coste del estudio geotécnico de una media del 2,4%, menos que la inflación de este año.

En las reuniones mantenidas con los responsables del Ministerio de Vivienda hemos transmitido la voluntad de leal cooperación de este Colegio en la futura reforma de Ley de Ordenación de la Edificación y de la Ley sobre Régimen del Suelo y Valoraciones, en los temas que podemos ser útiles, como el régimen jurídico de los suelos no urbanizables sometidos a riesgos naturales, así como en el posible desarrollo de un Reglamento de aplicación sobre riegos naturales en la ordenación del territorio, que aborde el efectivo cumplimento del artículo 11 de la Ley de Aguas, sobre planificación del suelo y autorizaciones de usos en las zonas inundables.

Así mismo, estamos preparados para organizar cursos de formación de técnicos titulados en materia de estudios geotécnicos, cimentaciones y acreditación de laboratorios, para impulsar una aplicación efectiva y excelente del código técnico de la edificación. Toda nuestra voluntad de colaboración, y el impulso de una acción positiva a favor de los licenciados en las futuras RPT para fomentar la competencia profesional y el carácter pluridisciplinar en el Ministerio de Vivienda, supondrá un salto cualitativo en la gestión del mismo en los asuntos geotécnicos.

Esta voluntad de colaboración también fue expresada al Director General de Arquitectura, y al Ministro de Fomento del anterior Gobierno. Personalmente primero, en los medios de comunicación después con motivo de los problemas de colapsos en el Valle del Ebro, siendo calificados por el Sr. Ministro de no decir la verdad en sede parlamentaria.

Sabemos que se puede rechazar una opinión inoportuna, pero los hechos inoportunos son de una tozudez irritante. Inspirados en la banalidad del mal de Hannah Arendt podemos clamar que lo opuesto a los hechos no es la opinión, es la falsedad deliberada o la mentira.

Para nosotros la libertad es el valor supremo. Pero, ¿de qué libertad estamos hablando? Las discusiones actuales sobre la organización social están dominadas por una distinción que Isaiah Berlín hizo celebre: la libertad negativa que entraña ausencia de interferencia y la libertad positiva como autodominio. Creo que la distinción libertad negativa-positiva ha hecho un mal servicio al pensamiento político. Nuestro ideal de libertad como no dominación queda plasmado en una sociedad en que los ciudadanos no dependan de la buena voluntad de los demás para satisfacer sus necesidades y, por tanto, el papel de las políticas públicas es el de garantizar que todos puedan ser auténticamente libres.

Nosotros confiamos en los ciudadanos, pero, en ocasiones, recelamos de las Administraciones públicas que restringe nuestra libertad de competencia. Aunque últimamente menos. No ha esta mal la cosecha de geólogos de 2004, verdad. Pero queda mucho trabajo por hacer. La escasa presencia de geólogos en las Administraciones públicas, refrendadas en las Relaciones de Puestos de Trabajos (RPT), aplicación de Decretos de los años de la república española para regular la competencia en hidrogeología, aplicación irregular de la legislación de minas a la legislación de aguas, establecimiento de competencias profesionales por medio de pliegos de condiciones técnicas, ha producido una vulneración de los principios constitucionales de igualdad ante al ley y de igualdad de oportunidades, por quien más deberían defenderlos, la Administración.

Somos conscientes de la voluntad transformadora del Gobierno, aunque la empresa será ardua. Nosotros creemos en el mercado profesional, pero exigimos una urgente reforma de los mecanismos discrecionales por el que se elaboran las Relaciones de Puestos de Trabajo (RPT) de las Administraciones Públicas y del sistema de actual mercado de competencia profesional en España.

Las leyes de la competencia profesional no son como la física y, desde luego nuestros problemas no proceden de hechos atmosféricos, sino que tienen causas humanas, por lo que deben tener soluciones humanas. El mercado profesional no es un mercado equilibrado y de libre competencia.

Creo que ha llegado el momento de una operación liberalizadora en beneficio de todos los profesionales. Es necesaria una profunda reforma de las Administración Pública en su conjunto, y en concreto para favorecer la competencia entre todos los profesionales.

Antes de terminar quiero dedicar un emocionado recuerdo al vocal de la Junta de Gobierno del ICOG Roberto Vázquez, colegiado de honor "in memorian" y a Juan Coello, así como a los colegiados que han fallecido este año.

Por último, quiero aprovechar para felicitaros las Pascuas y desearos un Próspero 2005 a todos los colegiados y a nuestros invitados, así como reiterar el agradecimiento sincero a la Sra. Ministra de Vivienda, por su presencia en esta cena-coloquio y agradecer su franca voluntad de colaboración con el colectivo de geólogos españoles.

Muchas gracias por su atención.

Luis Eugenio Suárez Ordóñez
Presidente del ICOG

DISCURSO DE LA MINISTRA DE VIVIENDA Mª ANTONIA TRUJILLO

Gracias José Luis, Presidente del Colegio, miembros de la Junta Directiva, colegiados, autoridades presentes, señoras y señores, buenas noches a todos.

Para comenzar quiero transmitiros mi agradecimiento más sincero por la invitación para compartir con todos vosotros esta tradicional cena-coloquio que celebráis a finales de año. A ese agradecimiento se une la satisfacción de encontrarme de nuevo con los geólogos y haber tenido hoy la oportunidad de escuchar opiniones, reflexiones y sugerencias, ya trasladadas en reuniones mantenidas durante estos meses y sobre las que estamos trabajando.

Además, la fecha en la que hoy nos damos cita es muy simbólica para vosotros. Tan solo en cinco días se cumplirán veintiséis años desde la creación oficial de vuestro Ilustre Colegio. Fue el primer colegio profesional post-constitucional. Este es un dato que siempre suele recordar vuestro Presidente reseñando lo significativo que resulta y, en verdad, tiene mucha razón.

Comparto muchos planteamientos sobre los Colegios Profesionales que Luis ha desgranado a lo largo de su intervención. Cuando era Consejera de Presidencia de la Junta de Extremadura, no hace muchos años, impulsé la elaboración y aprobación de la actual Ley extremeña de Colegios Profesionales y Consejos de Colegios Profesionales recogiendo, con un, en mi opinión, coherente desarrollo constitucional -sólo un artículo recurrido ante el TC, sin solicitud de suspensión- esa filosofía, entre otros fines, de participación y servicio a la ciudadanía que debe imperar en la estructura colegial. También cuando era Consejera de Presidencia puse en marcha los planes territoriales de protección civil de la CAEX, sectorializados en cuanto a los riesgos naturales relativos a inundaciones, riesgos sísmicos, incendios, etc., para los que conté, y aún siguen contando, con colegas vuestros.

Pero de lo primero ya ha hablado Luis. De lo segundo, no es el momento. Ahora prefiero hablar con vosotros de vosotros y de los poderes públicos, de los geólogos y de la ciudadanía, del papel de los geólogos en las AAPP; de la geología como herramienta eficaz y necesaria en la ordenación del territorio, en fin, de los geólogos y el MVIV.

Por lo que he podido saber estas cenas siempre han sido muy fructíferas. Me consta que todos a los que ellas hemos



La ministra de Vivienda, Mª Antonia Trujillo, dirigiendose al público.

asistido nos llevamos una imagen exacta de cuál es y debe el papel de los geólogos en el ámbito científico y profesional. También en la sociedad. Pero, además, me consta se han llevado una muy grata impresión del buen trato y la amabilidad con la que nos acogéis.

En definitiva hacéis algo muy loable que es acercar la realidad científico-profesional a la política. Creedme si os digo que esta labor es importante porque a poco que lleguéis a más responsables políticos nuestras declaraciones públicas mejorarán indudablemente y, en este punto, no voy a citar ejemplos aunque vuestro Presidente, podría ilustrarnos teniendo en cuenta su experiencia.

Unido a esto tengo que confesaros que durante el tiempo que he pasado ligada a la responsabilidad política de presidencia, fomento y, ahora, a la de vivienda me he ido ilustrando de los objetivos, finalidades y principios que rigen la actividad de los geólogos.

Así pues, a vosotros me unen varias cosas. La primera la firme creencia de que todos los que tenemos una responsabilidad frente a los ciudadanos nos debemos enteramente a ellos.

De esta forma comparto la idea, antes mencionada por el Presidente del Colegio, de que un acercamiento a los ciudadanos nos ayudará a saber cuales son sus opiniones, sus demandas y por tanto, a obtener su complicidad con su necesaria participación para la adecuada gestión de las políticas.

Y no hay mejor forma de acercarse a la ciudadanía que hablando y estando próximos a ellos. Como Ministra pretendo mantener un dialogo permanente con todos los que tienen algo que decir en materia de urbanismo y vivienda, en las políticas de urbanísticas y de vivienda.

No sólo directamente con los ciudadanos, sino también con las AAPP, con los agentes públicos y privados, con los colegios profesionales, con las asociaciones, etc. En definitiva, con todos aquellos que vertebran, de una forma u otra, esta sociedad.

En este sentido, en cuanto tomé posesión inicié el diálogo con todos los representantes de las Comunidades Autónomas, a los agentes del sector, a los profesionales que se dedican a diversas actividades dentro de la vivienda, a los representantes de los jóvenes, de los consumidores, de la Federación de Municipios y Provincias, etcétera.

Todas esas reuniones y encuentros están fructificando en las distintas líneas de acción que estamos poniendo en marcha en el Ministerio. Hasta ahora ha sido con determinadas AAPP, por ejemplo, con las CCAA; mañana lo será con la FEMP; eso mismo, confío y deseo, suceda con los geólogos.

Digo todo esto porque la voluntad de dialogo es importante a la hora de gestionar cualquier política pública, pero especialmente la política de las ciudades, la política que gestionamos desde es Ministerio.

Porque no quiero desaprovechar esta oportunidad para transmitiros y pediros que seáis nuestros portavoces para una nueva forma de entender la vivienda en el siglo XXI: una vivienda de calidad —que se pueda medir con parámetros técnicos, incluidos los estudios geotécnicos—, bien diseñada arquitectónicamente, en una ciudad racionalmente planificada, con criterios arquitectónicos y urbanísticos sostenibles y en un entorno medioambiental también sostenible. En definitiva, os pido vuestra portavocía para trasladar que el derecho a la vivienda es el derecho a la ciudad. Que el ciudadano pide más, no sólo techo. Pide habitar espacios públicos de convivencia, donde vivir en sociedad, y disfrutar de los equipamientos públicos que, como poderes públicos, estamos obligados a garantizar.

Os mencionaba antes la fructífera cooperación que tenemos con las CCAA. La primera Conferencia Sectorial que se celebró, por julio, marcó un punto de inflexión en la política de vivienda de nuestro país. En ella se decidió dar luz verde al llamado Plan de Choque que suponía, entre otras cosas, cumplir nuestros compromisos y elevar a 180.000 viviendas anuales las previstas en el anterior Plan de vivienda. Es decir, por cada diez viviendas del anterior plan seis más.

A día de hoy los datos demuestran que estos propósitos del mes de julio no solamente son posibles sino que se están haciendo realidad.

Las más de 50.000 viviendas financiadas desde entonces lo demuestran y ponen de manifiesto que con continuidad en las políticas de vivienda es posible facilitar el acceso a las familias con menores ingresos a una vivienda, consiguiendo la accesibilidad que muchas economías hoy no se pueden permitir por lo elevados precios o que consiguen con altos niveles de endeudamiento.

Los compromisos adquiridos con los ciudadanos y los compromisos del Presidente del gobierno en su debate de investidura se van transformando en hechos. Así, estamos trabajando en la modificación de la ley del suelo y valoraciones para desterrar la especulación y, siguiendo la letra de nuestra Constitución, hacer más participes a los ciudadanos de las plusvalías que genera la acción urbanística de los entes públicos.

Por otra parte, señalaros que nuestra labor de liderazgo no es cuestionable a estas alturas. Simplemente el inicio del trabajo para la creación de nuestra Agencia Estatal de Alquiler ha supuesto la creación de otras tantas a nivel autonómico y

local. Nuestra Agencia complementará, ayudará y multiplicara los efectos de estas últimas, aprovechando el efecto multiplicador del trabajo en red.

Nunca antes en nuestro país se había hablado tanto de alquiler y puesto en marcha tantas iniciativas para fomentar un dinámico mercado del arrendamiento.

Junto a todo ello, damos ejemplo poniendo a disposición de los Ayuntamientos y Comunidades Autónomas suelo desafectado del patrimonio público para construir vivienda protegida. Sirvan como ejemplo el convenio firmado con el Ayuntamiento de Guadalajara que permitirá la construcción de más de 1.000 viviendas en el Fuerte de San Francisco.

También podemos reseñar las operaciones en Valdespartera en Zaragoza que permitirá la construcción de otras 1.500 viviendas protegidas o en el Puerto Exterior de A Coruña donde en los terrenos desafectados se elevó al 50% el porcentaje destinado a vivienda protegida. Son solo unos ejemplos dentro de una verdadera estrategia estatal en este sentido.

En este punto quiero resaltar, aunque ya sois conscientes de ello, que la política de vivienda debe ser constante en el tiempo para que sea eficaz. Con seguridad que los resultados en esta materia, si seguimos esta línea, irán materializándose y no tardarán en llegar más de 153 años como en el caso de un geólogo a la presidencia del Instituto Geológico y Minero de España.

En definitiva, proximidad con la ciudadanía, diálogo, consenso y concertación son los ejes básicos e imprescindibles de nuestras políticas activas. No es necesario mencionar, por obvio, el cumplimiento de la palabra dada, que supone el reconocimiento del respeto que se merecen los ciudadanos y el cumplimiento de los derechos que tienen.

Pero volviendo al principio, cuando os decía que sé qué significa hablar de Colegios Profesionales, os quiero manifestar una impresión recogida de los mementos compartidos con vosotros: se trata del equilibrio que guardáis en vuestro colegio entre la defensa de los intereses comunes y la huida de los corporativismos.

Traspolándolo a las políticas urbanísticas y de vivienda, aquí también nos movemos entre lo individual y lo colectivo, entre lo social y lo económico, mutatis mutandi, entre lo sectorial y lo trasversal.

Es obvio, que estoy hablando de cuestiones tan relevantes como la edificación sostenible, del modelo de crecimiento de nuestras ciudades, de la protección de los derechos de los ciudadanos en el ámbito inmobiliario, de la innovación en la arquitectura, de la accesibilidad universal, de la difusión y fomento de las buenas prácticas en el desarrollo urbanístico, de la información y transparencia en el sector de la vivienda y, sobre todo, de la calidad en la construcción.

Este último aspecto requiere vuestra complicidad. Es necesario que nos demos cita para elevar esos dos adjetivos constitucionales que se le ponen al derecho de la vivienda, es decir "digna" y "adecuada", al de mayor rango que es "calidad", como os decía al principio de mi intervención.

Pero no hablo sólo en cuanto al control de calidad de la edificación, sino también de la normativa geotécnica de la edificación, el CTE, la acreditación de laboratorios de control de calidad, el planeamiento urbanístico en cuanto a la introducción en otros criterios, etc.

En todo esto vuestro trabajo es muy importante. Son muchas y muy interesantes las propuestas que desde el Colegio me habéis hecho llegar sobre estos aspectos. Todas ellas dignas de estudio y reflexión conjunta, porque indefectiblemente dotarán de mayor seguridad a las edificaciones y construcciones.

Me comprometo con vosotros a abordar con seriedad y, por supuesto, con continuidad todas y cada una de las propuestas que me habéis hecho llegar, antes y hoy.

Ya sabéis que próximamente verá la luz el Código Técnico de la Edificación. Sobre esta norma quiero deciros que la estamos ultimando con la concurrencia de todos, y esto también os incluye a vosotros.

Esta norma lleva durmiendo en el Ministerio años, y ahora existe una decidida voluntad política para sacarla adelante. Será este Gobierno quien lo haga para actualizar las normas existentes sobre calidad, algunas de ellas coetáneas a la fecha de vuestro nacimiento como Colegio.

Sobre este aspecto, vuestras propuestas son coherentes e indudablemente suponen que en la elaboración del proyecto y ejecución del edificio aumentaría y se afianzaría la seguridad estructural en la cimentación del mismo. La concurrencia en esta tarea de los mejores y más competentes profesionales significaría, por ende, una mayor seguridad en la edificación.

Otra cuestión muy importante es asegurar un conocimiento previo de las características geotécnicas del suelo en las actividades del planeamiento urbanístico. Este conocimiento, obtenido mediante la realización de los estudios pertinentes que sean necesarios facilita la adopción desde el inicio del proyecto de sistemas de cimentación adecuados a la edificación prevista y evitaría duplicidades, reduciendo los costes.

Y para llevar a cabo todo esto es evidente la necesidad de contar con los mejores profesionales, también dentro del Ministerio de Vivienda, y su entidad pública empresarial, que

conozcan estos campos. Permitidme que me apropie de vuestro eslogan "oficioso" que dice algo así como que "la competencia para el competente". Y, Luis, no es una cuestión sólo de RPTS, pero siempre he pensado que cualquier paso que se dé es un paso adelante. Y la inclusión de geólogos en nuestra RPT no sólo será una acción positiva que fomentará la competencia profesional y el carácter multidisciplinar en el MVIV sino que también cualitativamente significará un gran salto en la gestión en los asuntos geotécnicos.

Antes de finalizar me gustaría resaltar dos cosas de vuestro trabajo que me producen satisfacción.

La primera es el Código Deontológico del Trabajo de los Geólogos con los ciudadanos, que unido a la Guía Ciudadana de los Riegos Geológicos, supone un acercamiento de primer orden a la ciudadanía. Del mismo modo implica una clara muestra de vuestra vocación, de vuestro espíritu y de vuestra alma. ¿Espíritu ciudadano y alma geológica decías antes?

La segunda es la encomiable labor que lleváis a cabo a través de la Organización No Gubernamental "Geólogos del Mundo". Es importante destacar los proyectos de colaboración con El Salvador, Marruecos, República de Malí o en fechas próximas con Honduras o Ecuador.

Tengo que deciros que algo que multiplica la bondad de estas desinteresadas iniciativas es que, además, se desarrollan en colaboración con otras organizaciones e incluso otros colegios profesionales, como en el caso de los arquitectos.

Ya para finalizar creo que sumar esfuerzos y recibir vuestras aportaciones es positivo para la tarea que tengo encomendada y espero contar con vosotros en este camino. Sé que puedo hacerlo desde la crítica constante y constructiva que me haréis y además, contando con vuestras propuestas que nos lleven a una sociedad con mayor bienestar, con más justicia y con más igualdad de oportunidades.

Mª Antonia Trujillo
Ministra de Vivienda



La ministra de Vivienda, en presencia de Luis Suárez, hace entrega de la distinción de Miembro de Honor del ICOG a Diego Caballo.

La paleosismología lacustre: gran fuente de datos sísmicos

Una de las preguntas que le puede surgir al lector al ver el título de este trabajo es: ¿por qué los sistemas lacustres como medio de estudio sísmico? Todo trabajo científico tiene que comenzar con una pregunta y esta cuestión es muy razonable el planteársela. Pues bien, la respuesta es relativamente sencilla: porque la continuidad espacial y temporal y calidad de registro de los medios lacustres es una de las mejores de todos los ambientes sedimentarios

M.A. Rodríguez Pascua
Dr. en CC. Geológicas
Facultad de Farmacia. Universidad San Pablo - CEU

Necesitamos un "libro" al cual no le falten páginas para poder "leer" cual es el pasado sísmico de una zona. Podemos estudiar la paleosismología en lagos fósiles o activos, desde dos perspectivas distintas: el estudio directo de la fuente sismogenética, es decir las fallas, o investigar sobre las deformaciones que generan los sismos en los sedimentos, es decir el estudio de estructuras sísmicas de licuefacción. Para ilustrar estos particulares veremos ejemplos de estructuras de licuefacción en lagos fósiles (Mioceno superior) en el Prebético de Albacete, y activos en Suiza y México, y estudio de fallas en trinchera en lagos mexicanos. Estos últimos han aportado datos interesantes acerca de la interpretación sísmica sobre la relación causa - efecto del fenómeno por parte de culturas precolombinas, los purépechas o tarascos, hace 3.000 años. Cuando me encontraba finalizando este artículo tubo lugar el terremoto de Sumatra el 26 de diciembre de 2004, por este motivo no he podido omitir el sentimiento de dolor por las víctimas y de preocupación por la repetición de este tipo de fenómenos en cualquier parte del mundo. Especial preocupación me genera la posibilidad de la repetición de un tsunami en las costas de Huelva como el de primero de noviembre de 1755, generado por el "famoso" terremoto de Lisboa. Como todos sabemos, si las condiciones tectónicas no han cambiado desde entonces, que no lo han hecho, éste se podrá repetir en el futuro, en cualquier momento. Afortunadamente la Paleosismología nos permite tener conocimiento de este tipo de fenómenos pasados y saber qué zonas se verán afectadas por un nuevo evento y actuar en consecuencia, es decir, que en el estudio del pasado geológico tendremos las claves del futuro. Es muy difícil predecir (imposible hasta la fecha), pero sí se puede decir donde se producirán grandes eventos sísmicos y la magnitud de los mismos, evidentemente no podemos evitar el fenómeno natural, pero sí trabajar para reducir sus consecuencias. En esta línea están trabajando países de todo el mundo, entre los que se encuentran México o Suiza, como veremos a lo largo de este trabajo, en los que no sólo se estudia la sismicidad instrumental, sino que se recurre al estudio de las fuentes sismogenéticas, "las fallas", para la comprensión real del fenómeno. Al igual que a nadie se le ocurriría estudiar inundaciones sin tener en cuenta los ríos, no se pueden estudiar los terremotos sin tener en cuenta las fallas que los generan. Deberíamos unir esfuerzos entre diferentes áreas de conocimiento, para aportar datos que sean útiles a la sociedad y puedan servir para prevenir el efecto destructivo de este tipo de fenómenos.

Los lagos son "cuerpos de agua estables que ocupan depresiones dentro de las zonas emergidas de la corteza terrestre".

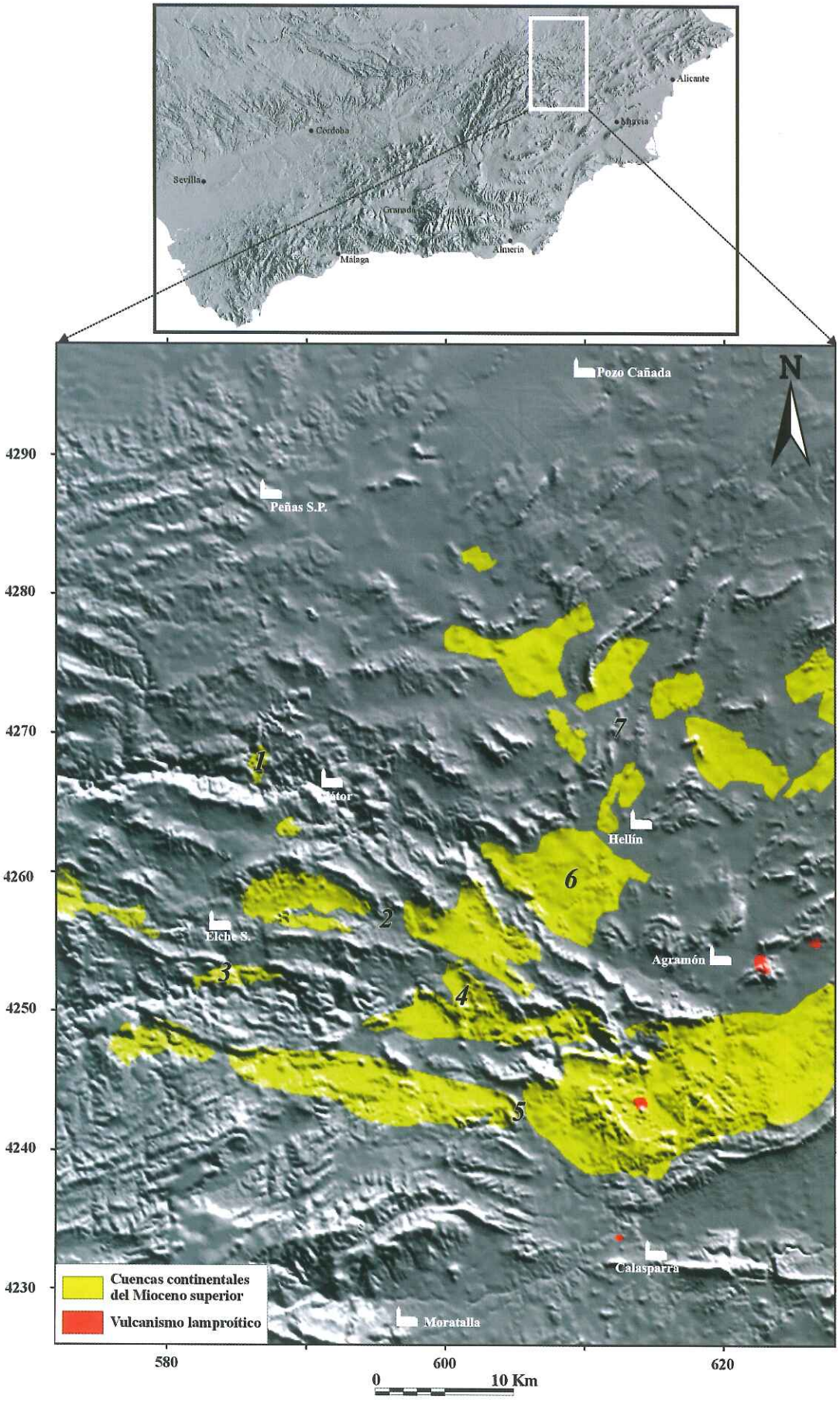


Figura 1. Modelo digital del terreno (iluminado desde el Norte) en el que se muestran la situación de las principales cuencas lacustres (Mioceno Superior) del Prebético de Albacete en la Cordillera Bética: 1. Híjar, 2. Elche de la Sierra-Cobatillas, 3. Gallego, 4. El Cenajo, 5. Camarillas-Las Minas, 6. Cuencas de Isso y 7. Cuencas de Hellín. Coordenadas UTM en kilómetros, huso 30.

En la actualidad, representan tan sólo el 1% de la superficie global, pero tienen un gran interés, ya que constituyen importantes reservas de agua dulce, fuente de riqueza piscícola y, en muchos casos, abastecimiento de sustancias minerales, tanto de carácter energético (petróleo, carbón, sustancias radiactivas) como metálico y no metálico. Este último aspecto es el que ha potenciado los estudios de paleolimnología, con el fin de prospectar los posibles recursos minerales en el registro sedimentario de sistemas lacustres fósiles y actuales. Otra de las características más importantes de los lagos es que alojan una gran cantidad de vida, por lo que son fuentes de biodiversidad, y por tanto, espacios a proteger.

En algunas ocasiones, estas masas de agua estables constituyen un registro sedimentario muy completo de toda la historia del "paleolago" que, en algunos casos, puede abarcar periodos geológicos muy amplios. Si los sedimentos lacustres contienen varvas anuales, nos van a permitir realizar dataciones absolutas dentro de estos sedimentos, por lo que, además de leer página a página nuestro libro, también tendremos los números de las páginas y el año de edición. Por este motivo la información que aportan los lagos es de vital importancia en cualquier estudio paleosismológico.

Además de varvas existe una gran variedad de litologías que podemos encontrar entre medios lacustres someros y profundos, y que está controlada principalmente por los aportes externos al sistema. Los medios someros, correspondientes a rocas que se depositan sobre la plataforma del lago (donde precipitan carbonatos), reciben aportes de terrígenos (arcillas, limos, arenas y gravas) mediante deltas y ríos. Dichos aportes se interdigitan en mayor o menor grado con los depósitos producidos en el centro del lago (facies profundas, como las varvas). En algunos sistemas lacustres, sin embargo, la sedimentación es casi exclusivamente terrígena y los aportes externos configuran la práctica totalidad de su registro. Por su parte, los sedimentos lacustres de facies profundas son típicamente el resultado de procesos de decantación de partículas sólidas en suspensión (partículas minerales procedentes de la erosión de relieves o generadas dentro del lago o biogénicamente, materia orgánica en suspensión, organismos de carácter planctónico, etc.) o bien del acceso de corrientes de turbidez a zonas alejadas del margen lacustre. En sistemas lacustres en los que se dan situaciones de estratificación de la lámina de agua, los sedimentos del fondo quedan en condiciones anóxicas (sin oxígeno) que permiten la preservación de materia orgánica y ausencia de bioturbación. Las facies, típicamente laminadas, de zonas lacustres profundas pueden ser tanto de naturaleza terrígena fina, orgánica o biogénica (carbonatada o silícea).

disciplina en tres lugares diferentes: lagos miocenos del Prebético de Albacete (España), lago holoceno de Seewen (Suiza) y lago Pleistoceno - Holoceno de Acambay y actual de Pátzcuaro (México).

Para estudiar la paleosismicidad en un lago nos podemos encontrar con varias situaciones diferentes que requerirán soluciones distintas. Una es encontrarnos con un lago actual, en el que solo podremos acceder a los sedimentos mediante sondeos y estudiar grandes estructuras (como slumps) mediante geofísica. Otra posibilidad es un lago holoceno desecado, pero sin presentar afloramientos por erosión, por lo que podremos recurrir a la realización de trincheras para observar los sedimentos

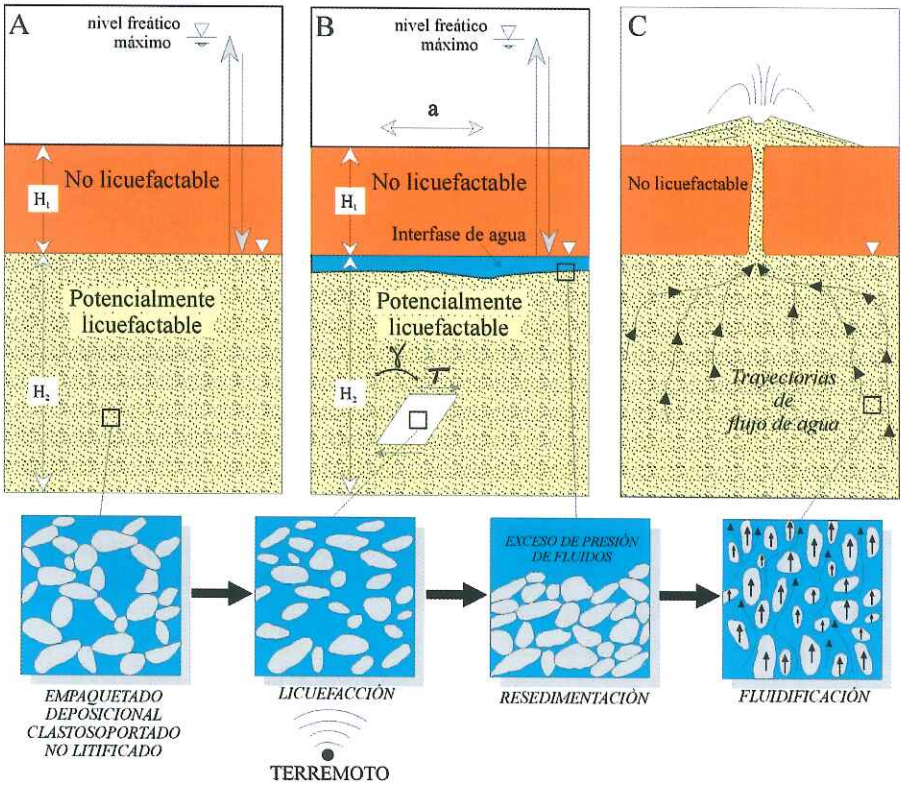


Figura 2. Esquema sintético evolutivo de la génesis de los fenómenos de licuefacción y fluidificación, responsables de la génesis de sismitas. Modificada de Owen (1987), Amick (1990) y Obermeier (1994).

ALGUNOS EJEMPLOS INTERESANTES DE LAGOS RECIENTES Y ACTUALES

Después de haber visto someramente como "funcionan" los lagos vamos a ver tres ejemplos de paleosismología lacustre, abarcando todas las áreas y técnicas de esta

o a sondeos si la potencia de la cuenca es elevada. Otra posibilidad es estudiar un lago de mayor antigüedad que ya haya sido afectado por la erosión y nos permita el acceso directo a los afloramientos.
A continuación veremos todas estas situaciones en los diferentes lugares indicados anteriormente.

Los lagos miocenos del Prebético de Albacete, unos auténticos paleosismógrafos

En la zona sur de la provincia de Albacete se pueden observar un conjunto de cuencas lacustres del Mioceno superior (Vallesiense superior-Turoliense) en excelentes condiciones de afloramiento (*figura 1*). Desde un punto de vista geológico la zona se encuentra dentro del Prebético Externo, muy próxima a la confluencia entre la Cadena Ibérica y la Cadena Bética. Durante el periodo de sedimentación de estas cuencas tuvo lugar un episodio volcánico (lamproítico, formado por rocas ultrapotásicas), que es el que da origen al alto contenido en silicio de las rocas que rellenaron estas cuencas. Los dos edificios volcánicos más importantes, y de fácil observación en el campo, son el del Cerro del Monagrillo, en Las Minas, y el Cerro de las Cabras, en Cancarix.

Las estructuras de licuefacción de origen sísmico son conocidas con un término genérico: sismita (Seilacher, 1969). Pero, ¿qué es una licuefacción? Pues bien, la licuefacción es un fenómeno en el cual la fábrica o estructura del sedimento queda desorganizada durante un espacio muy corto de tiempo (unos segundos) perdiéndose el contacto entre clastos, como consecuencia de la llegada de las ondas sísmicas de cizalla cíclicas a la superficie (*figura 2*). Estos serían los procesos de licuefacción sísmicamente inducidos "SIL" (Amick et al., 1990). Evidentemente es necesario un sedimento detrítico (H_2), como la arena, que no esté consolidado, que esté saturado en agua y que esté sellado por una capa suprayacente impermeable o no licuefactable (H_1) (como una arcilla). Sin estas características no es posible la licuefacción y esta se genera siempre con magnitudes sísmicas superiores a 5 (Atkinson, 1984; Thorson et al., 1986; Scott y Price, 1988; Audemard y De Santis, 1991; Papadopoulos y Lefkopoulos, 1993; Obermeier, 1996). Durante el momento sísmico (a) se desarrolla el esfuerzo de cizalla (t) en H_2. Como resultante de esta deformación por cizalla (t) los clastos dejan de estar en contacto entre si durante un breve espacio de tiempo, generándose la licuefacción. Al resedimentarse estos clastos se reduce la porosidad en H_2 y, por tanto, se produce un aumento de la presión intersticial y pérdida de agua. El agua desplazada forma una interfase de agua entre H_1 y H_2. La presión intersticial sigue aumentando hasta que supera la presión confinante, produciéndose la extrusión brusca del agua que asciende hacia niveles superiores donde la presión es menor. El ascenso del agua arrastra las partículas de arena generándose la fluidificación del sedimento. La morfología de las estructuras resultantes de los procesos de licuefacción fluidificación puede variar significativamente de unas a otras. Esto es debido a que en su génesis entran en juego factores como la estratigrafía local, presentando múltiples morfologías, como los "famosos" volcanes de arena (*figura 2*).

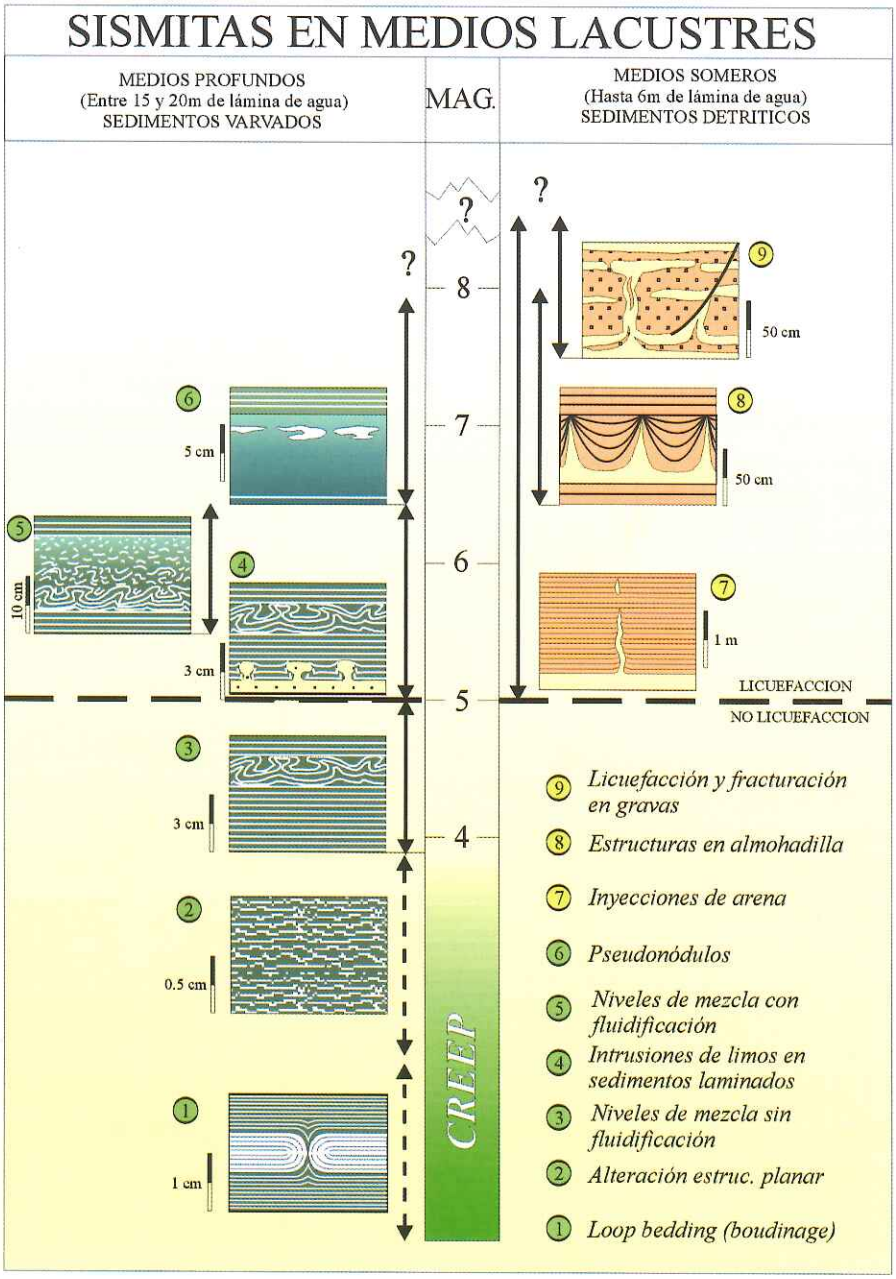


Figura 3. Esquema de síntesis de las relaciones entre estructuras de paleosismicidad en medios lacustres (profundos y someros) y magnitudes sísmicas asociadas.

En el registro sedimentario de los sistemas lacustres neógenos del Prebético de Albacete podemos encontrar un amplio catálogo de estructuras, que vamos a separar en medios someros y profundos (*figura 3*) (Rodríguez Pascua et al., 2000), debido a las diferencias morfológicas y genéticas que presentan. También se puede

establecer un límite empírico a la licuefacción que es para una magnitud (M) superior a 5, en ambos medios. Las estructuras más comunes en medios someros son los diques de arena (*figura 3 y 4A*) y estructuras de licuefacción en gravas (*figura 3 y 4B*) presentando estas últimas un límite empírico a la licuefacción de 7,5 (Obermeier et al., 1993). En medios profundos (sedimentos laminados) una de las estructuras que más información aporta son los niveles de mezcla (*figura 3 y 4C*), puesto que la presencia o ausencia del nivel de fluidificación superior marca el hecho de encontrarse por encima o por debajo del límite a la licuefacción (M > 5). Las estructuras en champiñón (*figura 3 y 4D*) son intrusiones de limos en laminas y estarían en un intervalo de 5 < M < 6,5. Un caso particular es el "loop bedding" (*figura 3 y 4E*), que indicaría la presencia de movimientos de creep en fallas cercanas.

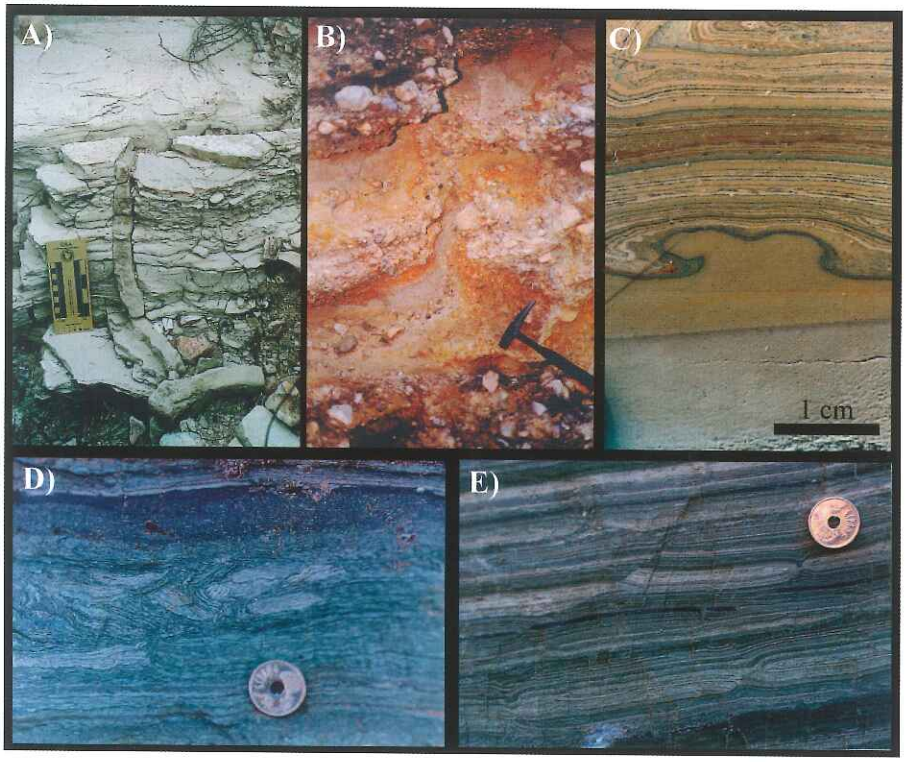


Figura 4. Fotografías de afloramiento de sismitas en la cuencas neógenas lacustres del Prebético de Albacete: A) diques de arena (Cuenca de Camarillas); B) estructura de licuefacción en gravas (Cuenca de Híjar); C) estructura en champiñón intruyendo en varvas lacustres (Cuenca de Híjar); D) nivel de mezcla afectando a varvas lacustres (Cuenca de Híjar); y E) Loop - bedding afectando a varvas lacustres (Cuenca de Híjar).

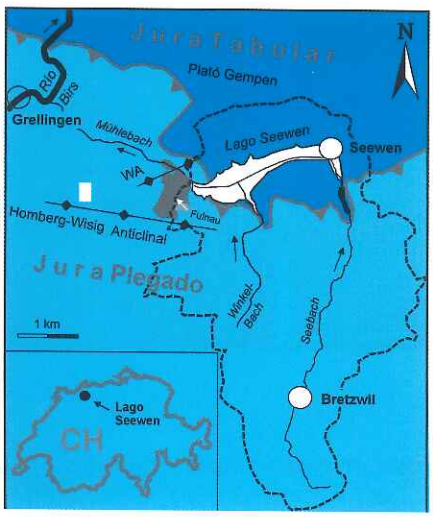


Figura 5. Situación del lago Seewen. Montes del Jura, Suiza.

En sedimentos actuales hay que recurrir a técnicas de prospección como los sondeos o la geofísica

Asumiendo el carácter anual de la sedimentación varvada hemos datado 73 paleoterremotos y establecido sus magnitudes mediante el límite a la licuefacción (Rodríguez Pascua et al., 2003a). Para el caso de las cuencas del Prebético de Albacete se producía un terremoto de magnitud media 4,2 cada 130 años como término medio (9.500 años de registro estudiado). Cabe destacar la presencia de un paleoterremoto que pudo superar los 8 grados en la escala de Richter, registrado por un deslizamiento subacuático que es el más grande definido en un sistema lacustre a escala mundial. Pero, esto adquiere mucha mayor importancia cuando al aplicarle la ley de Gutenberg-Richter obtenemos el mismo valor de ajuste (parámetro b = 0,86) que para la sismicidad actual en la zona (sismicidad medida con sismógrafos en 10 años de registro). De este modo, y para este caso, podemos extrapolar los datos del registro geológico a la actualidad, con lo que no sería descartable la posibilidad de que se pudiese producir un terremoto de magnitud próxima a 8.

Estudio de sismitas mediante sondeos: el lago Holoceno de Seewen

Acabamos de ver algunas de las posibilidades de la paleosismología lacustre en sedimentos fósiles, pero en sedimentos actuales hay que recurrir a técnicas de prospección como los sondeos o la geofísica. Estas técnicas se han aplicado en el lago Seewen en Suiza, situado cerca de la falla de Basel, responsable del terremoto de 1356, lo que le hacía un excelente registro sísmico de la actividad de dicha falla. Este trabajo se enmarca dentro del proyecto "paleoseis: Searching for past earthquakes in Switzerland", desarrollado en el ETHZ de Zurich y dirigido por el Dr. Arnfried Becker con la colaboración de las universidades de East Anglia (Norwich) y la San Pablo - CEU (Madrid). En este proyecto se ha trabajado sobre otras áreas de la paleosismología, pero fuera de medios lacustres; por lo que solo las citaré a título informativo; estas son: estudio de la falla de Basel mediante trincheras, estudio de deformaciones en espeleotemas y deslizamientos sísmicos.

El lago Seewen está situado en la mitad norte de Suiza, dentro del Cantón de Solothurn y a unos 15 km al sur de Basel. Geológicamente se sitúa en los Montes del Jura próximo al margen este del Graben del Rin, en la zona limítrofe entre el Jura plegado, al sur, y el tabular, al norte, correspondiente a un cabalgamiento de vergencia sur (*figura 5*). Este lago se formó hace unos 12.500 años B.P. (Becker, et al., 2000) por la obstrucción del valle del río Seebach a causa de un deslizamiento de origen sísmico.

Para observar los sedimentos del lago fue necesario llevar a cabo una campaña de sondeos. Para tener un control tridimensional de las estructuras, elemento del que se carece en un sondeo, se realizaron 5 sondeos en cada punto seleccionado, para poder comparar estructuras en un mismo punto. Los sondeos se conservan a 5° C en una cámara frigorífica, para evitar alteraciones o descomposición de materia orgánica susceptible de datación mediante C^{14}. Antes de su apertura en el laboratorio se realizan tomografías de R-X del sondeo para cortarlo a la mitad según su eje largo por una zona adecuada que no destruya las estructuras existentes. Se decide la orientación del corte y una vez abierto se realiza una columna de detalle, se fotografían los tramos y se sellan de nuevo para volver al refrigerador.

Sobre las imágenes obtenidas se trabaja en el ordenador donde se realizan las interpretaciones de las estructuras, se sitúan en la columna y se localizan los fragmentos de materia orgánica con mayor tamaño para realizar las dataciones de C^{14} (realizadas en el Laboratorio de C^{14} del Departamento de Geografía de la Universidad de Zurich). Para tener una visión tridimensional de las estructuras se han realizado tomografías de R-X (*figura 6*) a un espaciado de 2,5 mm con los siguientes parámetros: 450 kV y 2 mA. El proceso termina con la toma de muestras de los sondeos y la comprobación in situ de las interpretaciones realizadas sobre las imágenes.

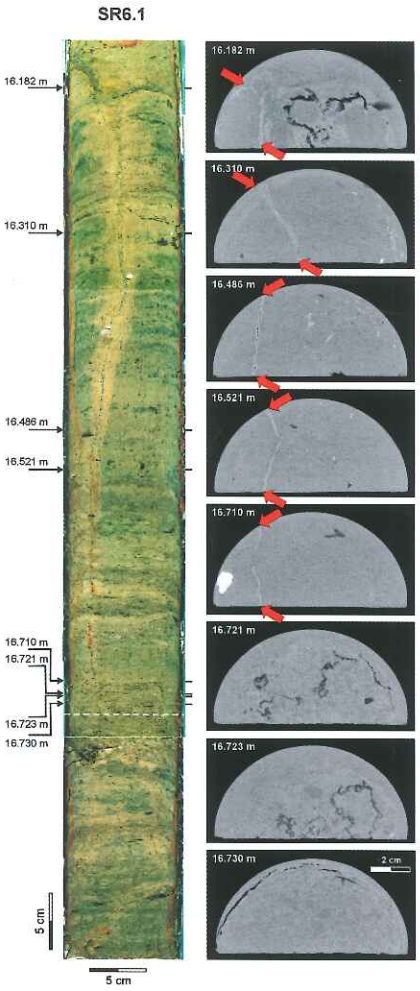


Figura 6. Fotografía del sondeo SR.6.1 (lago Seewen, Suiza) en la que se observa un dique de arena. Las imágenes de la derecha corresponden a tomografías de R-X en las que se puede apreciar el plano del dique. Las flechas rojas indican el principio y final del plano.

Se han identificado sendos eventos sísmicos en el registro sedimentario del lago Seewen previos al destructivo terremoto de Basel de 1356, ambos de magnitud superior a 5,5 (límite a la licuefacción) y edades de 10.350 - 9.750 y 4.160 - 3.820 años (a. de C.). El más antiguo está registrado mediante diques de arena (*figura 6*) y estructuras de colapso, generadas estas últimas por la migración de material licuefactado a la superficie. El más reciente está representado por estructuras en champiñón y estratos distorsionados (*figura 7*). En ambos niveles se han podido descartar fenómenos no sísmicos que pudiesen generar estas estructuras, como elevaciones bruscas del nivel freático, efectos de carga, glaciarismo o gradientes inversos de densidad (Becker et al., 2004 y en prensa).

Sismitas en el lago de Acambay (Pleistoceno - Holoceno), México

Ya hemos visto como trabajar con sismitas en sedimentos lacustres recientes y actuales, pudiendo fijar temporalmente un evento y dar una estimación de magnitud, pero ahora vamos a completar este particular viendo como podemos tratar espacialmente estas estructuras, con el fin de localizar el área epicentral del terremoto. Es decir que lo vamos a localizar espacio-temporalmente.

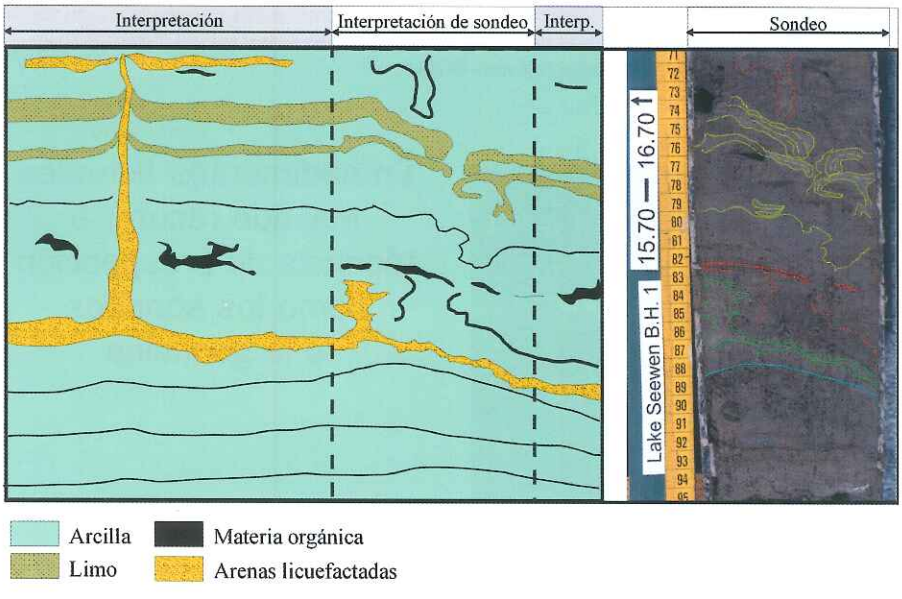


Figura 7. Fotografía de sondeo y esquema explicativo de una estructura de colapso asociada a un dique de arena estructuras en champiñón (lago Seewen, Suiza).

También veremos los resultados obtenidos de la realización de trincheras en fallas activas que afectan a sedimentos lacustres del Holoceno, para lo cual nos desplazaremos al Arco Volcánico Transmexicano.

La sismicidad histórica del estado de Michoacán, donde se centra este apartado, ha sido relacionada sistemáticamente con la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa Americana. Sin embargo, existen importantes evidencias de la actividad de fallas dentro del Arco Volcánico Transmexicano (Langridge, et al., 2000: Garduño et al., 2003 y 2004; Szynkaruk, 2004; Rodríguez-Pascua et al., 2003b, 2004a y b; Garduño et al., en prensa). Uno de estos conjuntos de fallas es el Sistema de Fallas Morelia - Acambay, cuya dirección es E - O en su parte oriental y cambia a NE - SO en la occidental, con una longitud superior a los 250 km (*figura 8*), siendo uno de los objetivos principales demostrar el potencial sísmico de este sistema de fallas. Este estudio se ha llevado a cabo mediante el proyecto de investigación: "Estudio de Paleosismología de los segmentos orientales del sistema de falla Morelia-Acambay, Michoacán, México", financiado por el CONACYT mexicano, cuyo investigador principal es el Dr. Víctor Hugo Garduño Monroy, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en el que han participado el USGS de los EEUU y la Universidad San Pablo - CEU de Madrid. El trabajo consta de dos bloques principales, ambos centrados en la búsqueda de paleoterremotos del Pleistoceno - Holoceno: por un lado la búsqueda de estructuras de licuefacción en sedimentos lacustres y por otro lado el estudio de fallas sísmicas en trinchera. Para el primer caso se ha utilizado la Cuenca lacustre de Acambay (Pleistoceno - Holoceno), situada junto a la falla de Acambay en su límite oriental, responsable del terremoto de 1912 (*figura 8 B*). Para el estudio de fallas en trinchera también se ha recurrido a sedimentos lacustres, en este caso dentro del lago actual de Pátzcuaro, más concretamente en la isla de Jarácuaro, en el extremo occidental del Sistema de fallas Morelia - Acambay (*figura 8 C*).

Las sismitas encontradas en la Cuenca de Acambay (3 paleoterremotos) corresponden

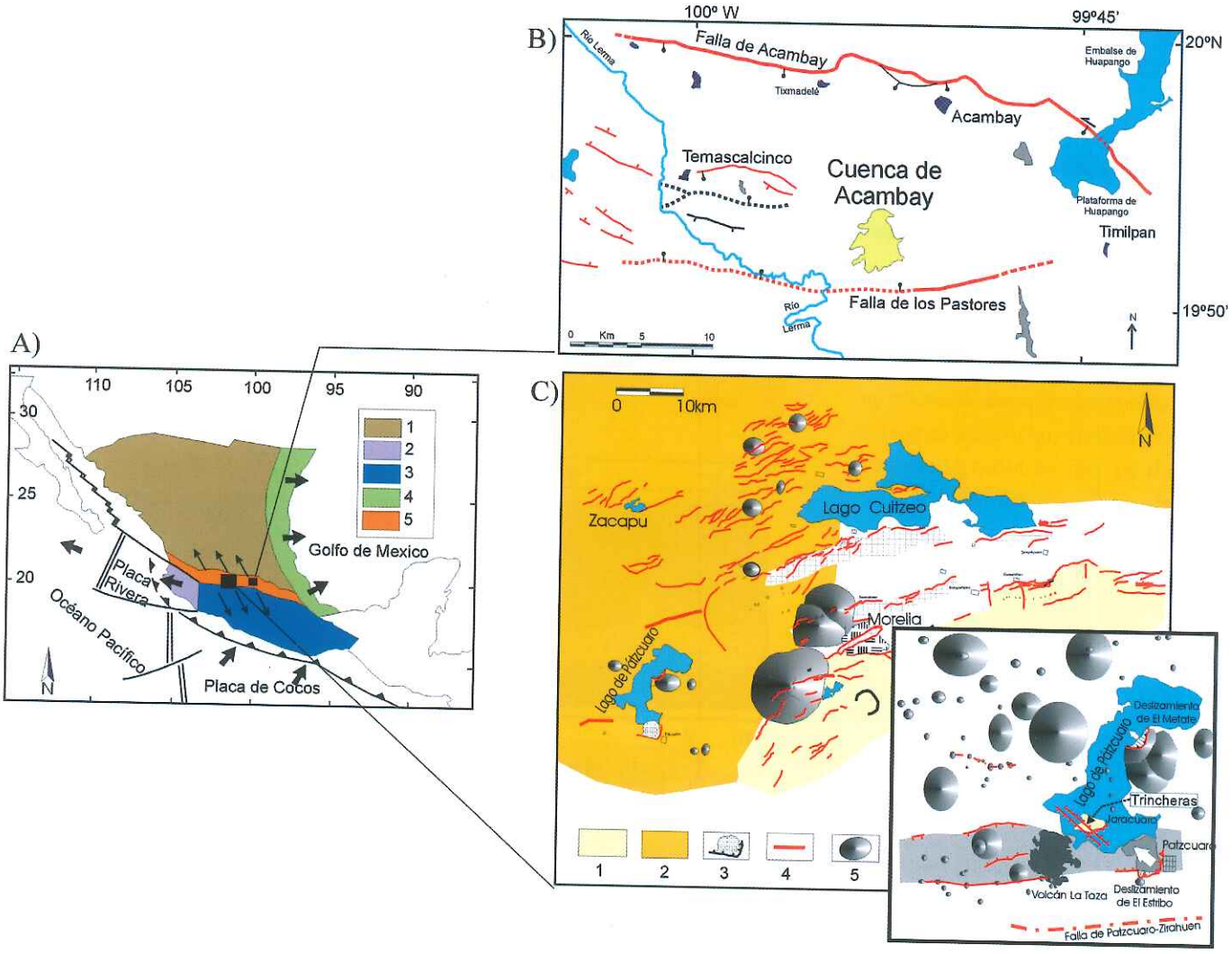


Figura 8. A) Situación geográfica y geológica de las áreas de estudio en el Arco Volcánico Transmexicano (1: Placa Norteamericana; 2: Bloque Jalisco; 3: Terrenos Exóticos; 4: Área tectónica del Golfo de México; 5: Arco Volcánico Transmexicano). B) Situación geográfica y geológica de la Cuenca de Acambay. C) Esquema tectónico de la banda de deformación de la falla Morelia - Acambay (1: Secuencia volcánica miocena; 2: Corredor volcánico tarasco; 3: Depósitos de colapso y avalancha; 4: Fallas; 5: Volcanes monogenéticos y estratovolcanes) y del lago de Pázcuaro, en el que se indica la ubicación de la isla de Jarácuaro y las trincheras realizadas.

exclusivamente a morfologías sinsedimentarias, generadas a techo de la sedimentación lacustre existente en el momento de su génesis. Estas son inyecciones de arena, colapsos, estructuras en champiñón, pseudonódulos y estructuras almohadilladas, todas ellas generadas por procesos de licuefacción (*figura 9*). Además, también se pueden observar estructuras frágiles como microfallas, tanto de carácter normal como inverso. Todas ellas son correlacionables en toda la cuenca y cumplen los criterios sísmicos de Sims (1975) y Obermaier et al. (1993). A estos hay que sumar otros dos estratos correspondientes a sendos slumps (deslizamientos subacuáticos) de 50 y 7 metros de potencia (Rodríguez-Pascua et al., 2004a). Por tanto, se han identificado 5 terremotos de M >5 en el Pleistoceno - Holoceno, siendo la primera aportación paleosísmica mediante sismitas que se realiza en México.

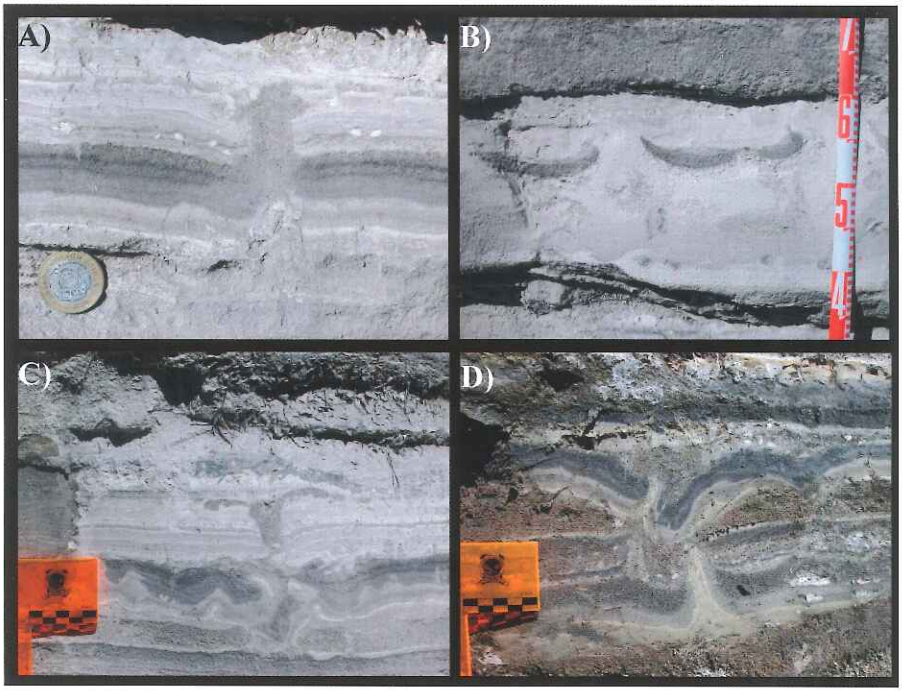


Figura 9. Fotografías de afloramiento de sismitas de la cuenca lacustre de Acambay (Estado de México) (Pleistoceno - Holoceno): A) dique de arena; B) estructuras en almohadilla; C) estructura en champiñón; y C) diques de arena y estructuras de colapso.

Dentro de las deformaciones observadas para el evento 4 se pueden ver tres niveles de deformación (en limos, arenas y gravas), cuya distribución espacial varía. En la capa de microconglomerados se desarrollan intrusiones de gravas, en la de arenas y limos diques y estructuras en champiñón de manera independiente a cada nivel (*figura 10*). La deformación se puede desarrollar en uno de los niveles licuefactables, en dos o en todos a la vez, por este motivo proponemos una gradación de la "intensidad de la deformación". En función de este criterio tenemos que (Rodríguez-Pascua et al., 2004b) (*figura 10*):

- Grado I: si solo aparecen los limos licuefactados.
- Grado II: limos y arenas licuefactados.
- Grado III: limos, arenas y/o gravas licuefactadas.

Si tenemos en cuenta los límites empíricos a la licuefacción (Atkinson, 1984; Thorson et al., 1986; Scott y Price, 1988; Audemard y De Santis, 1991; Papadopoulos y Lefkopoulos, 1993; Obermeier, 1996), el grado I correspondería a una magnitud local superior a 5, mientras que el III sería superior

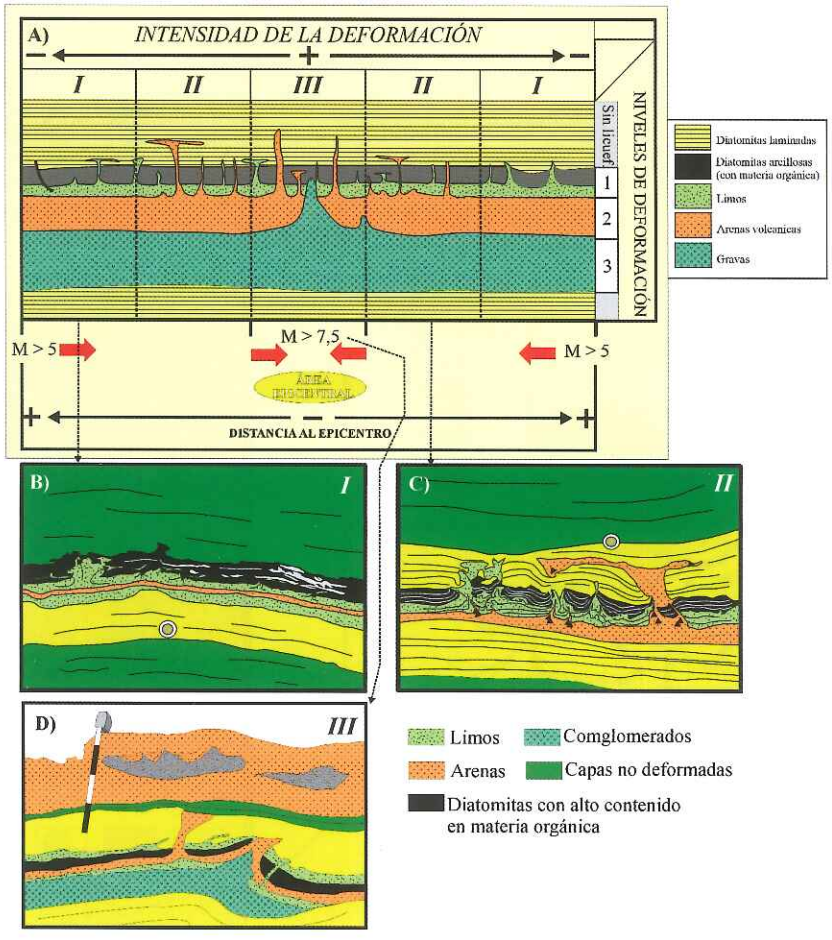


Figura 10. A) Esquema explicativo de la gradación de intensidades de la deformación para gravas, arenas y limos. La zona de máxima deformación corresponde con el área epicentral del terremoto. Estructuras de licuefacción correspondientes a: B) licuefacción de la capa de limos; C) estructuras de licuefacción de las capas de limos y arenas, diques y estructuras en champiñón y D) licuefacción de gravas, arenas y limos, en la parte superior se pueden observar las estructuras en almohadilla del sismo 5.

a 7,5. El grado II sería una magnitud intermedia, pero a falta de estudios empíricos de licuefacción en estos materiales no podríamos establecer la magnitud exacta asociada a este evento. Si cartografiamos esta distribución de la deformación podremos generar mapas de "zonas de igual intensidad de la deformación en sismitas" o "paleoisosistas" en la Cuenca de Acambay (*figura 11*). Correspondiendo el Grado III a la zona epicentral del terremoto que generó estas estructuras, atenuándose la deformación a medida que nos alejamos de esta zona.

Trincheras en fallas activas del lago de Pátzcuaro (Holoceno), Michoacán, México

Una vez visto como podemos trabajar con la información sísmica que nos ofrecen los sedimentos lacustres vamos a utilizarlos ahora de una forma diferente, estudiando directamente las fallas activas que los cortan. Para este particular nos vamos al extremo occidental del sistema de fallas de Morelia Acambay, al lago de Pátzcuaro, en el que podemos encontrar una isla constituida de materiales lacustres y afectada por fallas activas, Jarácuaro (*figura 8C*).

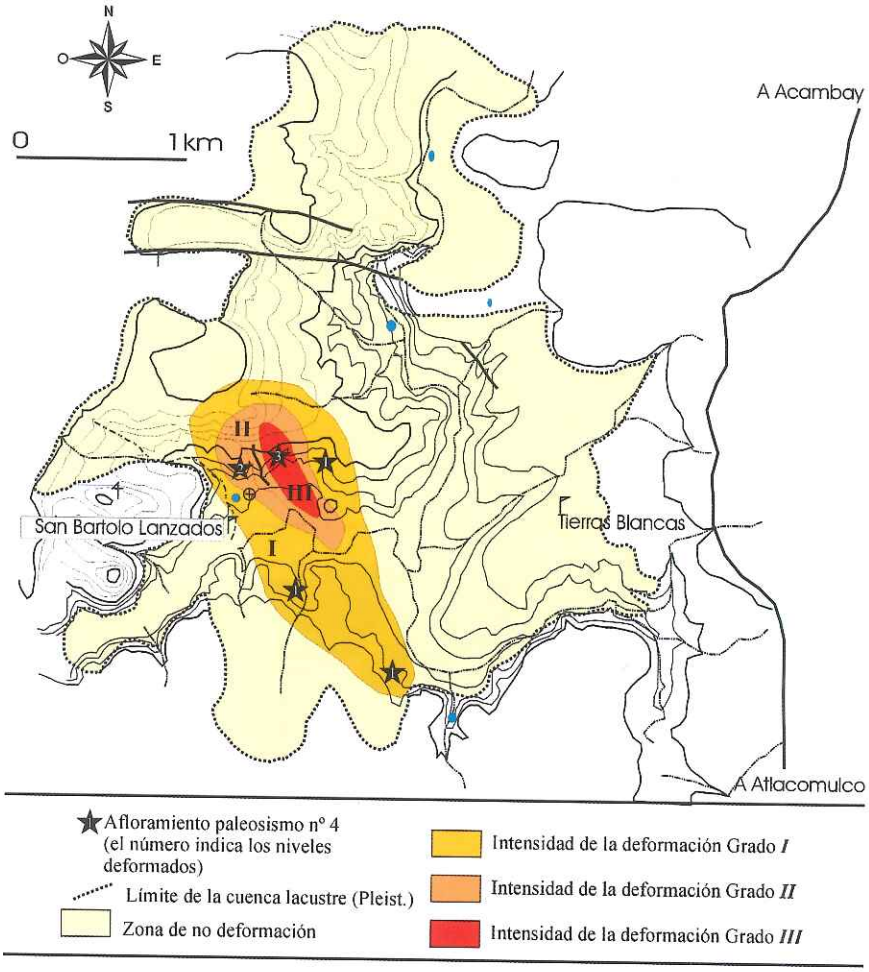


Figura 11. Mapa de "paleoisosistas" de la Cuenca de Acambay (Estado de México) para el paleoterremoto 4 identificado dentro de la misma (Pleistoceno).

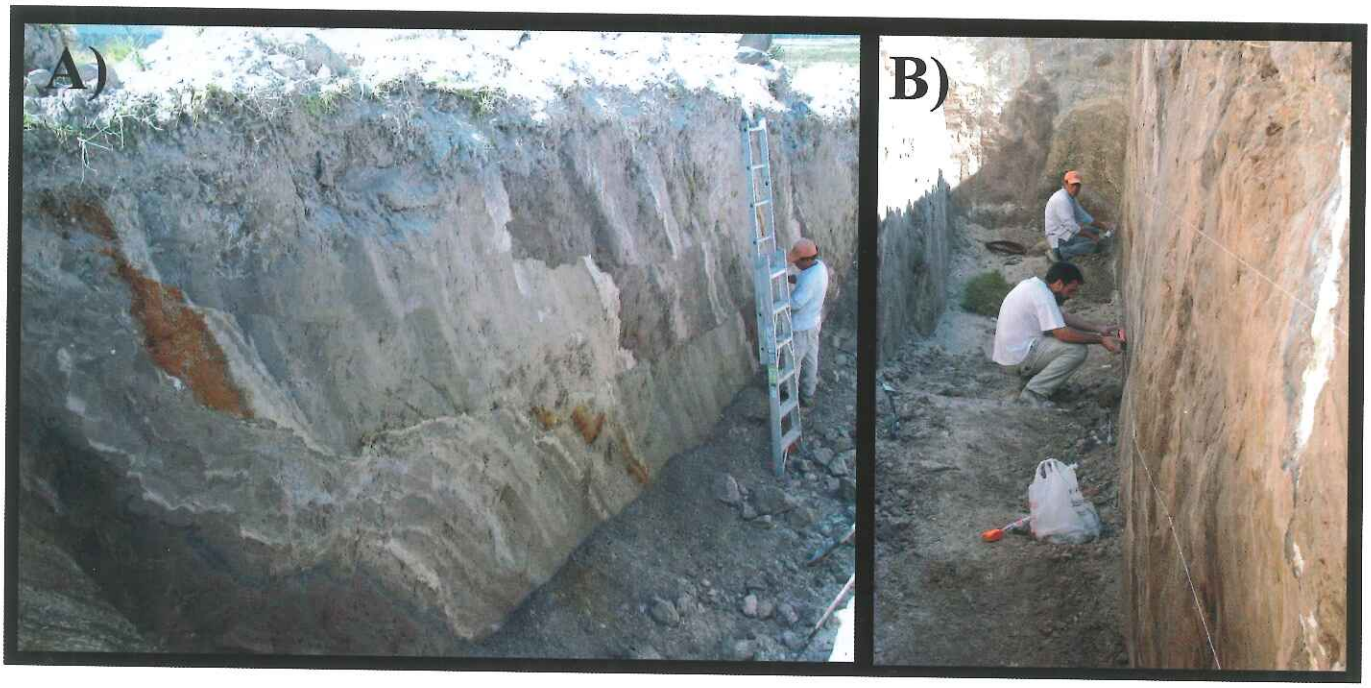


Figura 12. Fotografías de afloramiento de la trinchera nº 4, realizada en la isla de Jarácuaro, Lago de Pátzcuaro (Michoacán, México). Nótese el contraste de color de los materiales lacustres estudiados. A) Limpieza de las paredes de la trinchera; y B) cuadriculado de la trinchera.

Dado el carácter reciente de estas fallas no existen afloramientos naturales producidos, por ejemplo, por el encajamiento de la red fluvial, por lo que es necesario realizar trincheras para generar "afloramientos artificiales" (*figura 12 A*). El problema principal es ubicar el lugar exacto de la trinchera y no cometer errores. Para lo cual se realiza un pormenorizado estudio de campo, en el que se incluye cartografía tectónica, fotointerpretación, imágenes de satélite Spot, sedimentología, microtopografía y geofísica (georradar, en nuestro caso). Con estos trabajos se han podido identificar las trazas de las fallas más recientes, todas ellas del Holoceno, con un claro reflejo en la topografía de la isla. Las trincheras realizadas se localizan en el margen sur de la isla de Jarácuaro, en una de sus zonas más elevadas (*figura 8 C*).

Algunas de las principales ventajas que presenta la elaboración de trincheras en sedimentos lacustres es el contraste de tonalidades de los sedimentos, que nos permiten observar de una manera muy precisa los saltos de falla (*figura 12*), y la abundancia de materia orgánica para datar mediante C^{14}. Una vez realizada la trinchera se pasa a limpiar las paredes (*figura 12 A*) para la correcta observación de los sedimentos y a elaborar una cuadrícula sobre la misma (generalmente de 1 m por 1m) (*figura 12 B*). Se realiza un esquema de cada una de las cuadrículas y se fotografían para montar posteriormente un mosaico en el ordenador, sobre el que trabajar. Ahora, los objetivos principales son determinar cuantos saltos de falla hay (es decir, cuantos eventos sísmicos ha producido) y el salto real de cada sismo (para poder calcular la magnitud del terremoto). Una vez establecidos estos dos particulares pasaremos a recoger muestras para datar los paleoterremotos identificados. Usualmente se utilizan restos de materia orgánica carbonizada para aplicar dataciones mediante C^{14}, otro método muy utilizado es la termoluminiscencia o el Ar - Ar.

Hasta el momento hemos realizado 4 trincheras en la isla de Jarácuaro (Garduño et al., 2004), observando intensas deformaciones en los sedimentos del Pleistoceno-Holoceno, que están afectados por fallas normales. Esto produce una alta desorganización en la serie estratigráfica y una alta complejidad estructural (*figura 13*), la cual varía en cuestión de metros, todo esto hace replantearse las metodologías basadas en sondeos aislados que se han utilizado hasta el momento para el estudio de la sedimentología de estos lagos. De las 4 trincheras realizadas hasta el momento podemos deducir la presencia de, al menos, 8 terremotos comprendidos entre los 25.000 y 3.000 años de antigüedad. Estos eventos se han deducido a partir de saltos de falla (en algunos casos, con saltos superiores a 3 m), deslizamientos (subacuáticos y superficiales) y estructuras de licuefacción (sismitas). Terremotos que vienen a ampliar el exiguo catálogo sísmico de grandes eventos en la zona de estudio. En la actualidad, estando

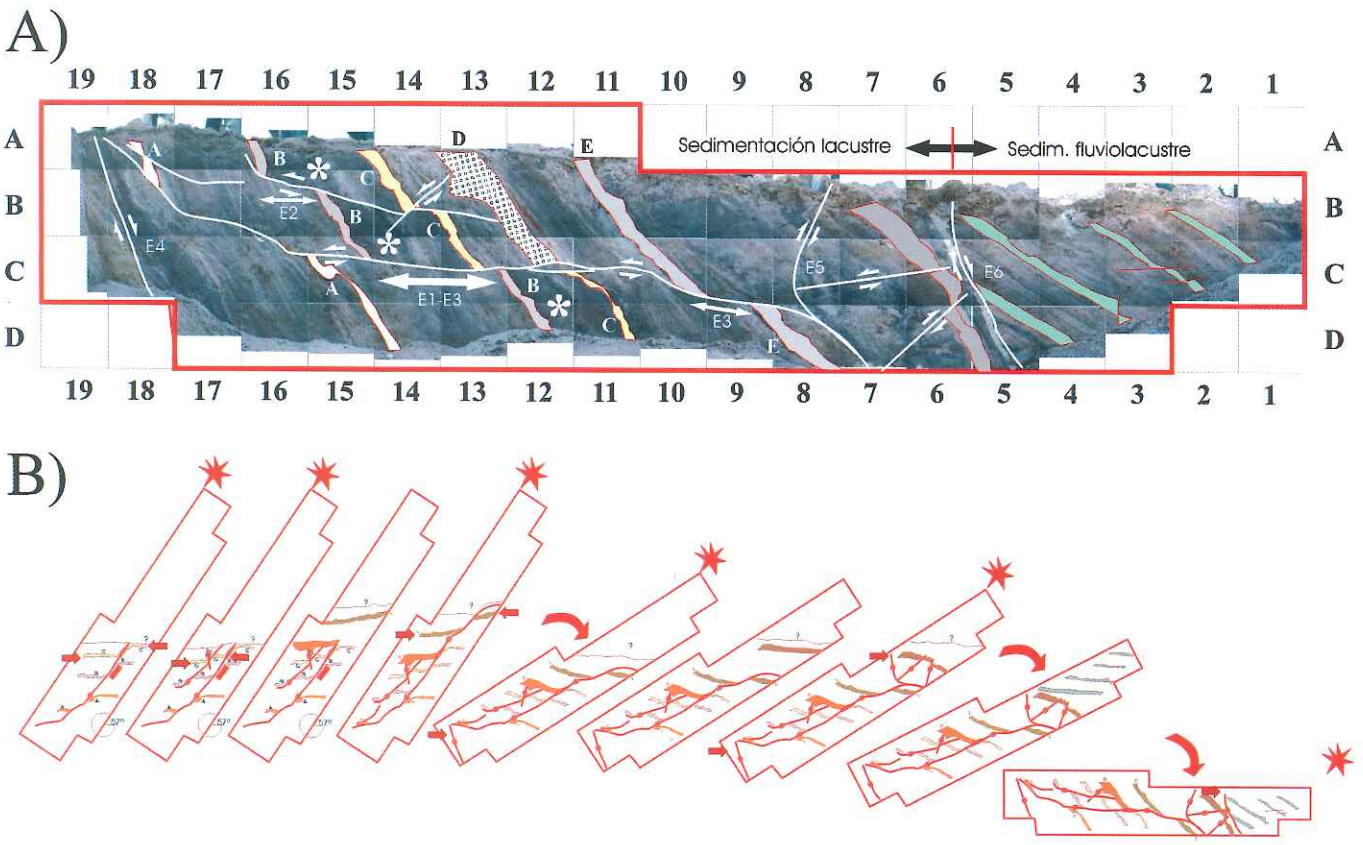


Figura 13. Esquema paleosismológico de la trinchera 4 realizada en la isla de Jarácuaro, Lago de Pátzcuaro (Michoacán, México). La cuadrícula es de 1 x 1 m. A) Con la letra "E" se enumeran los diferentes eventos sísmicos, el asterisco corresponde a la localización de estructuras de licuefacción. El resto de letras indican correlación entre capas. Las flechas marcan el salto de falla. B) Esquema evolutivo de la reconstrucción de la deformación dentro de la trinchera, las estrellas indican eventos sísmicos.

a la espera de recibir los resultados de nuevos análisis, disponemos de tres dataciones de C^{14} de los eventos más antiguos, de edad (en años): 24.100 (± 290), 23.380 (± 460) y 18.380 (± 124).

Registros sísmicos purépechas de hace 3.000 años (Michoacán, México)

En las trincheras realizadas en la isla de Jarácuaro hemos podido constatar la presencia de dos grandes bloques de andesitas basalticas situados sobre la traza de dos fallas con clara actividad paleosísmica. Estos bloques están alineados según una orientación N140ºE, siendo el bloque del SE de menores dimensiones (3 m^3) que el del NO (4 m^3) (*figura 14 A*). El bloque del SE presenta forma de "silla" (*figura 14B*), de hecho es conocido en la localidad de Jarácuaro con este nombre. La tradición oral de los purépechas se mantiene en la isla, aun se conserva el purépecha como idioma, habiendo varias leyendas en torno a estos bloques. Ninguna de ellas está relacionada "a priori" con la actividad símica, pero lo que sí demuestran es la conciencia local sobre la singularidad de dichos bloques que no ha pasado desapercibida en Jarácuaro (Rodríguez-Pascua et al., 2004c). Los bloques fueron extraídos de una cantera cercana (1 km) y trasladados a esta posición, concretamente junto a las fallas estudiadas, y en el bloque hundido de estas fallas normales. Los purépechas debieron sufrir al menos dos grandes terremotos que debieron influir bastante en su vida cotidiana, por este motivo, bien como señalización o para aplacar la ira de su dios de la Tierra, Uitzilopotzli, colocaron estos dos grandes bloques junto a la ruptura superficial de las fallas (*figura14 C*). Considerando que dichos bloques pesan entre 7,5 y 10 tm, el esfuerzo que debió suponer su transporte debió de ser considerable, más si tenemos en cuenta que los suelos donde se apoyan contienen industria lítica y cerámica menor a 3.000 años (Fisher, et al, 2003), cuando este pueblo aun no tenía un desarrollo tecnológico importante. Además, se debe considerar que el transporte incluyó casi 500 m de lago.

Jarácuaro significa en purépecha "lugar aparecido", lo que indica que los purépechas debieron ver aparecer esta isla a causa de un terremoto, no en vano es la única isla del lago de Pátzcuaro que no es de origen volcánico. Por tanto, estaríamos ante uno de los registros sísmicos más antiguos de la historia y sería la primera vez que ser relacionan la causa efecto de la sismicidad: falla y terremoto.

REFLEXIONES FINALES

La paleosismología está aportando multitud de datos sísmicos en todo el mundo, datos especialmente importantes en zonas en las que no se había registrado ningún terremoto, ni con sismógrafos ni con crónicas históricas. La ventana temporal que abarca es tan amplia como nos lo permita el registro sedimentario que estemos estudiando, por lo que ya no estamos limitados al intervalo temporal histórico e instrumental. Estos tres tipos de datos, instrumentales, históricos y paleosismológicos deben complementarse unos a otros para tener un conocimiento profundo sobre la actividad sísmica de un área en concreto. Resulta absolutamente necesario conocer las fallas sismogenéticas y la cinemática y dinámica del contexto estructural estudiado. No podemos estudiar un fenómeno, en este caso el sísmico, olvidándonos del origen del mismo, las fallas. Es decir, que se debe trabajar de forma multidisciplinar para avanzar en el conocimiento del fenómeno sísmico.

La paleosismología desarrollada en sedimentos lacustres aporta múltiples ventajas en este tipo de estudios, entre las más destacables tenemos: la calidad y continuidad temporal del registro sedimentario; alta susceptibilidad a la deformación sísmica de los sedimentos; escasa influencia de agentes externos en zonas profundas; si aparecen varvas anuales nos van a permitir datar los eventos estudiados; el estar permanentemente bajo una lámina de agua favorece los procesos de licuefacción; la estratificación de la lámina de agua produce zonas anóxicas en profundidad que impiden la bioturbación; abundancia de materia orgánica que permite dataciones con C^{14}, el contraste de litologías favorece la observación de estructuras y fallas, etc. Por tanto, los lagos, sean fósiles o actuales, son medios sedimentarios idóneos para el desarrollo de la paleosismología, tanto para el estudio de sismitas como para el de fallas en trinchera.

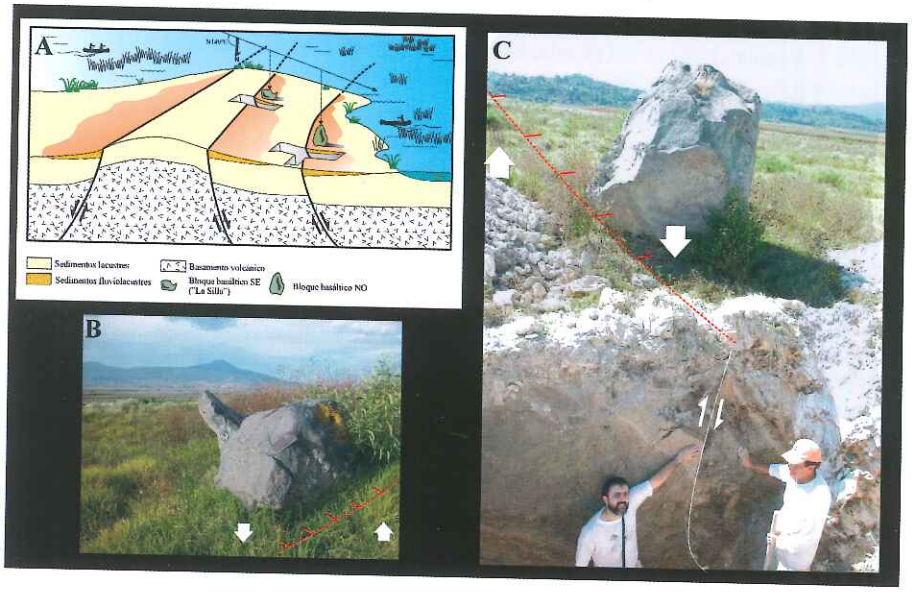


Figura 14. Corte esquemático de la ubicación de los bloques de basalto colocados por la cultura purépecha (Periodo Clásico, 3.000 años B.P.) en el bloque hundido de las fallas normales con respecto a las trincheras realizadas en las fallas de la isla de Jarácuaro en el lago de Pátzcuaro. B) Bloque de "La Silla", posiblemente utilizado para sacrificios humanos y C) bloque NO con la situación de la falla en la trinchera 4.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUDEMARD, A., y DE SANTIS, F., (1991). Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes. Bulletin International Association of Engineering Geology. 44, 5-16.
- AMICK, D., GELINAS, R., MAURAT, R., CANNON, D., MOORE, D., BILLINGTON, E. y KEMPPINEN, H. (1990). Paleoliquefaction features along the Atlantic seaboard. NUREG/CR-5613 RA. U.S. Nuclear Regulatory Commision. Washington DC.
- ATKINSON, G., (1984). Simple computation of liquefaction probability for seismic hazard applications. Earthquake Spectra, 1 (1), 107-123.
- BECKER, A., DAVENPORT, C. HAEBERLY, W., BURGA, C., PERRET, R., FLISCH, A. y KELLER, W. (2000). The Fulnau landslide and former Lake Seeven in northern Swiss Jura Mountains. Eclogae geol. Helv. 93: 291-305.
- BECKER, A., RODRÍGUEZ-PASCUA, M. A. y DAVENPORT, C. (2004). Paleoterremotos del Pleistoceno superior - Holoceno observados en sondeos en el lago Seewen (N de Suiza). Eventos equiparables al destructivo terremoto histórico de Basel (1356). Geotemas. 6 (3): 139 - 142.
- BECKER, A., DAVENPORT, C. y RODRÍGUEZ-PASCUA, M. A (en prensa). Detailed drill core analysis for the reconstruction of palaeoenvironmental events and prehistoric earthquakes from sediment structures in Lake Seewen, Switzerland. Quaternary Science Reviews.
- FISHER C. T., POLLARD H., ISRADE, I., GARDUÑO, V. H. y BANERJEE, S. (2003). A reexamination of Human- Induced Environmental change within the Lake Patzcuaro Basin, Michoacan, Mexico. Proceedings of the National Academy of Sciences. Abril 15, 2003. Vol 100 N° 8, p. 4957-4962.
- GARDUÑO MONROY, V.H., RODRÍGUEZ PASCUA, M.A. y ALCÁNTARA ISRADE, I. (2003). La deformación de las secuencias lacustres del Pleistoceno - Holoceno: evidencias de actividad sísmica importante en las cuencas de Pátzcuaro y Zacapu. Michoacán. México. GEOS. 23 (2): 121-122.
- GARDUÑO-MONROY, V.H., RODRÍGUEZ-PASCUA, M.A., e ISRADE-ALCANTARA, I. (2004). Evidencias paleosísmicas en fallas activas y sedimentos deformados del Lago de Pátzcuaro. Jarácuaro, Michoacán, México. Geotemas. 6 (3): 151 - 154.
- GARDUÑO-MONROY V.H., ISRADE-ALCANTARA, E. SZYNKARUK, I., RODRÍGUEZ PASCUA, M.A. y ARREYGUE-ROCHA, E. (en prensa). Geometry and Paleoseismology of SW Morelia-Acambay Fault System, Central Mexico. Journal of South American Earth Sciences.
- LANGRIDGE, R.M., WELDON, R.J., MOYA, J.C. y SUÁREZ, G. (2000). Paleoseismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadejé fault, Trans-Mexican Volcanic Belt. J. Geophys. Res., 105 (B2): 3019-3037.
- OBERMEIER, S.F., MARTIN, J.R., FRANKEL, A.D., YOUD, T.L., MUNSON, P.J., MUNSON, C.A. y POND, E.C. (1993). Liquefaction evidence for one or more strong Holocene earthquakes in the Wabash Valley of southern indiana and Illinois, which a preliminary estimate of magnitude. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1536.
- OBERMEIER, S.F. (1994). Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis. En: Using ground-failure features for paleoseismic analysis (S.F. Obermeier y W.R. Jibson, Eds.), U.S. Geol. Surv. Open-File Rept., 94-633: A1-A98.
- OBERMEIER, S.F. (1996). Use of liquefaction - induced features for paleoseismic analysis. An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo - earthquakes. Eng. Geology. 44: 1 - 76.
- OWEN, H.G. (1987). Deformation processes in unconsolidated sands. En: Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks (E.M. Jones y M.F. Preston, Eds.), Geol. Soc. London, 29: 11-24.
- PAPADOPOULOS, G.A. y LEFKOPOULOS, G., (1993). Magnitude-distance relations for liquefactions in soil from earthquakes. Bulletin Seismological Society of America. 83 (3), 925-938.
- RODRÍGUEZ PASCUA, M.A., CALVO, J.P., DE VICENTE, G. y GÓMEZ GRAS, D. (2000). Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. Sedimentary Geology ; 135, 117 - 135.
- RODRÍGUEZ-PASCUA, M.A., DE VICENTE, G., CALVO, J.P. y PÉREZ-LÓPEZ, R. (2003a). Similarities between recent seismic activity and paleoseismites during the Late Miocene in the External Betic Chain: Relationship by "b" value and fractal dimension. Journal of Structural Geology. n°25, 749-763.
- RODRÍGUEZ PASCUA, M.A., GARDUÑO MONROY, V.H. y ALCÁNTARA ISRADE, I. (2003b). Paleosismología y efectos de licuefacción en la región de Acambay, México. GEOS. 23 (2):, 121-122.
- RODRÍGUEZ-PASCUA, M.A., GARDUÑO-MONROY, V.H., e ISRADE-ALCANTARA, I. (2004a). Terremotos pleistocenos en la cuenca lacustre de Acambay (México). Geotemas . 6 (3): 183 - 186.
- RODRÍGUEZ-PASCUA, M.A., GARDUÑO-MONROY, V.H., e ISRADE-ALCANTARA, I. (2004b). Zonaciones de intensidad de deformación sísmica en sedimentos lacustres pleistocenos de la Cuenca de Acambay, México. Geotemas. 6 (3): 187 - 190.
- RODRÍGUEZ-PASCUA, M.A., GARDUÑO-MONROY, V.H., e ISRADE-ALCANTARA, I. (2004c). Registros sísmicos purépechas del Periodo Preclásico (3.000 años B.P.), deducidos mediante paleosismicidad. Isla de Jarácuaro, Lago de Pátzcuaro. Michoacán, México. Geotemas. 6 (3): 191 - 194.
- SCOTT, B. y PRICE, S., (1988). Earthquake-induced structures in young sediments. Tectonophysics. 147, 165-170.
- SEILACHER, A. (1969). Fault graded beds interpreted as seismites. Sedimentology, 13: 155-159.
- SIMS, J.D. (1975). Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments. Tectonophysics, 29: 141-152.
- SZYNKARUK, E. (2004). Tectonic implications of geomorphologic and structural characteristics for the Morelia - Acambay fault system, central Trans-Mexican Volcanic Belt. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. 108 pags.
- THORSON, R.M., CLAITON, W.S. y SEEVER, L., (1986). Geologic evidence for a large prehistorical earthquake in eastern of Connecticut. Geology. 14, 463-467.

Nueva Orleáns

crónica geológica de un desastre anunciado

A pesar del tiempo transcurrido, ya algo más de tres meses, desde la catástrofe ocasionada por el huracán Katrina en la ciudad de Nueva Orleáns, resulta adecuado conocer más en detalle, desde una perspectiva estrictamente geológica, las causas que condujeron a un desastre de tales dimensiones y que puede volver a producirse en el futuro. Esto permite hacer una reflexión sobre el papel que los científicos deben jugar en la prevención de los riesgos debidos a causas naturales, lejos de cualquier interés espurio que algunos, a veces, achacan a los resultados de su labor investigadora.

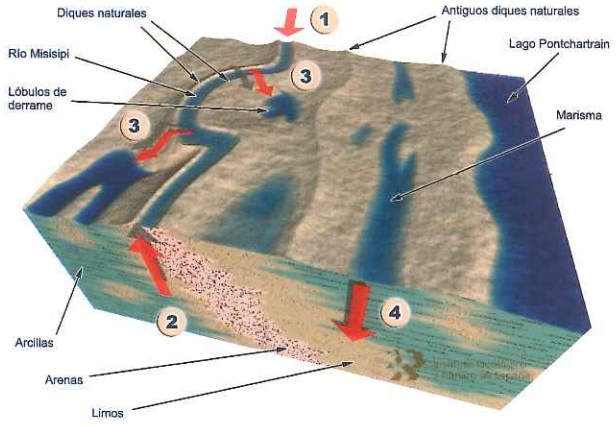
Hace casi cuatro años, Mark Fischetti publicaba en la revista Investigación y Ciencia (número 303 de diciembre de 2001) un artículo titulado "Deltas en zonas habitadas", en el que de manera premonitoria anunciaba lo acontecido recientemente en Nueva Orleáns (EE.UU.). Reproduzco a continuación el sumario de su trabajo científico-divulgativo, como muestra del grado de acierto en la predicción que alcanzó con su conocimiento de la situación: *"Si se produjera un gran huracán que afectara a Nueva Orleáns, la ciudad quedaría sumergida bajo seis metros de agua, con miles de pérdidas humanas. Para conjurar el peligro, deben emprenderse gigantescas obras de ingeniería que transformen el sudeste de Luisiana".*

Efectivamente, en la situación de buena parte de esta ciudad convergen muchos de los factores y circunstancias que hacían que se encontrase en situación de alto riesgo, tanto por ubicarse en un lugar de alta peligrosidad, como porque los bienes y personas expuestos son altamente vulnerables.

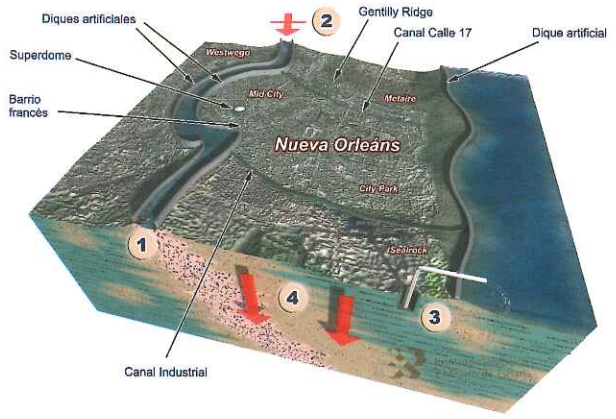
Nueva Orleáns está ubicada sobre un delta, entre el canal de un gran río, como es el Misisipí, y un lago litoral, el Pontchartrain, en cotas por debajo del nivel de la lámina de agua de ambos. La disposición actual del delta es el resultado de la interacción dinámica entre el río y los materiales que deposita, el oleaje y las corrientes litorales, por lo que ha ido cambiando la forma y situación de los brazos o lóbulos a lo largo de los últimos miles de años. Así, el actual canal de desagüe del río y las lagunas litorales que delimitan los brazos del delta, tienen un carácter provisional en una escala temporal geológica, sujetos a todo tipo de cambios por migración lateral del río, apertura de nuevos canales, desecación de las lagunas y formación de otras nuevas. A lo largo de los últimos 4600 años, el río ha construido cuatro brazos distintos del delta, siendo el lóbulo formado entre el siglo noveno y cuarto antes de Cristo el que cerró el lago del mar abierto. Buena prueba de estos cambios son los restos que quedan de antiguas posiciones de los diques naturales del río (llamados también malecones, motas o levees), que están ligeramente sobreelevados respecto a la llanura, como ocurre en Gentilly Ridge, permitiendo que este sector haya quedado menos anegado durante la inundación de la ciudad.

Además, el río Misisipí cuenta con un amplio registro histórico de crecidas (la última importante en el año 1927), lo que sumado a la ubicación de su delta en una zona de trayectoria habitual de circulación de huracanes y tormentas tropicales, convierte los ascensos súbitos del nivel de la lámina de agua en algo habitual. Dichos ascensos se deben al desbordamiento por crecidas del río o a las denominadas ondas u olas de tormenta, que apilan importantes volúmenes de agua contra la costa, erosionando playas, islas barrera o diques naturales. A estos ascensos puntuales se suma la controvertida hipótesis del incremento generalizado del nivel del mar como consecuencia del cambio climático global y que, de ser cierta, sería la causa de la invasión marina en parte de las marismas del Golfo de Méjico y la desaparición de las islas barrera que las circundaban (islas Dernières).

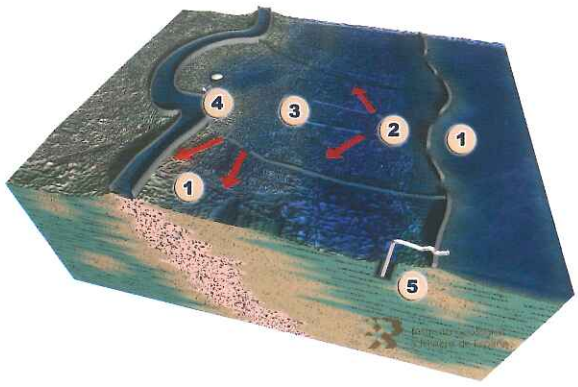
Por si fuera poco, desde hace siglos se ha constatado un progresivo hundimiento del nivel del suelo de la ciudad respecto al río y el lago (un metro cada siglo), acelerado hasta alcanzar 1.65 metros durante el siglo XX. Ello es debido a varios factores, entre los que cabe destacar: 1) la subsidencia por compactación y consolidación de los sedimentos del delta que, originalmente empapados en agua, van expulsándola como consecuencia del peso de los depósitos suprayacentes y las construcciones humanas; 2) la sobreelevación de los diques respecto a la ciudad, primero de forma natural por depósito de limos fluviales, y posteriormente por recrecimiento artificial mediante obras; 3) la disminución de la carga sedimentaria transportada por el río Misisipí como consecuencia de la regulación de su cuenca (la retención en los embalses ha reducido los aportes a la mitad en el último medio siglo), y el bloqueo por los diques artificiales de la sedimentación de estos materiales en zonas más



A. Situación natural, previa a la fundación de la Ciudad. La carga sedimentaria transportada por el río (1) hace que el lecho se eleve por depósito (2), a la vez que los desbordamientos sobre los diques naturales (3), rellenan las zonas palustres circundantes, compensando el hundimiento natural por subsidencia (4).



B. Situación de la Ciudad de Nueva Orleáns. La construcción de los diques artificiales (1) y la disminución de la carga del río (2), impiden el desbordamiento y sedimentación en la marisma, cesando la compensación de la subsidencia natural; además, el bombeo para drenaje y desecación de la marisma (3), se suma al sobrepeso de los edificios para acrecentar la subsidencia natural (4).



C. Situación tras el paso del huracán Katrina. La destrucción de los diques del lago y los canales en varios puntos (1) produce el anegamiento de gran parte de la Ciudad, preferentemente las zonas más bajas de la antigua marisma (2), quedando menos o nada sumergidas las posiciones de los antiguos diques (Gentilly Ridge, 3) y el antiguo barrio francés (4), situado en la elevación del dique natural del Misisipi; la interrupción del bombeo (5) agrava la situación.

bajas, compensando el descenso originado por la subsidencia, precisamente donde ahora se sitúa la ciudad; y 4) el bombeo de aguas subterráneas y drenaje mediante zanjas de las zonas pantanosas en las áreas urbanizadas, lo que supone también una compactación del subsuelo.

En cuanto al aumento de los bienes y personas expuestas, sólo cabe observar el rápido crecimiento urbanístico de Nueva Orleáns, que si bien originalmente se ubicó en los sectores más elevados de la llanura deltaica próximos al dique natural del río (Barrio Francés y la Uptown), posteriormente creció en las zonas topográficamente más bajas (Sealrock, City Park, Metaire...), que son precisamente donde las aguas alcanzaron el mayor nivel durante la catástrofe. Cuando se implanta una ciudad en un sistema tan dinámico y frágil como es un gran delta, y las infraestructuras se diseñan de espaldas a su evolución natural, la población allí establecida y sus bienes se convierten en elementos expuestos y vulnerables a los procesos naturales.

Algunos tildaron de catastrofistas a los científicos y técnicos que pronosticaron el desastre, e incluso vieron en sus augurios intereses económicos asociados a la consecución de financiación para sus investigaciones. Proyectos y estudios técnicos, cuyos costes, caso de haber sido aprobados, serían nimios en comparación con las consecuencias de la catástrofe.

Ahora, una vez ocurrido el desastre, se ha generado un interesante debate en la sociedad norteamericana acerca de la conveniencia o no de reconstruir la ciudad en esta misma ubicación. La clave está en determinar qué riesgo es asumible, y si los enormes costes de reconstrucción deben ser pagados con los impuestos del conjunto de los ciudadanos, aun a sabiendas que puede repetirse en el futuro (E.A. Anderson, WaterForum). Las obras de infraestructura (diques artificiales, dragados, apertura de canales de navegación, etc.) y los planes megalómanos (Flood Control Act, Coast 2050...) se han manifestado, una vez más, insuficientes; ha quedado demostrado que las medidas estructurales por sí solas no anulan el riesgo, sino que únicamente lo reducen, pero siempre queda un riesgo residual que con tan alto nivel de bienes y personas expuestas no debe ser socialmente asumible. Por ello, las medidas no estructurales, como la ordenación territorial, sistemas eficaces de protección civil y aseguramiento, deben ser las bases de futuras actuaciones en esta zona. □

Andrés Díez Herrero
Doctor en Ciencias Geológicas. Unidad de Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España (IGME)
Dibujos de Cristóbal Aparicio,
basados en idea original de Andrés Díez (IGME)

Kargaly esplendor minero en la edad de bronce

La región de Kargaly, situada en la gran estepa rusa al sur de los Urales, en la divisoria de aguas de las cuencas del Volga y del Ural, en la actual región administrativa de Orenburg, es uno de los mayores cotos mineros del mundo explotado en la Prehistoria reciente. En su fase de mayor actividad, durante el Bronce Final, en el II milenio antes de Cristo, miles de pozos y cientos de kilómetros de galerías perforaron las entrañas de la tierra. Un equipo de científicos rusos y españoles ha trabajado durante más de diez años en la reconstrucción de los procesos tecnológicos de la minería y la metalurgia prehistóricas, los modos de vida de las comunidades de mineros y el paleopaisaje

Salvador Rovira Llorens
Doctor en Geografía e Historia

María Isabel Martínez Navarrete
Doctora en Geografía e Historia

HISTORIA DE UN PROYECTO CONJUNTO HISPANO-RUSO

A finales de los años 80 del siglo pasado, miembros del Instituto de Arqueología de la Academia Rusa de Ciencias bajo la dirección del profesor Evgenii Nicolaevich Chernyj (en inglés y francés el apellido se translitera Chernykh) habían iniciado un ambicioso programa de prospección y estudio arqueológico del área minera de Kargaly, situada a unos 70 km al norte de la ciudad de Orenburg, en Rusia. Pocos años después, al socaire de los convenios bilaterales de colaboración científica establecidos entre España (CSIC) y Rusia (Academia de Ciencias), un reducido grupo de arqueólogos españoles del Dpto. de Prehistoria del Instituto de Historia se incorporó a los trabajos de campo ya iniciados en la localidad de Gorny, donde se había localizado un poblado minero cuya excavación estaba proporcionando materiales arqueológicos de extraordinario interés para el estudio de la tecnología minero-metalúrgica en el Bronce Final (cultura



Figura 1. Grupo expedicionario hispano-ruso de la campaña de 1997. De izquierda a derecha, de pie: S. V. Bikov "Sturman", E. E. Antipina, T. O. Teneishvili, S. Rovira, K. Akerman, J. M. Vicent, A. L. Rodríguez Alcalde, V. Yu. Lunkov y E. N. Chernyj; en cuclillas, I. de Zavala, S. V. Kuzminyj, J. A. López, E. Yu. Levedeva y M. I. Martínez Navarrete.

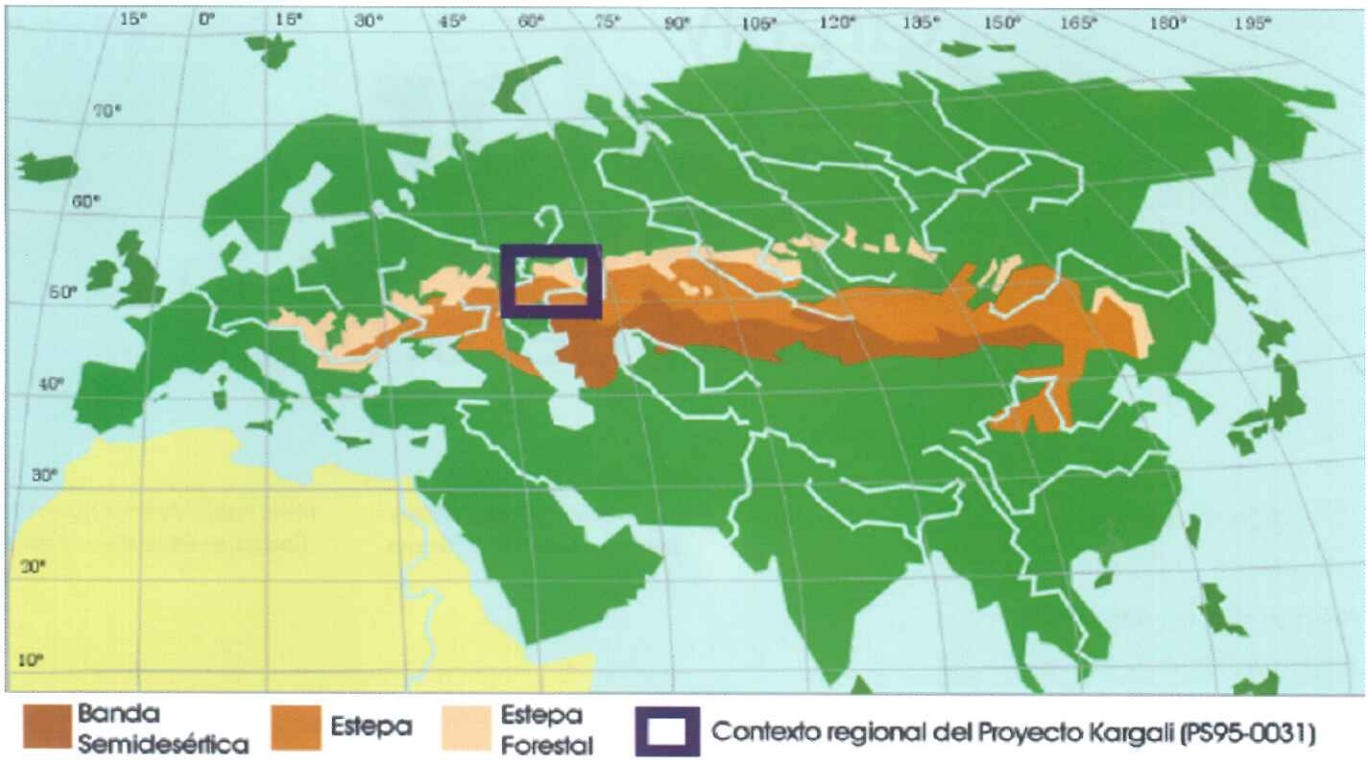


Figura 2. Mapa esquemático de localización de la región de Kargaly (Rusia) en la faja esteparia euroasiática.

Srubnaya), así como para conocer el espacio habitacional, modos y costumbres de una pequeña comunidad de mineros y metalúrgicos prehistóricos.

La asombrosa magnitud de Kargaly y sus posibilidades para alimentar un proyecto pluridisciplinar animó al equipo español a proponer una colaboración más estrecha y nuevos objetivos, cifrados en: a) un mejor conocimiento del terreno (la cartografía rusa disponible carecía de detalle a nivel microrregional) mediante el empleo de técnicas SIG y teledetección espacial, b) estudio de la evolución paisajística y reconstrucción del paleopaisaje mediante el análisis sistemático de pólenes en sondeos estratigráficos bien fechados y suficientes en número para dar validez estadística a los resultados (incluyendo una catalogación minuciosa de la flora actual y un estudio de muestras superficiales de lluvia polínica a efectos comparativos) y c) análisis exhaustivo de minerales, escorias y objetos de metal recuperados en las excavaciones arqueológicas y fundición experimental de menas locales, con los que elaborar un modelo tecnológico de la metalurgia prehistórica. Esta ampliación de objetivos hizo necesaria la



Figura 3. Localización geográfica de Kargaly en la región rusa de Orenburg (fábricas metalúrgicas, en triángulos).

incorporación al equipo de especialistas de otras instituciones como el Museo Arqueológico Nacional y la Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Agrícolas de la UPM.

La consecución de estos objetivos ha sido posible merced a varios proyectos financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología [PS95-0031 (1996-1999), PB98-0653 (1999-2002), BHA03-08575 (2003-2006)], todos ellos bajo la dirección de M. I. Martínez Navarrete. De ese modo pudimos llevar a cabo sucesivas expediciones anuales a la estepa de Kargaly junto con los colegas rusos, entre 1993 y 1998 (*figura 1*), así como frecuentes reuniones para poner en común y discutir resultados parciales.

ENTORNO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

Kargaly se ubica en la extensa faja de la estepa euroasiática que, desde el extremo noroccidental del Mar Negro, en Europa, hasta las llanuras orientales de la Mongolia interior en Asia, recorre el continente (*figura 2*), a unos 70 km al norte de la ciudad de Orenburg (*figura 3*).

El paisaje característico actual es una inmensa llanura herbácea (*figura 4*) con ligeras ondulaciones provocadas por la erosión de las areniscas rojas y grises del Pérmico que constituyen el sustrato rocoso de las estribaciones meridionales de los Urales. El fondo de estos discretos valles está surcado por pequeñas corrientes de agua que fluyen hacia el Kargalka y el Yangiz (cuenca del Ural) y hacia el Samara y el Tok (cuenca del Volga). En alguno de estos vallecillos crecen tramos de bosque ripario en el que predomina el abedul (*figura 5*).

El clima es continental: caluroso en verano, amortiguado por frecuentes tormentas que suelen provocar oscilaciones térmicas muy pronunciadas (*figura 6*), y frío a partir de la entrada del otoño, con nevadas que mantienen una cubierta de hielo hasta bien entrada la primavera. No debemos olvidar que Orenburg es la llamada "Puerta de Asia" que se abre hacia Siberia. Los hielos invernales provocan el enfriamiento del suelo sin llegar a los extremos del permafrost, circunstancia de la que nos aprovechábamos los expedicionarios situando la despensa del campamento bajo tierra, a unos dos metros de profundidad, donde la temperatura es del orden de 6 a 7º C, estable en verano.

EL COMPLEJO MINERO

En un determinado periodo de la fase formativa de las areniscas se produjeron arrastres aluvionares de minerales de cobre desde su posición primaria que, con el tiempo, formaron bolsadas, lentejones e impregnaciones de cuprita, malaquita y azurita, de tamaño variable, desde unos



Figura 4. La estepa herbácea de Kargaly. Obsérvese el afloramiento de las areniscas rojas en las partes más elevadas del relieve.



Figura 5. Bosque-galería a lo largo de un pequeño curso fluvial.



Figura 6. En el campamento, después de una tormenta de verano.

pocos centímetros hasta una decena de metros, así como sustituciones fibrosas en lechos con madera fosilizada. Se trata, pues, de un criadero del ciclo sedimentario.
La capa metalífera se encuentra a unos 10 m de profundidad bajo la superficie actual de las lomas, en un estrato de arenisca margosa con un espesor de entre 10 y 20 m.

El área explorada con evidencias de trabajos mineros se inserta aproximadamente en una elipse con el eje mayor de unos 50 km y el menor de unos 25 km. En ella se han podido identificar hasta doce distritos individualizables por elementos del relieve que los separan (*figura 7*). En dichos distritos la superficie del terreno muestra abundantes pozos, en unos casos con sus escombreras correspondientes junto a la boca indicando que se trata de verdaderos pozos de mina, en otros sin escombrera, lo que sugiere que son hundimientos de galerías o cavidades subterráneas, o sondeos fallidos, en parte vueltos a rellenar (*figura 8*). El cómputo aproximado mediante fotografía aérea arroja un total de más de 30.000 perforaciones, una cifra ciertamente asombrosa (Chernykh y Levedeva, 2002: 38).

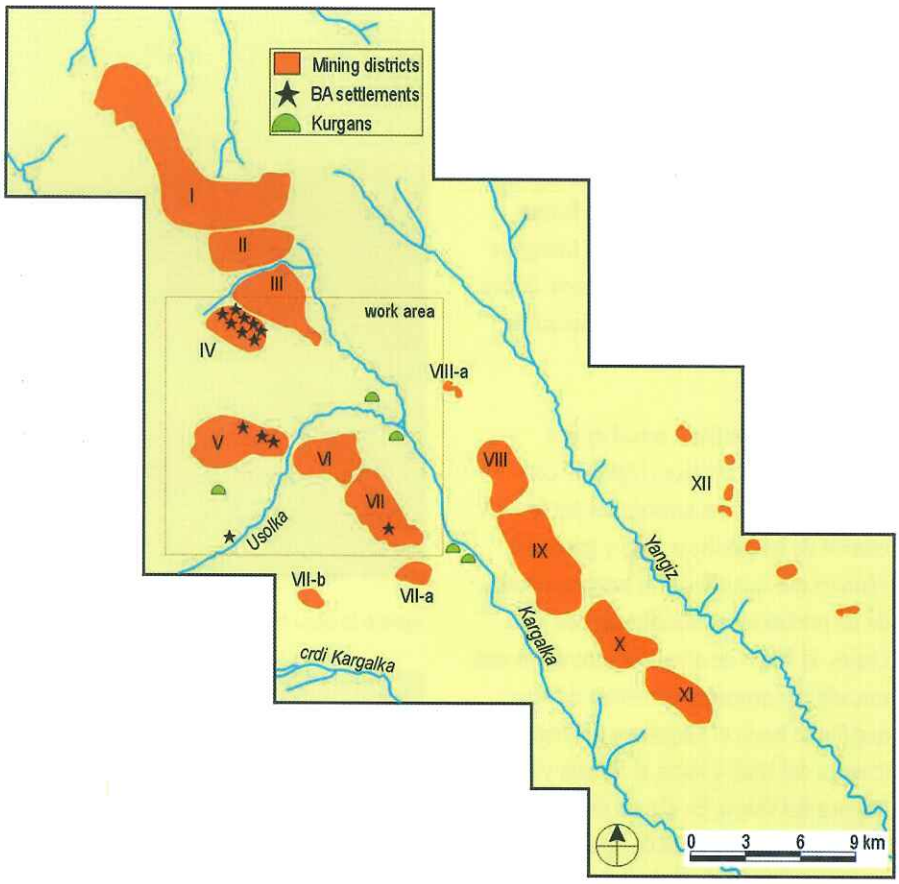


Figura 7. El coto minero de Kargaly. En rojo los distintos distritos prospectados.

La exploración de las galerías sólo se ha podido abordar parcialmente en algún sector debido a los desprendimientos que las ciegan y que impiden la progresión por el interior o la hacen muy arriesgada. En zonas mejor conservadas se ha podido reconocer que las galerías constituyen una maraña laberíntica buscando y siguiendo las bolsadas de mineral en todas direcciones (*figura 9*). Extrapolando los resultados obtenidos puede suponerse sin riesgo de exageración que bajo el suelo de Kargaly discurren varios cientos de kilómetros de galerías.

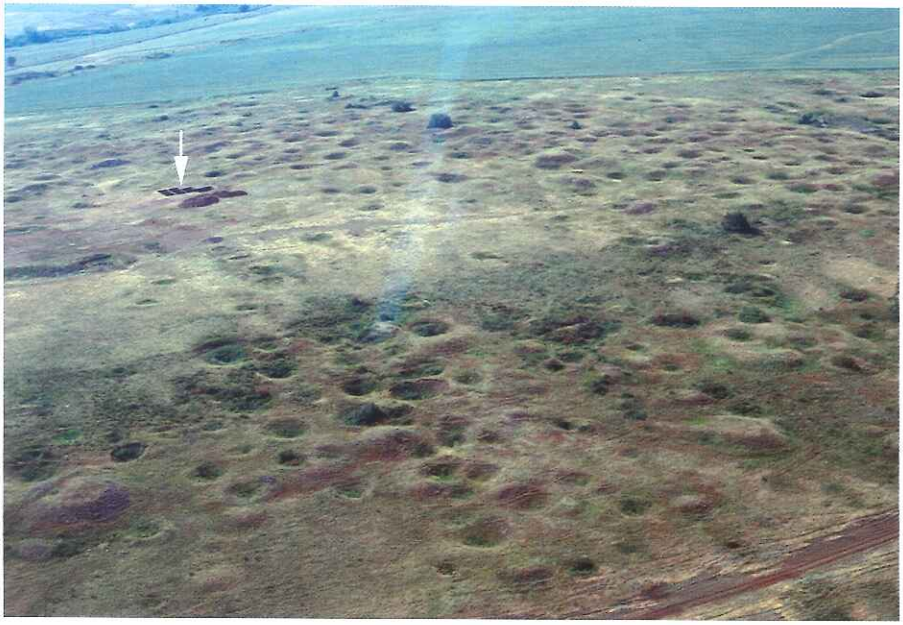


Figura 8. Vista aérea del distrito minero VII. La flecha indica la posición del poblado de la Edad del Bronce de Gorny, en proceso de excavación.

En unos casos los accesos a la mina son verdaderos pozos de sección aproximadamente circular, de dos o tres metros de profundidad, con apoyos tallados en la arenisca blanda (*figura 10*), cuya base se abre lateralmente a una estancia mayor de la que parten las galerías. En otros se accede a la mina por una pronunciada rampa.

Una vez en el interior las galerías se van ramificando y comunicando con otros pozos conectados con la superficie. Son frecuentes las gateras angostas a distintas alturas que terminan bruscamente tras el agotamiento del mineral. La gran proximidad de los pozos entre sí hace suponer que la prospección minera se hacía desde la superficie y no desde el interior. El procedimiento habitual parece haber sido el siguiente: se excavaba

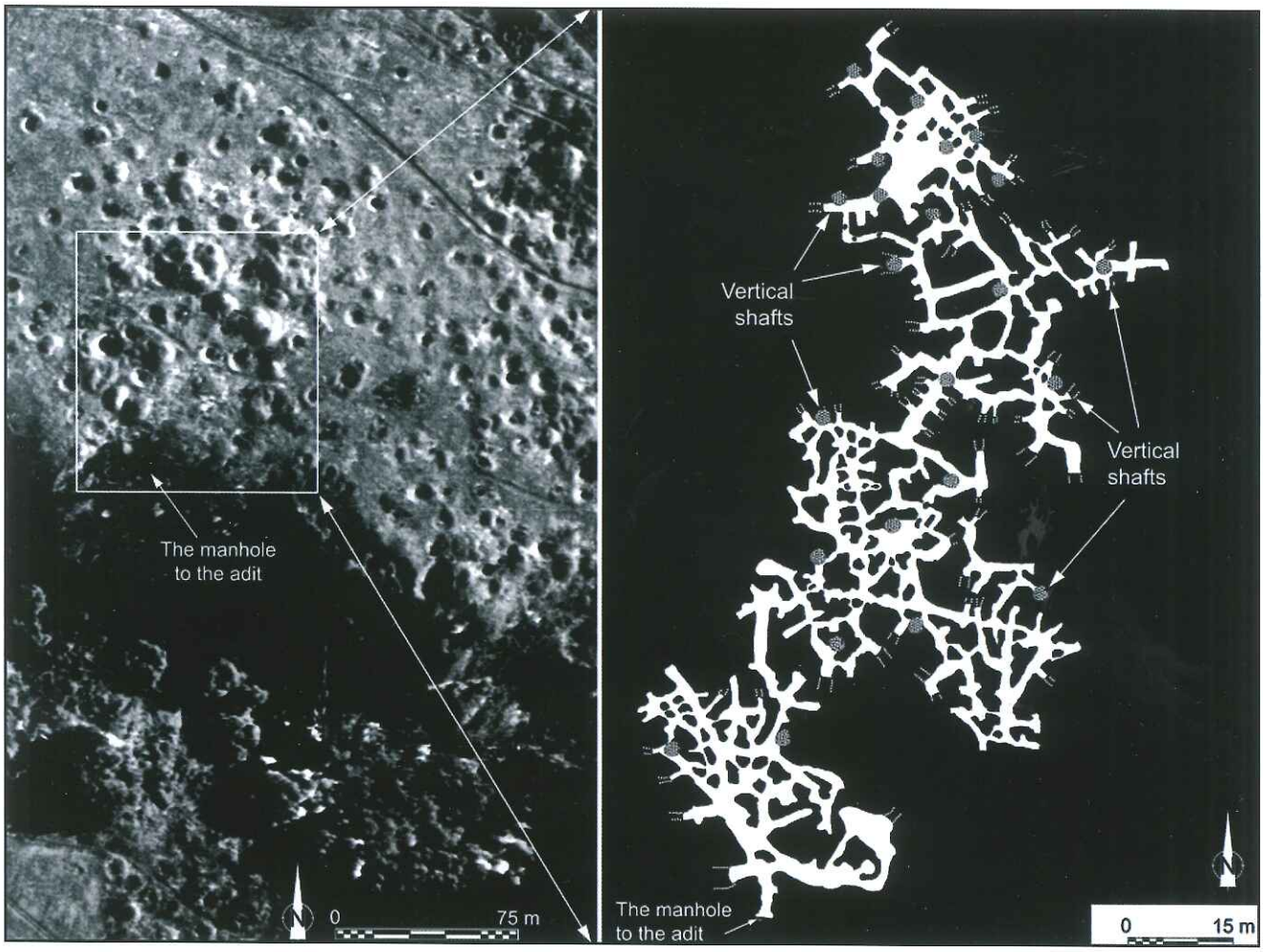


Figura 9. Vista aérea del terreno y planimetría de las galerías correspondientes a un sector de la misma (según Chernykh y Levedeva, 2002: 30).

un pozo en la capa rojiza de arenisca degradada hasta superar un estrato de arenisca gris, blanda, con algunos conglomerados calizos y ferruginosos, debajo del cual está el estrato de arenisca margosa que contiene las bolsadas de mineral de cobre. Si no veían signos de mineralización en la base del pozo continuaban unos pocos metros excavando una galería horizontal. Si tampoco localizaban mineral abandonaban el pozo, lo rellenaban con los sedimentos extraídos y abrían uno nuevo unas decenas de metros más allá. Y así hasta que daban con las bolsadas de mineral.

Tras ser localizadas éstas, las vaciaban hasta dejar la caja completamente descarnada. Solía suceder que durante estas operaciones llegaban a comunicarse con explotaciones vecinas, engrosando la maraña de galerías. La prospección por el interior seguía en cualquier dirección hasta unos metros más allá de las últimas bolsadas y, si resultaba infructuosa, abandonaban la zona y excavaban un nuevo pozo desde el exterior.
La *figura 11* ilustra esquemáticamente el procedimiento, que ha podido comprobarse en la última campaña arqueológica, al localizar y re-excavar en su totalidad un pozo cegado en el II milenio antes de Cristo tras resultar una tentativa frustrada. Por otro lado, la presencia de una depresión artificial del suelo junto al poblado minero de Gorny, colmatada en parte con sedimentos antiguos, hace suponer que también se pudo emplear para prospectar un método de trincheras o rampas a cielo abierto.

Todas estas ingentes actividades mineras fueron realizadas con un utillaje sorprendentemente sencillo: mazas de piedra (generalmente cuarcita), punteros de hueso extraídos astillando huesos largos de vacuno y palas confeccionadas con omóplatos de bóvidos (*figura 12*). Las excavaciones de Gorny han proporcionado miles de estas herramientas, teñidas con el característico color verde de las sales de cobre. Su eficacia ha sido probada experimentalmente, consiguiendo abrir en las areniscas rojas una cavidad de algo más de 1 m^2 de sección y aproximadamente 50 cm de profundidad, dos muchachos sin experiencia previa, en una jornada de siete horas, usando punteros de hueso y percutores de piedra.
Esta experiencia ha permitido comparar las huellas dejadas en las paredes de las minas por las herramientas usadas por los mineros prehistóricos y las obtenidas con el experimento, comprobando que son similares. En cambio, las huellas hechas con picos y punteros metálicos modernos (que también se ensayaron) son diferentes (Chernykh, 2004), lo cual posibilita distinguir las labores antiguas de las modernas, de las que hablaremos más adelante.

EL COBRE DE KARGALY

El poblado minero-metalúrgico de Gorny (*figura 13*), cuya vida se prolongó entre aproximadamente 1800 y 1400 AC, según las dataciones radiocarbónicas obtenidas, ha proporcionado gran número de fragmentos de mineral de cobre, escorias, nódulos de cobre bruto, moldes de arenisca para fabricar objetos y los objetos fabricados o sus fragmentos. El estudio científico de estos materiales arqueometalúrgicos, publicado detalladamente en Rovira (1999 y 2004) ha deparado, resumiendo, los siguientes resultados:

1. El cobre se obtenía por reducción directa con carbón local de los minerales (cuprita y azurita principalmente), en estructuras de fuego muy abiertas, sin verdaderos hornos.
2. Las escorias, de tipo piroxénico, contienen todavía mucho mineral de cobre sin reducir, habitualmente en forma de cuprita y delafosita, y numerosas bolitas de cobre metálico atrapadas (*figura 14*).
3. El cobre bruto contiene gran cantidad de sulfuro (calcosina) segregado (*figura 15*). La formación de sulfuro se debe no a la composición de las menas de cobre (óxidos y carbonatos) sino a la presencia de barita como cementante de la arenisca que constituye la ganga. Por lo demás, apenas se detectan trazas de otros elementos tales como plata, antimonio y, en ocasiones, plomo. Resulta, por tanto, un cobre muy puro cuando se refina en el crisol.
   Las características del cobre de Kargaly que permiten seguir su rastro a lo largo y ancho de la estepa, en cientos e incluso miles de kilómetros en torno a las minas, son precisamente su pureza y la constante presencia de calcosina en mayor o menor grado.
4. La replicación experimental "in situ" del proceso completo de obtención de cobre según el supuesto método usado por los metalúrgicos prehistóricos (*figura 16*) ha permitido explicar la naturaleza de los hallazgos y elaborar un modelo tecnológico con el que aproximarnos a variables de gran importancia como son la estimación de la producción y el volumen de carbón necesario para llevarla a cabo.
   Esto último es de capital importancia por su potencial influencia en la transformación del paisaje arbóreo, cuya valoración es uno de los objetivos del proyecto.



Figura 10. Pozo de acceso a una mina.

HISTORIA DE LAS MINAS DE KARGALY

La importancia estratégica de las mineralizaciones de Kargaly (a las que habría que sumar otras de menor entidad situadas en un radio de unos 100 km en torno a Kargaly, dentro de la misma formación geológica), radica en que son la única fuente de cobre fácilmente accesible en los miles de kilómetros cuadrados habitados por las culturas de la estepa. No sorprende, pues, que con el tiempo se convirtieran en el gran

centro productor y distribuidor de cobre durante la Prehistoria de esa inmensa región.

Los restos arqueológicos más antiguos asociados a la actividad minera y metalúrgica de la zona indican que en la segunda mitad del III milenio AC los pueblos de la cultura Yamno-Poltavkinski de la Edad del Bronce Antiguo/Medio ya explotaban el cobre de Kargaly. Una sepultura tumular de Pershin, el característico kurgan de la estepa, destrozada en parte por una pala mecánica mientras abría un camino, que guardaba los restos mortales de un muchacho que fue enterrado acompañado de un ajuar entre cuyos objetos había un hacha de cobre y un molde para producir martillos o picos de minero, aporta argumentos irrefutables. El análisis de la composición del hacha y su estudio metalográfico confirman que se trata de cobre local (*figura 17*).

El periodo de esplendor de las minas de Kargaly fue durante la Edad del Bronce Final, desde el 2100 al 1100 AC aproximadamente. Fue durante esos mil años de explotación cuando se excavaron la mayor parte de los miles de pozos y galerías para extraer, según las estimaciones de Chernykh (1998: 72), unas 100.000 Tm de cobre, que se sumarían a las 50.000 Tm extraídas en el Bronce Antiguo y Medio. Pero a comienzos del I milenio AC, misteriosamente, las minas fueron abandonadas, la región deshabitada y se perdió la memoria de su existencia hasta el siglo XVIII.

Se ha pensado que la razón de ese súbito abandono de la explotación minera pudo estar relacionada con la enorme deforestación ocasionada por la metalurgia del cobre (Chernykh, 1994), que habría requerido la tala de árboles equivalente a unos 75.000.000 de Tn para convertirlas en carbón, sin contar con otros requerimientos calóricos necesarios para que la población minera pudiera soportar las duras condiciones climáticas del largo invierno en la estepa. Al análisis de esta hipótesis catastrofista se ha dedicado la mayor parte del esfuerzo investigador del Proyecto Kargaly mediante el estudio de la evolución

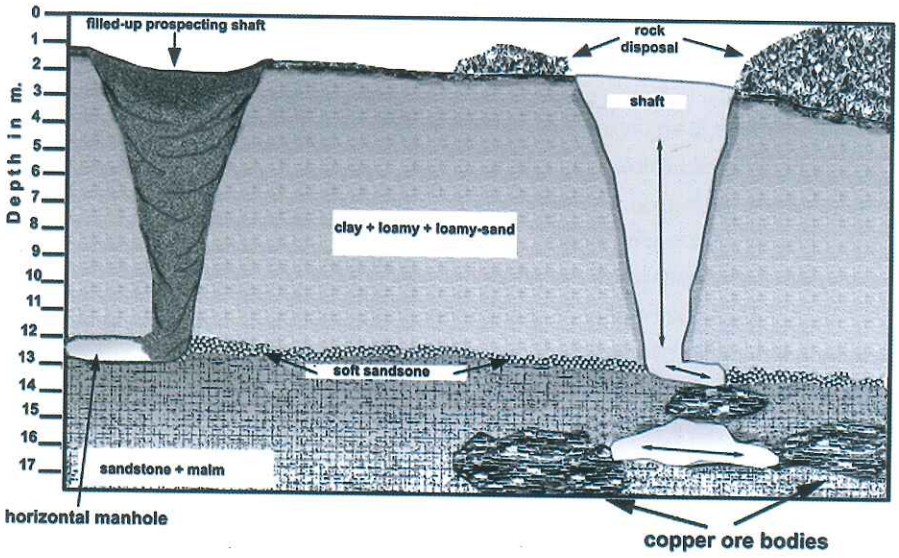


Figura 11. Sistema de prospección y laboreo mediante pozos (según Chernykh, 2004: 256).

del paisaje desde la Prehistoria hasta la actualidad y los resultados, todavía parciales, no parecen confirmarla. Aunque es cierto que durante la fase Srubnaya del Bronce Final (la de mayor volumen de producción de cobre) se observa una disminución de la población arbórea de especies con alto valor energético (abedules, robles y álamos), el paleopaisaje hace unos 3.000 años no parece que fuera radicalmente distinto del actual, en términos generales (Vicent et al., 2000; Díaz del Río et al., 2005). Pero en tales condiciones, la masa forestal requerida para satisfacer las necesidades de carbón, teniendo en cuenta la capacidad natural de regeneración de los bosques-galería, ocuparía casi el triple de la superficie del coto minero, dando lugar a un alejamiento

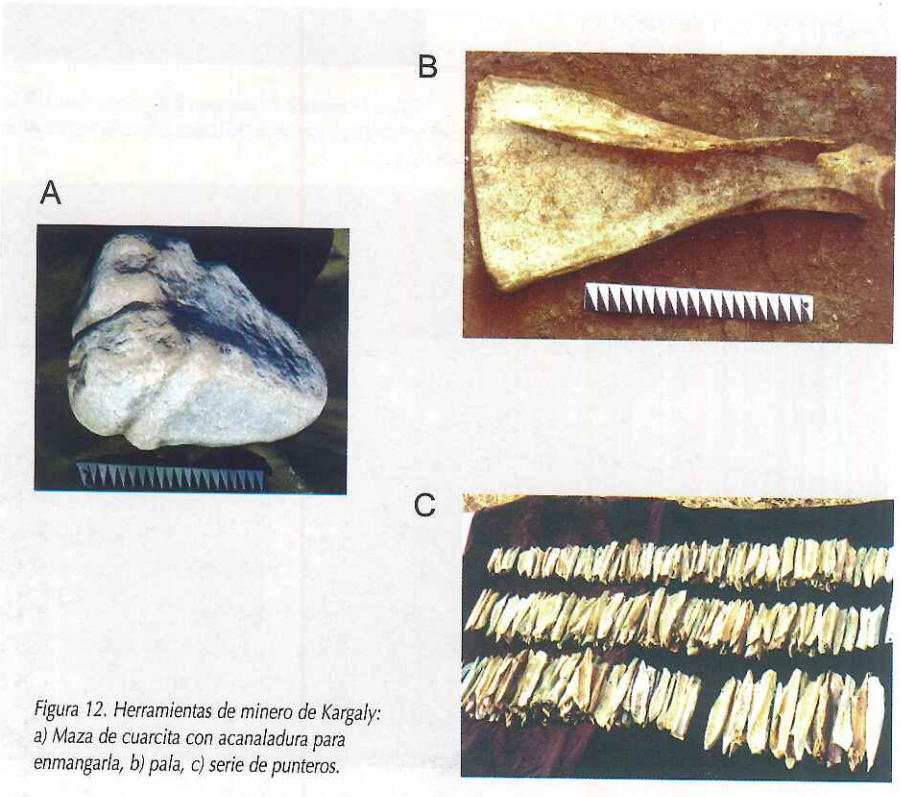


Figura 12. Herramientas de minero de Kargaly: a) Maza de cuarcita con acanaladura para enmangarla, b) pala, c) serie de punteros.

de los recursos arbóreos difícilmente asumible para la población prehistórica.

Afortunadamente la arqueología de campo está proporcionando datos para alumbrar explicaciones alternativas sin renunciar a las cifras de producción de cobre manejadas anteriormente. No son pocos los yacimientos arqueológicos de la estepa en los que se están encontrando evidencias de la reducción en el sitio de minerales de Kargaly. Dicho en otras palabras, Kargaly sería el gran centro minero y el mineral extraído sería en parte procesado a pie de mina (la metalurgia de Gorny es una evidencia incuestionable) y en parte circularía como tal por las rutas comerciales de la estepa. En todo caso, una catástrofe ecológica no parece que fuera la causa del abandono de las minas de Kargaly a finales de la Edad del Bronce. El misterio continúa sin ser desvelado.

La última etapa de actividad minera tuvo lugar a partir del siglo XVIII. Fue entonces, hacia 1745, en plena época de incorporación de Rusia a los procesos de industrialización de la Europa occidental, cuando Iván Tverdishev, señor de vidas y haciendas, "redescubrió" las minas de Kargaly y las puso de nuevo en explotación. Según consta en la documentación del momento, los mineros se limitaron en gran medida a proseguir



Figura 13. Excavaciones arqueológicas en Gorny. Campaña de 1994.



Figura 14. Sección de una escoria de Gorny vista al microscopio (campo oscuro). Flores de cuprita dendrítica (rojo anaranjado), agujas de delafosita, piroxeno (negro) y vidrio silicatado (amarillo).

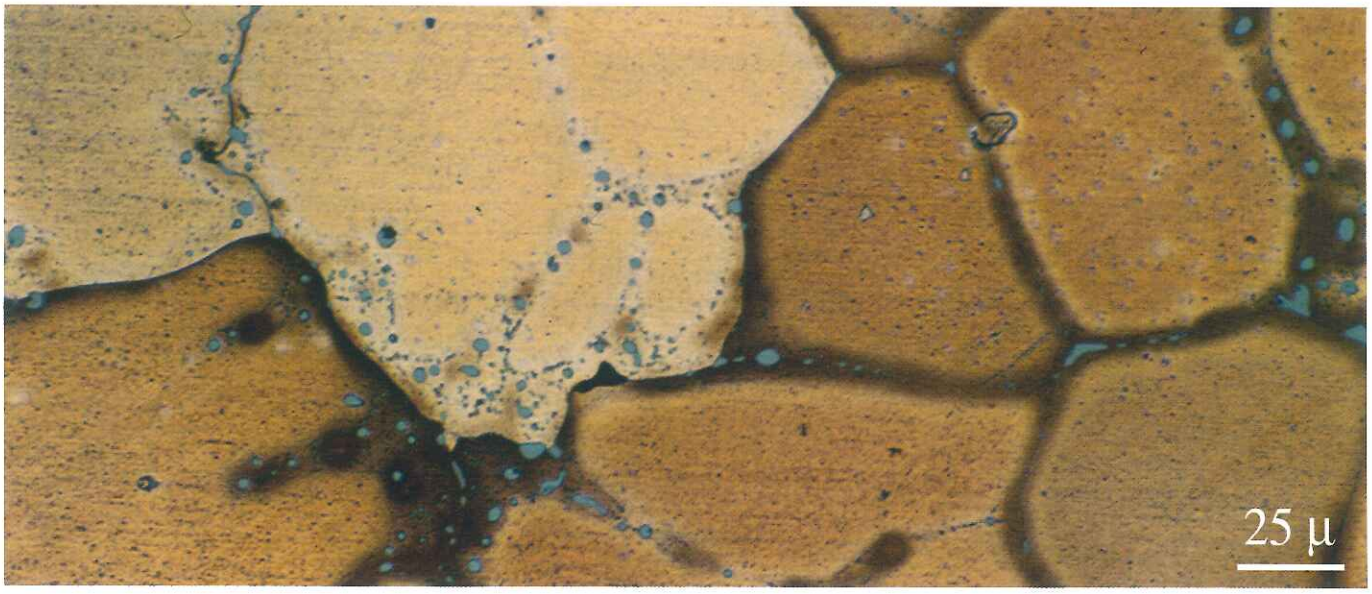


Figura 15. Sección metalográfica de un nódulo de cobre bruto de Kargaly. La calcosina (color gris azulado) se aloja preferentemente en los bordes de grano.



Figura 16. Grupo de estudiantes rusos del campamento de verano colaborando en la realización de una fundición experimental de minerales de Kargaly en una pequeña cubeta excavada en el suelo. Campaña de 1998.

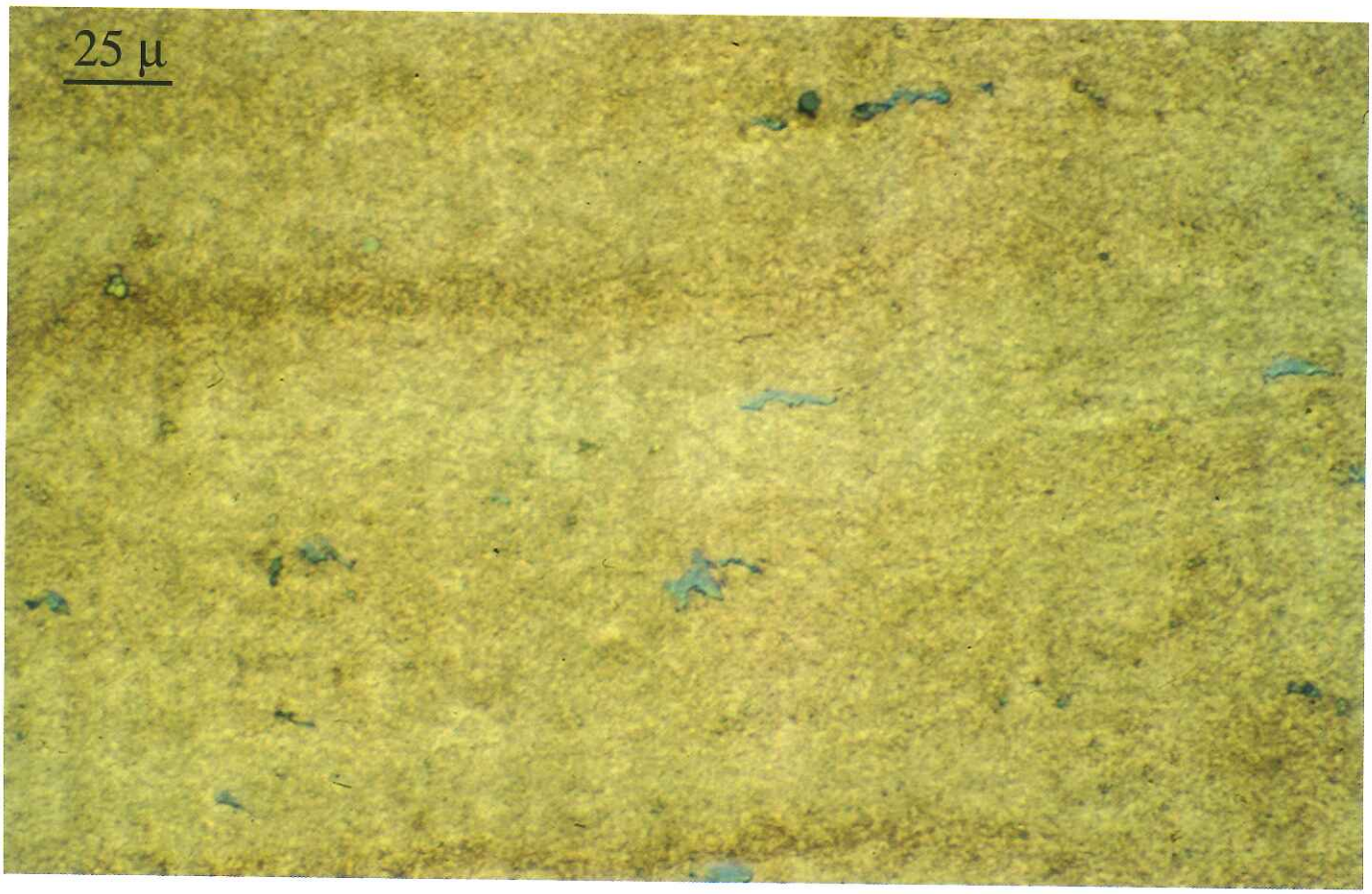


Figura 17. Sección metalográfica del hacha de la tumba de Pershin. Nótese la presencia de inclusiones de calcosina (color azul verdoso).

las labores en los pozos y galerías ya abiertos por sus predecesores, acomodándolos a los nuevos tiempos, de lo que se deduce que las grandes obras mineras existentes fueron realizadas en su mayor parte durante la Edad del Bronce. Pero los escasos bosques-galería que habían podido proporcionar combustible a las fundiciones prehistóricas ya no eran suficientes para alimentar los hornos industriales por lo que, desde un primer momento, las fundiciones se instalaron en los bosques de Bashkiria, a unos 300 km al norte de Kargaly (*figuras 3 y 18*). Continuas caravanas de carros o de trineos, según la época del año, transportaban el mineral hasta las fundiciones.

En 1900 se dieron por exhaustas las minas de Kargaly, después de extraer 115.000 Tn más de cobre, según las cuentas oficiales, en esta última etapa de actividad.



Figura 18. Ruinas de un lavadero de mineral y de edificios industriales en Voskresesnskoye (Bashkiria). El muro de la represa está construido con miles de toneladas de escorias de cobre.

REFLEXIONES FINALES

Kargaly, como Timna en Israel y Feinan en Jordania, es un documento de incalculable valor para documentar una larga historia de la minería y la metalurgia del cobre.

Su situación en una área poco poblada incluso en los tiempos actuales ha propiciado un estado de conservación afectado solamente por los fenómenos naturales y el paso del tiempo.
Su potencial como objeto de la investigación ha sido puesto de manifiesto con el Proyecto Kargaly. Pero quedan más incógnitas por resolver que resueltas.
En cualquier caso, nuestros trabajos habrán servido (así lo esperamos modestamente), a través de casi un centenar de publicaciones científicas en distintas lenguas, al menos para recuperar una parte de la memoria histórica de una región hoy deprimida pero que jugó un papel fundamental en el desarrollo de las culturas metalúrgicas prehistóricas, desde las llanuras de la Rusia meridional hasta el corazón de Asia. □

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHERNYKH, E.N. (1994). L'ancienne production minière et métallurgique et les catastrophes écologiques anthropogènes: introduction au problème. Trabajos de Prehistoria, 51(2), 55-68.
- CHERNYKH, E.N. (1998). Kargaly, le plus grand ancien complexe minier et de métallurgie à la frontière de l'Europe et de l'Asie. En M.Ch. Frère-Sautot (ed.), Paléométallurgie des cuivres. Éditions Monique Megoil. Montagnac, 71-76.
- CHERNYKH, E.N. (2004). Technology of geological prospecting and mining in Kargaly. En E.N. Chernykh (ed.), Kargaly. III. Languages of Slavonic culture. Moscow, 249-264 (original en ruso).
- CHERNYKH, E.N. y LEVEDEVA, E.Yu. (2002). The mining types and main groups of mine working. En E.N. Chernykh (ed.), Kargaly. I. Languages of Slavonic culture. Moscow, 25-38 (original en ruso).
- DÍAZ DEL RÌO, P., LÓPEZ, J.A., LÓPEZ, P., MARTÍNEZ NAVARRETE, M.I., RODRÍGUEZ, A.L., ROVIRA, S., VICENT, J.M. y ZAVALA, I. de (2005). Understanding the productive economy during the Bronze Age through archaeometallurgical and palaeoenvironmental research at Kargaly (Southern Urals, Orenburg, Russia). En D. Peterson, L. Popova y A.T. Smith (eds.), Beyond the Steppe and the Sown: Proceedings of the First University of Chicago Conference on Eurasian Archaeology. Colloquia Pontica 13. Brill, Leiden, 347-361.
- ROVIRA, S. (1999). Una propuesta metodológica para el estudio de la metalurgia prehistórica: el caso de Gorny en la región de Kargaly (Orenburg, Rusia). Trabajos de Prehistoria, 56(2), 85-113.
- ROVIRA, S. (2004). Technology of copper metallurgy. En E.N. Chernykh (ed.), Kargaly. III. Languages of Slavonic culture. Moscow, 106-133 (original en ruso).
- VICENT, J.M., RODRÍGUEZ ALCALDE, A.L., LÓPEZ SÁEZ, J.A., de ZAVALA, I., LÓPEZ GARCÍA, P. y MARTÍNEZ NAVARRETE, M.I. (2000). ¿Catástrofes ecológicas en la estepa? Arqueología del paisaje en el complejo minero-metalúrgico de Kargaly (región de Orenburg, Rusia). Trabajos de Prehistoria, 57(1), 29-74.

Geomorfología submarina, ejemplos del margen continental español

En memoria del Profesor D. Odón de Buen. Fundador del Instituto Español de Oceanografía (1863-1945)

Juan Acosta Yepes
Licenciado en CC. Geológicas. Instituto Español de Oceanografía

ALGO DE HISTORIA

España ha sido pionera en el estudio de los fondos marinos y su cartografía desde antes del descubrimiento de América. Las escuelas del mallorquín Cresques, autor del Atlas Catalán fechado en 1375, y la posterior escuela de cosmografía de la Casa de Contratación (1503-1717) fueron de capital importancia para los intereses españoles de ultramar. El estudio de las profundidades oceánicas comienza para la ciencia moderna con los grandes viajes de investigación del s. XVIII. Son muy conocidas las tres expediciones del capitán Cook (1768-1780) y menos conocidas, pero igualmente valiosas para la hidrografía y la ciencia oceanográfica, las expediciones españolas como la de Alejandro Malaspina (1790-1794), que a bordo de dos corbetas realizó un trabajo ingente alrededor del mundo (*figura 1*). Razones extra-científicas hicieron que tanto la expedición en sí como sus resultados científicos fueran ampliamente desconocidos en España. No obstante, este crédito le ha sido reconocido al ilustre navegante por varios profesores y universidades norteamericanas recientemente (New York Times, 1 junio 2004).



Figura 1. "La Atrevida entre los hielos". Expedición Malaspina (1790-1794).

La evolución histórica de los estudios del suelo y subsuelo marinos y sus resultados iniciaron una nueva era cuando, en 1827 Collandon y Sturm realizaron sus experimentos para calcular la velocidad del sonido en el agua en el lago Leman (*figura 2*). Desde entonces la evolución de la acústica submarina y, como consecuencia, de los métodos de ecosondas y sísmicos por reflexión, ha sido espectacular.

Estos avances han sido consecuencia y van parejos a la evolución tecnológica, impulsada por dos motores básicos: El económico, centrado en la búsqueda

de yacimientos submarinos minerales y de petróleo (sísmica continua por reflexión), y la defensa nacional motivada por las guerras mundiales que ayudó al desarrollo de ecosondas, sonar y el radar.

En los años 50 del s. XX, la industria petrolera comienza las prospecciones de las áreas potenciales de hidrocarburos en aguas oceánicas ("off-shore"), inventándose el primer ecosonda marino y sistema "sparker" (Lamont y Woods Hole Oceanographic Institutions).

A partir de este momento se inicia el reconocimiento y estudio del suelo y subsuelo marino con técnicas indirectas.

EL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA Y LA INVESTIGACIÓN EN GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA MARINA EN ESPAÑA

El Instituto Español de Oceanografía (IEO), fundado en 1914 por el Profesor D. Odón de Buen, es un Organismo autónomo con personalidad jurídica y patrimonio propios, que depende orgánicamente del Ministerio de Educación y Ciencia y está clasificado como un Organismo Público de Investigación (http://www.ieo.es).

"...Tenía además la esperanza de centralizar allí (Laboratorio de Málaga) el registro internacional de sondas por ultrasonido, para poner al día las cartas de navegar y la batimétrica de los océanos; son a miles las gráficas que hoy obtienen los numerosos buques que disponen de aparatos modernos y seguramente el Gobierno aceptaría situar en España, a su costa, la oficina de un registro de tal importancia prestando a la navegación internacional tan gran servicio..."
Odón de Buen, *Mis memorias*

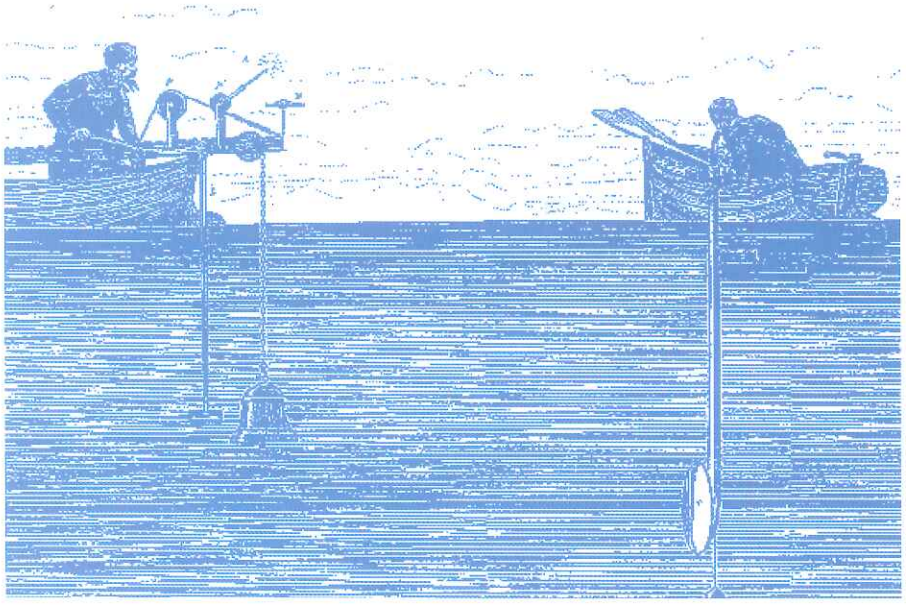


Figura 2. Medida de la velocidad del sonido en el lago Leman.

Desde su fundación, ya nuestro primer director resaltaba el interés de los estudios geológicos y geofísicos para el conocimiento del suelo y subsuelo marinos.

En los años 60-70 se crea en el IEO un grupo de geología marina, que inicia en España la investigación académica en este campo, utilizando los primeros equipos geofísicos provenientes del convenio de cooperación Hispano-Americano (sistema de sísmica Sparker, sonar de barrido lateral, sondador de fangos y magnetómetro marino de protones). La entrada en funcionamiento en los años 70 del B/O Cornide de Saavedra (*figura 3*), permite las primeras campañas de geología marina.

Las primeras campañas geofísicas se realizaron en el Mar Balear en 1976 (Campañas Pityusas), siendo los primeros trabajos de morfología submarina los realizados para la elaboración de "Cartas de Pesca" en el archipiélago Canario (Herranz et al. 1983 a; 1992 a, b, c, d).

EL PLAN DE INVESTIGACIÓN HIDROGRÁFICA Y OCEANOGRÁFICA DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA (ZEE)

El reconocimiento internacional de la extensión de soberanía y derechos de exploración y explotación de los recursos vivos y no vivos de las grandes zonas adyacentes a los países costeros según la Convención sobre el derecho del Mar de Naciones Unidas (Montego Bay, 1982) ha propiciado el estudio sistemático de las grandes zonas económicas exclusivas (ZEE´s) de los países con costa para conocer, explotar y proteger estas áreas.

España, signataria de la Convención, establece en 1993, por acuerdo de Consejo de Ministros de fecha 23-04-1993, un programa de investigación sistemática de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEE) como forma de sustanciar los derechos soberanos del Estado Español sobre la exploración

y explotación de sus recursos. Se trataba, fundamentalmente, de hacer un cartografiado exhaustivo y completo del fondo marino que permitiera un conocimiento detallado de la topografía submarina en el ámbito de la ZEE.

El plan de Investigación Hidrográfica y Oceanográfica de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEE), se inicia en 1995 con la primera campaña a bordo del B/O Hespérides. El Plan fué encomendado en cuanto a su dirección y gestión al Instituto Hidrográfico de la Marina y al Instituto Español de Oceanografía y tenía como objetivo general[1] el reconocimiento y cartografía de los márgenes españoles hasta el límite de 200 millas nauticas (2.370 Km) desde las líneas de costa (líneas de base rectas), que constituye nuestra ZEE.
Sus objetivos concretos eran "el estudio y cartografía de la batimetría, geomorfología, gravimetría, magnetometría y conocimiento de las calidades de sedimentos superficiales y sub-superficiales de las zonas investigadas así como el realizar el tratamiento informático necesario para la integración de los resultados en bancos de datos interactivos y poner a disposición de la comunidad científica, industrial, y a toda la sociedad dicha información, con la salvedad de aquella que pudiera ser clasificada por motivos de seguridad nacional".



Figura 3. B/O Cornide de Saavedra. 66,7 metros de eslora y 11,3 de manga. Botado en 1972.



Figura 4. B/O Hespérides. Eslora: 82,5 metros. Manga:14,3 m. Botado en 1990.

Es dentro de este Plan ZEE, donde mediante la utilización de las nuevas tecnologías instaladas en el B/O Hespérides (*figura 4*) se realiza, entre otras investigaciones el reconocimiento batimétrico y geomorfológico de nuestros márgenes.

Zonas estudiadas

La elección de las zonas de trabajo corresponde al comité director del Plan ZEE constituido por directivos del Mº de Defensa, (Instituto Hidrográfico de la Marina) y Mº de Educación y Ciencia (Instituto Español de Oceanografía).

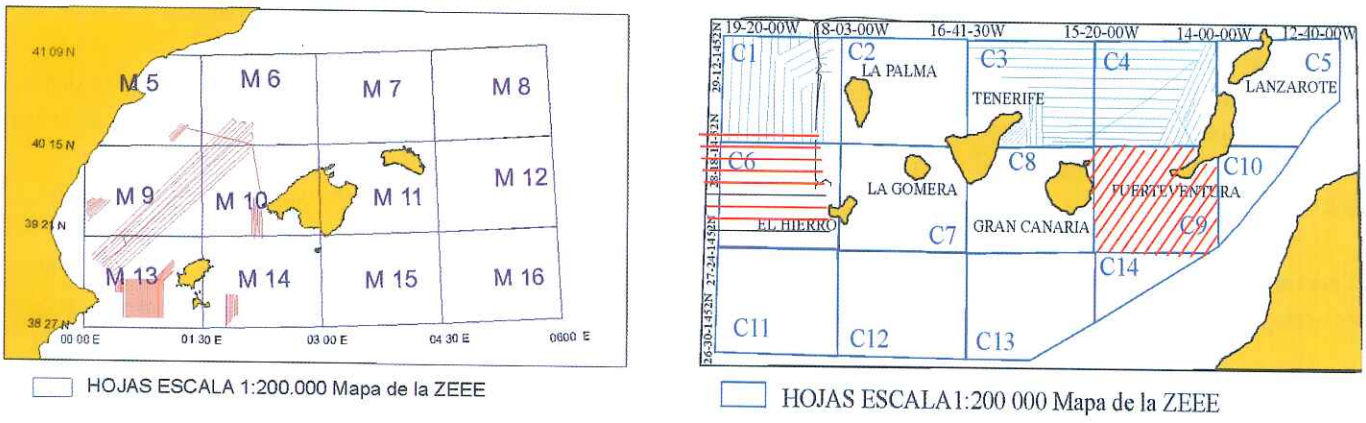


Figura 5. Plan cartográfico de los archipiélagos españoles estudiados. Las cuadrículas corresponden a los mapas temáticos a editar a escala 1: 200.000.

Dentro de cada zona a estudiar se planifican anualmente las campañas oceanográficas teniendo como criterio prioritario la cobertura al 100% del fondo marino con los ecosondas multihaz y estableciendo los itinerarios idóneos a seguir por el B/O Hespérides en función de su batimetría y disposición morfológica.

La zona inicial del programa fue el Mar Balear y Golfo de Valencia, trabajando en los años 1995,1996 y 1997, y habiéndose realizado las hojas M-9, M-10, M-11, M-13, M-14 y M-15 (*figura 5 izquierda*).

- El conocimiento preciso de la posición del buque de investigación (GPS-D)
- La calidad y cantidad de información sobre el fondo marino; su profundidad y reflectividad (Ecosondas Multihaz)

Posicionamiento

En la investigación geológico/geofísica en la mar, la navegación y posicionamiento del buque son cuestiones decisivas en la validez de los datos registrados. El conocimiento continuo y preciso de la posición del buque es en el caso de la Geología y la Geofísica marinas un elemento crítico para determinar los itinerarios seguidos y a seguir, así como los puntos de muestreo. El disponer de mapas de itinerarios georreferenciados lo mejor posible es un requisito previo del que depende la exactitud de los datos registrados y la calidad final de los resultados.

Un avance significativo en este tema ha sido la entrada en funcionamiento de la segunda generación de sistemas de navegación por satélite, NAVSTAR en los Estados Unidos y GLONASS en la extinta URSS que se desarrolló a partir de los años 70. El sistema se basa en la medición de distancias a cargo de una constelación de 24 satélites en el caso del NAVSTAR cuya plena entrada en operación se produjo en 1995. Inicialmente, el Departamento de Defensa de Estados Unidos asignó dos niveles de precisión, según se tratase de usos civiles o militares. En Europa existe el Proyecto Galileo, auspiciado por la UE, para el cual está previsto lanzar una flotilla de satélites propia. Este proyecto aspira a sustituir en Europa y en otras regiones del mundo al sistema GPS de base de Estados Unidos, que es el más ampliamente utilizado en nuestros días.

En la actualidad, y desde la aparición del sistema GPS en modo diferencial (GPS-D), la corrección de errores a partir de estaciones de referencia en tierra o por satélite, permite obtener precisiones centimétricas en X,Y,Z del buque, por ejemplo con el sistema GPS-RTK (Global Positioning System-Real Time Kinematics). La integración de esto a sistemas ayudados con navegación inercial ha resuelto el problema de la georreferenciación para los datos geológico/geofísicos.

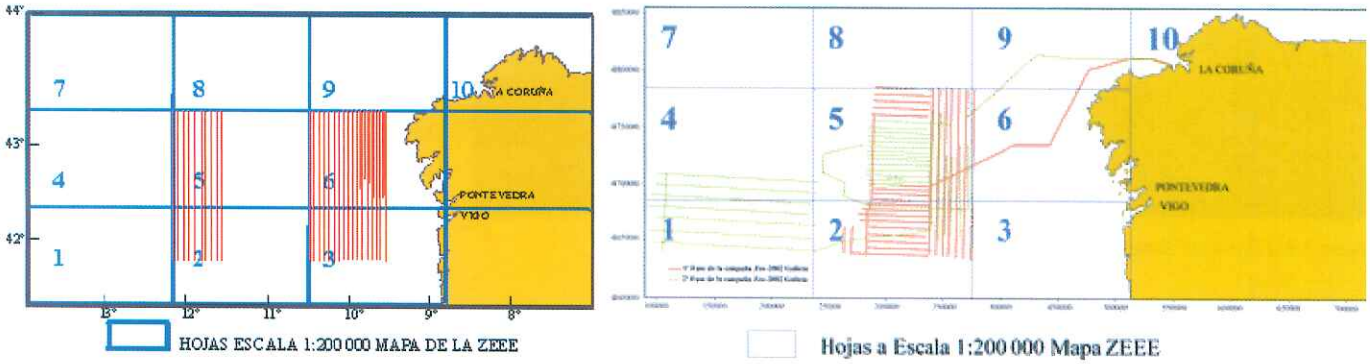


Figura 6. Trabajos realizados en la ZEE gallega en 2001(izquierda) y 2002 (derecha)

En 1998, y por petición del Gobierno Canario El Plan de la ZEE se trasladó a ese archipiélago trabajando durante los años 1998,1999 y 2000, realizando las Hojas C-1, C-2, C-3, C-4, C-6, C-7, C-8 y C-9 (*figura 5 derecha*). Para la terminación de la hoja C-5 se contó con el B/O Vizconde de Eza de la Secretaría General de Pesca Marítima (SGPM) mediante la realización de dos campañas geológicas en 2001.

En 2001 y 2002 se realizan los primeros trabajos en la fachada atlántica gallega (*figura 6*), única zona de España susceptible de una solicitud de ampliación de ZEE hasta las 350 millas náuticas (artículo 76 Convención de ONU sobre derecho del mar).

¿Como se investiga la morfología submarina? Metodologías utilizadas

En la actualidad, el estudio de la morfología de los fondos marinos está condicionado por dos aspectos fundamentales:

Ecosondas

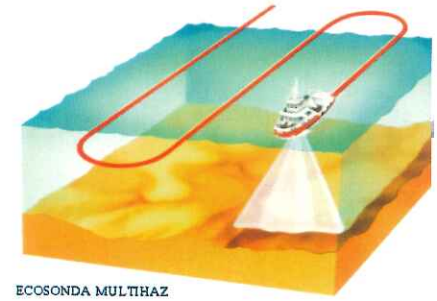
La verdadera "revolución" en la observación batimétrica y morfológica de los fondos marinos viene de la mano de las nuevas sondas multihaz, operativas desde los años 80. Estas ecosondas forman parte de una nueva generación de instrumentos de investigación oceánica, que no sólo obtienen datos batimétricos de muy alta resolución, sino que también son capaces de registrar simultáneamente valores de reflectividad acústica del fondo oceánico.

Realmente, los modelos digitales del fondo marino y sus diferentes tipos de visualización (esquemas 3D, etc) proporcionan al investigador una representación del fondo marino con una precisión y realismo desconocidos hasta ahora. Esta realidad ha hecho escribir a prestigiosos investigadores *"El desarrollo de la cartografía multihaz ha sido uno de los avances tecnológicos más importantes de los últimos 15 años para los geólogos marinos,... Un avance similar a la*

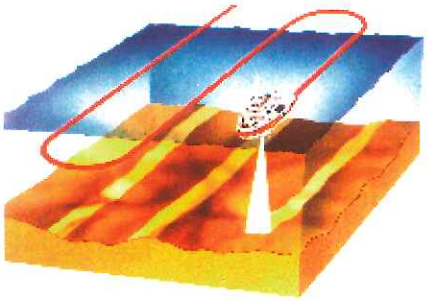
fotogrametría o las imágenes de satélite en tierra..." (R.A. Pickrill).

Las ecosondas multihaz basan su funcionamiento en la emisión de un número variable de haces de sonido dispuestos en un plano perpendicular a la derrota del buque, que al alcanzar el fondo del mar son devueltos hacia la superficie y cuyo retorno es recibido por los transductores del barco, determinándose de este modo, mediante la aplicación de las oportunas correcciones, la profundidad a la que se encuentra el fondo en el área que se va cubriendo según las derrotas del barco (*figura 7*).

Dado que la cobertura de fondo es función de la profundidad del mismo, una correcta planificación de los itinerarios a seguir por el buque oceanográfico permite la "insonificación" completa del fondo marino investigado. Esto se traduce en que tendremos información exacta de cualquier elemento morfológico existente sin necesidad, tal como exigen los ecosondas monohaz clásicos, de "interpolar" información entre las líneas en que se tienen datos reales y que corresponden solamente a la vertical del buque. La posible existencia entre esas "líneas con información" de rocas o peligros para la navegación ha sido en ocasiones nefasta para la seguridad en la navegación.



ECOSONDA MULTIHAZ



Su cobertura, es decir, el área del fondo marino insonificada en dirección perpendicular al rumbo, oscila entre 3 y 7,5 veces la profundidad de agua bajo la quilla, en función de los diferentes modelos de sondas y rango de profundidades.(2)

LOS BUQUES OCEANOGRÁFICOS

El laboratorio sobre el que los geólogos marinos investigan son los Buques de investigación Oceanográfica. Tal como se ha comentado anteriormente, los requerimientos de tecnología necesarios para realizar una investigación puntera en hidrografía y geomorfología marina son requisito imprescindible para efectuar trabajos que puedan ser considerados dentro del "estado del arte" en esta especialidad. Los dos buques españoles equipados con estas tecnologías y que han participado en el programa ZEE han sido el B/O Hespérides, botado en 1992 y asignado al Plan ZEE un mes al año, y el B/O Vizconde de Eza, perteneciente a la SGPM y que ha realizado dos campañas de investigación en aguas Canarias.

B/O Hespérides

El B/O Hespérides fué botado en 1990 y entró en operación en 1992 con las primeras campañas antárticas (http://www.utm.csic.es/Hesperides/). Constituye el buque de investigación español mejor dotado técnicamente para trabajos en geología y geofísica marinas. Con su entrada en funcionamiento la comunidad científica española contó con una instalación de primer nivel, equipado con tecnologías de última generación equiparables a los mejores buques oceanográficos internacionales. Su entrada en funcionamiento científico supuso un salto cualitativo y cuantitativo en la producción científica de calidad, hecho puesto de manifiesto en estudios bibliográficos.

Las tecnologías disponibles de aplicación en geología marina son:

- Navegación mediante GPS con correcciones diferenciales.
- Ecosondas Multihaz Simrad EM-12S y EM-1000 (de 50 a 11.000 m de profundidad).
- Ecosonda Hidrográfica Simrad EA-500.
- Sonda sísmica de alta resolucion de efecto paramétrico (TOPAS 18).
- Gravímetro marino Bell Aerospace-Textron BGM-3.
- Gravimetro terrestre La Coste &Romberg.
- Magnetómetro marino de protones Geometrics G-801.

Figura 7. Esquema de funcionamiento de los Ecosondas multihaz frente a los Ecosondas monohaz clásicos, con indicación de la zona cubierta sobre el fondo por ambos tipos de ecosondas. Apreciamos la diferente cobertura de los ecosondas Mono y Multihaz viéndose como se "ilumina" con sonido todo el fondo marino, mientras que en los monohaz se dejan zonas sin cubrir entre las líneas de derrota del buque. Además, dada la característica asociada a las sondas multihaz de una muy alta cadencia de disparo de sus 81 haces se pueden llegar a conseguir densidades de sondas válidas de varios centenares de puntos de sondas por metro cuadrado.

En nuestras largas estancias y detenidos estudios por aquellos lugares, durante varios años, no podíamos alcanzar resultados visibles; se necesita en el barco una instalación muy completa de sondeo por ultrasonido y en tierra sismógrafos bien situados..." Odón de Buen, *Mis memorias*

- Perfilador de corrientes ADCP.
- Sensores continuos de velocidad de sonido y temperatura-salinidad.
- Dragas y sacatestigos de sedimentos.

En cuanto a los estudios batimétricos y morfológicos incorpora sondas multihaz que cubren el rango completo de profundidades marinas (*figura 8*).

B/O Vizconde de Eza

El B/O Vizconde de Eza, perteneciente a la Secretaria General de Pesca Marítima (MAPA), fue botado en Marzo de 2000, siendo su primera campaña científica en abril de 2001, realizándose las pruebas de los equipos geofísicos así como el reconocimiento con sonda multihaz y sísmica de alta resolución de una gran zona del estrecho de Gibraltar (http://www.mapya.es /es/pesca/pags/vizconde_web/index.htm). Sus características técnicas son:

- Eslora total..... 53 m
- Manga..... 13 m
- Velocidad..... 13 nudos

Es el único B/O español que incorpora un sistema de posicionamiento dinámico Simrad SDP 01 que, integrado con propulsores laterales, permite al buque mantenerse en posición estática con alta precisión.

Su equipamiento científico está compuesto por:

- Dos sistemas GPS-D (Seastar, Fugro).
- Sistema de control de movimientos Seapath 200.
- Ecosonda multihaz Kongsberg-Simrad, modelo EM 300.
- Sísmica paramétrica topas PS018.
- Sensor de velocidad superficial de sonido.
- Ecosonda hidrográfica EA 500.
- Ecosonda científica EK 600.
- Sensor de medida directa de velocidad de sonido Applied Microsystems SV-plus.

La ecosonda EM-300 presenta una alta resolución y con 135 haces por banda y apertura de cada haz de 1° x 2°, con frecuencia de transmisión de 30 kHz permite un alcance de hasta 5.000 m. La compensación electrónica en tiempo real de balanceo, cabeceo y altura de ola así como el sistema de navegación integrado con sensores de movimiento y navegación inercial hacen de este B/O el mejor equipado en España en la actualidad para trabajos batimétricos-morfológicos en el rango de profundidad hasta 5000 metros teniendo una resolución del 0,3% de la profundidad de agua o 15 cm a lo largo del barrido. (*figura 9*).

El procesado de los datos

Tras ser adquiridos los datos digitales obtenidos a bordo, se editan y procesan mediante los programas de edición de batimetría y navegación con el fin de eliminar datos erróneos o que no cumplen los requisitos de precisión y fiabilidad previstos, se realiza una malla regular o "gridding" de los mismos y se generan a partir de éstos los mapas de curvas batimétricas, modelos digitales de terreno o representaciones 3D con una muy alta resolución y sobre todo sin dejar zonas no conocidas o investigadas entre las trayectorias del buque que obligarían a una interpolación. (*figura 10*).



Figura 9. Abajo: B/O Vizconde de Eza. Derecha: laboratorio de acústica.





Figura 8. Izquierda y abajo: transductores de los ecosondas multihaz instalados en el B/O Hespérides y salidas de hélices de proa



La corrección de la velocidad del sonido en el agua, debido a las variaciones de temperatura y salinidad, también se introduce en el sistema para realizar un correcto cálculo de la trayectoria de los haces al refractarse en las diferentes capas de agua con diferentes características de velocidad de sonido. Esto se consigue mediante la medida en continuo de la velocidad del sonido a la altura de los transductores (cerca del casco) para compensar la capa de agua superficial, y la realización de sondeos verticales de velocidad de sonido en las diferentes zonas investigadas o cada vez que se suponga pueda haber capas de agua profunda con diferente velocidad de sonido, bien con sondas desechables (XBT, XSV) o mediante la realización con batisondas u otros equipos recuperables que permiten el conocimiento y medida directa de la velocidad del sonido en toda la columna de agua.

En el caso de las campañas de la ZEE y a bordo del B/O Vizconde de Eza se utiliza un sensor de medida directa de la velocidad de sonido en el agua capaz de realizar perfiles verticales hasta 5000 m de profundidad con precisiones de ± 0,015 m/s (SV Plus de Applied Microsystems) (*figura 11*).

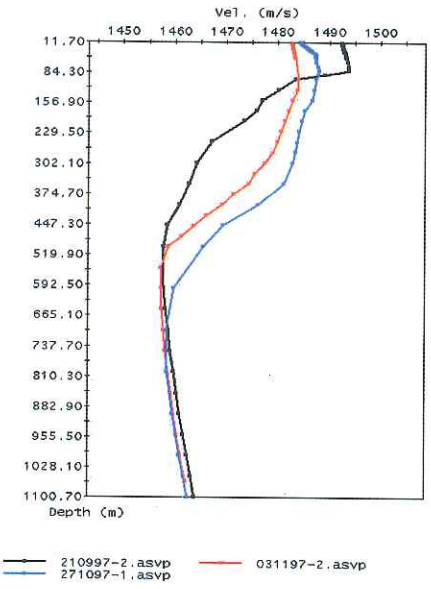


Figura 11. Diferentes perfiles verticales de la velocidad del sonido en el agua, necesarios para ser introducidos en los sistemas multihaz para la corrección de trayectorias y tiempos por la refracción del sonido en las diferentes capas. El sistema tiene la capacidad de reprocesar todos los datos según diferentes perfiles que se conozcan de la zona de trabajo.

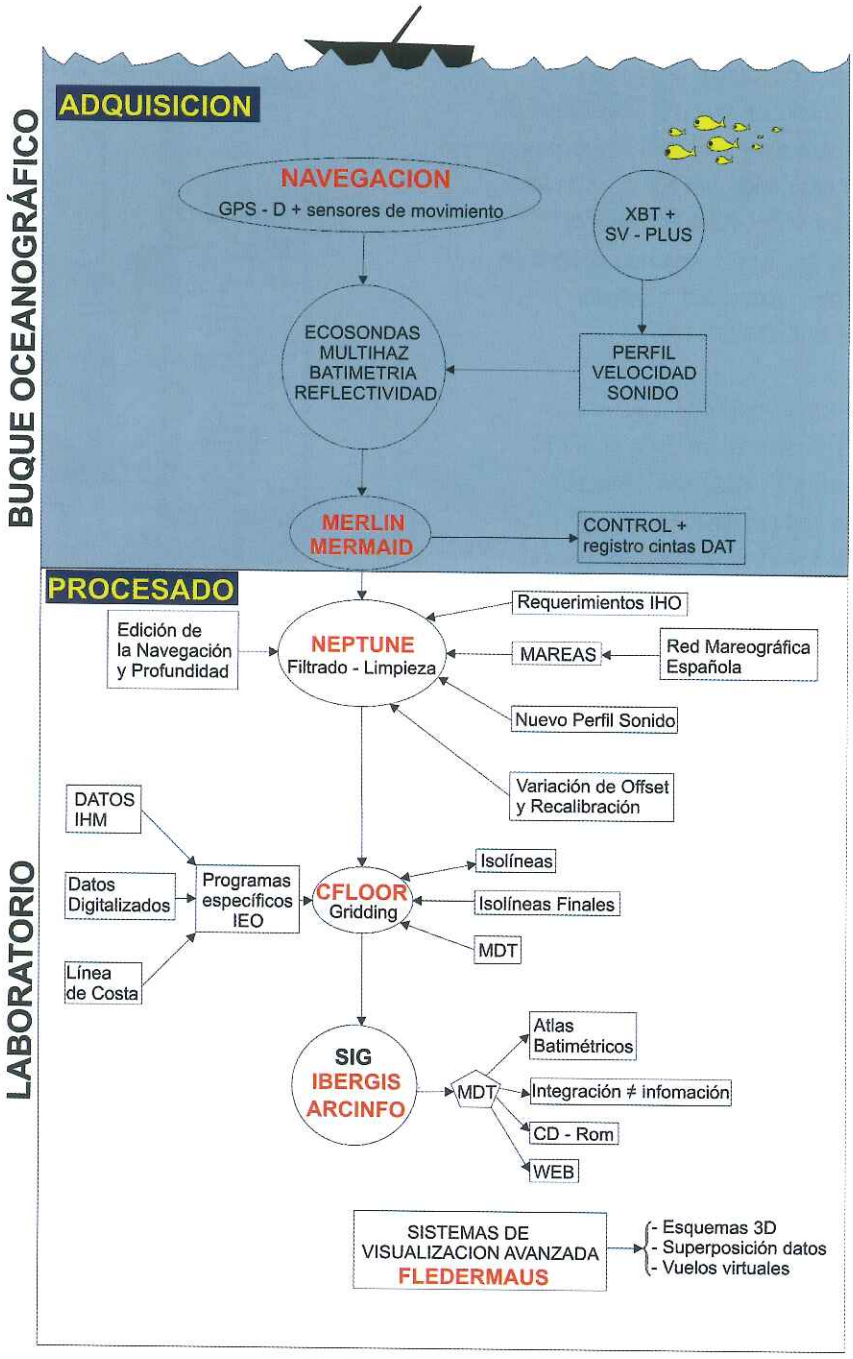


Figura 10. Diagrama de flujo de la adquisición y procesado de los ecosondas multihaz. En rojo: programas utilizados.

El tratamiento informatizado en el laboratorio de los datos recogidos, requiere programas específicos (Neptune, Triton, Poseidon y Cfloor) y hardware de alta capacidad y rendimiento dado el enorme número de datos que se manejan y la especificidad de los mismos. Se debe tener en cuenta que en un reconocimiento batimétrico medio (utilizando la ecosonda EM-12) se reciben y almacenan unas 7 Mb por hora de información digital X, Y, Z (posición y profundidad) así como otros parámetros como la reflectividad del fondo marino.

Esta información se almacenan a bordo en cintas DAT para el posterior volcado en las estaciones de trabajo de post-proceso en entorno Unix para su edición y estudio. Se debe tener en cuenta que el B/O Hespérides trabaja 24 horas al día y en el proyecto ZEE tiene asignado un mes de campaña al año, un pequeño cálculo nos puede dar idea de la cantidad de Giga Bytes de información recogida en una sola campaña marina.

También en la fase de elaboración de la cartografía se realizan correcciones que

pueden ser necesarias en algunos casos, como la corrección de las mareas o una nueva corrección del perfil de velocidad del sonido. Los datos resultantes de este proceso se han establecido para que cumplan los requisitos de la Oficina Hidrográfica Internacional en sus estándares de posición horizontal, profundidad, y cobertura al 100% del fondo (IHO 1987, 1997).

Las nuevas ediciones de la publicación sobre estándares de precisión de la IHO antes referidas, establecen criterios de calidad, que han pasado a ser independientes de la escala, como era el caso en los levantamientos "clásicos" con sondas monohaz. Recordemos la norma del "centímetro gráfico" que se refería a realizar líneas de tomas de datos separadas entre si por un cm a la escala del mapa a realizar, (si era una carta 1:50.000 se debían realizar líneas espaciadas a 500 metros), en la actualidad se tiende más bien a dar criterios de capacidad de resolución y detección de objetos sobre el fondo marino, por ejemplo: detección de bloques sólidos (cubos) de 1x1x1, 2x2x2 metros, etc, en trabajos de categoría especial, así como en los denominados trabajos de orden 1, orden 2, criterios menos estrictos en función de las zonas a cartografiar y sus profundidades, cobertura al 100 % del fondo marino, etc, desligando así de alguna manera la calidad del trabajo, su densidad de líneas, etc, de la escala a que se va a realizar la carta.

Integración de datos. Métodos de visualización avanzada

Las conocidas frases "en geofísica, ni el mejor procesado puede mejorar la calidad de un conjunto de datos malo" o "el propósito del procesado es una mejor percepción de la realidad geológica, no los números" son, en el caso del estudio de la morfología submarina mediante ecosondas multihaz, de total aplicabilidad. Los enormes conjuntos de datos numéricos de alta resolución obtenidos en los estudios geomorfológicos marinos en la actualidad hacen a los métodos tradicionales de

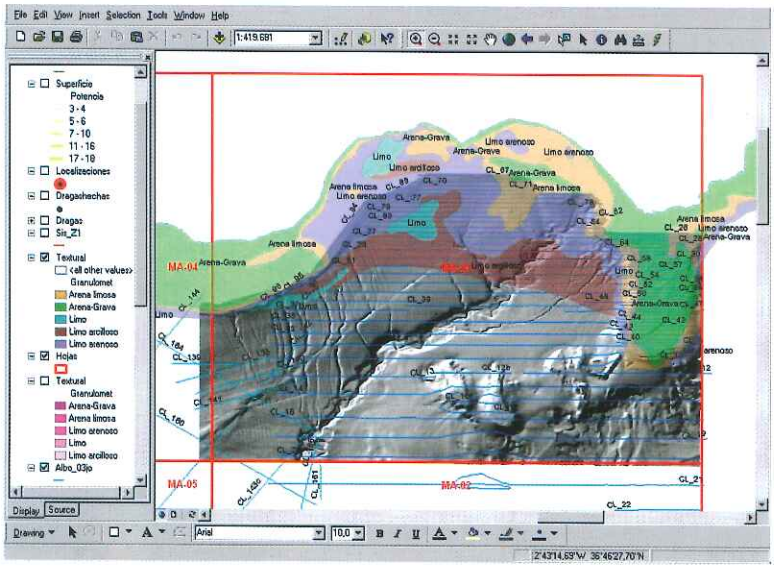


Figura 12. Integración de datos sobre un S.I.G (ArcInfo) en el que se incluyen: Línea de costa, Modelo Digital del Terreno, itinerarios de las líneas geofísicas realizadas y características texturales de los sedimentos superficiales.

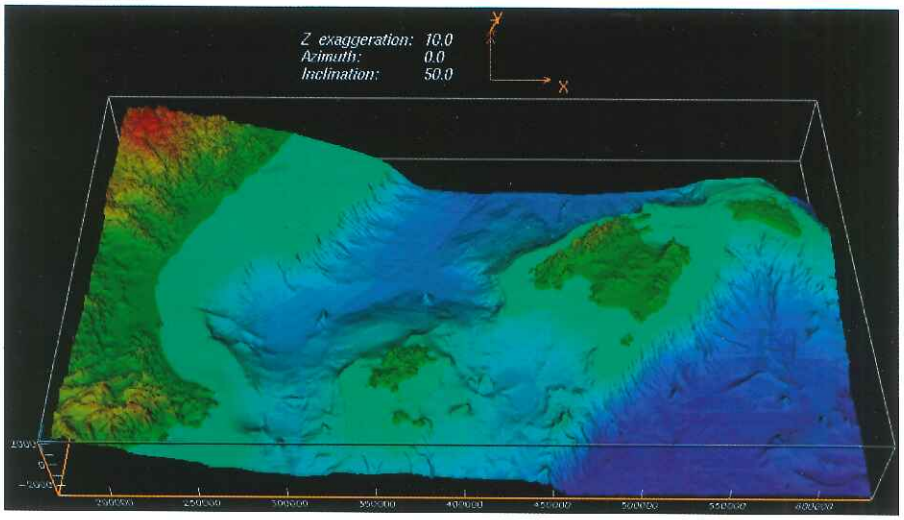


Figura 13. Mapa bati-topográfico del Mar Balear y Golfo de Valencia. Basado en datos de ecosondas multihaz(IEO) y topografía digital del IGN. Programa utilizado: Earthvision © (fuente: Acosta et al. 2002).

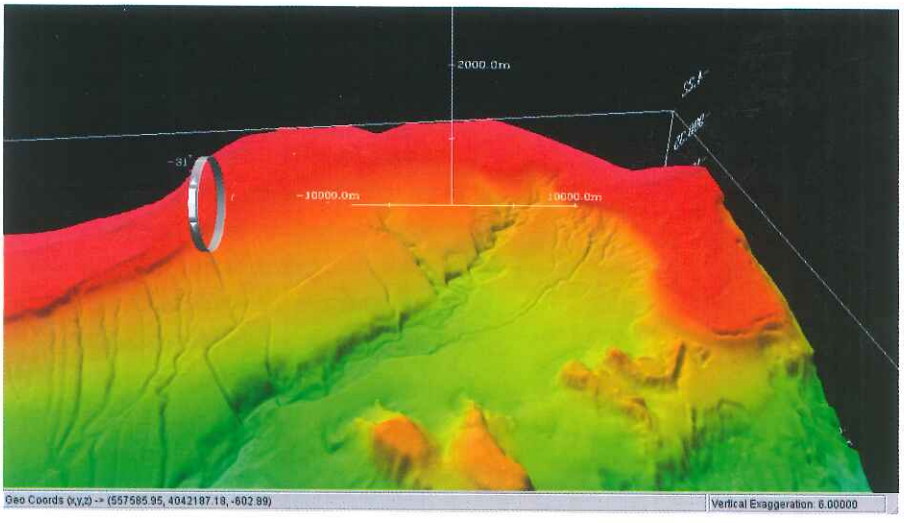


Figura 14. Vuelos virtuales ("Fly-throughs") sobre datos multihaz geo-referenciados permiten la planificación, análisis e interpretación de la geomorfología submarina de la zona próxima al Cabo de Gata. Programa utilizado: Fledermaus.

evaluación y visualización obsoletos. Estos métodos tradicionales han sido la representación geográfica en 2D, bien en papel o en las pantallas de ordenadores, teniendo graves desventajas en cuanto a cobertura regional, información detallada, posibilidad de integración y superposición de otros datos, etc.

Los datos batimétricos deben ser combinados con y superpuestos sobre otros conjuntos de datos tales como reflectividad del fondo marino, características texturales, información de sísmica continua por reflexión, o informaciones sobre la topografía y geología de las zonas de tierra adyacentes (*figura 12*).

Esta integración de información permite un análisis e interpretación más correcta y eficaz del medio en que nos movemos. Para cumplir estos requerimientos de eficacia se utilizan tanto técnicas de visualización, análisis y gestión estáticas, como dinámicas tales como codificaciones en color, iluminación artificial y sombreados (*figura 13*) o sistemas interactivos para explorar, analizar y manipular datos mediante realidad virtual (*figura 14*).

La aplicación de estas herramientas a la superficie investigada (el suelo y subsuelo marino en nuestro caso) nos permite un análisis e interpretación eficaz, exacta y completa.

ALGUNOS EJEMPLOS DEL MARGEN CONTINENTAL ESPAÑOL

Consideraciones previas

La mayoría de los ejemplos que a continuación se exponen provienen de datos adquiridos en el marco de dos programas de cartografía sistemática del margen español; El Programa ZEE y el Programa de cartas de pesca (IEO-SGPM). Ambos programas, han utilizado los buques oceanográficos mencionados y tienen como objetivo general proporcionar un conocimiento básico de nuestros márgenes continentales. Se trata pues de "investigación" básica o si se quiere infraestructura científica. Esta tarea, bajo mi punto de vista, es vital para el conocimiento, gestión, administración, y, en su caso, explotación de recursos de nuestra ZEE y zonas de interés pesquero. Sin embargo recibe alguna crítica por parte de algunos colegas estudiosos de la Oceanografía en general, en el sentido de no dar ningún valor "científico" a estos trabajos desde el punto de vista de la ortodoxia académica.

El autor de este trabajo no solo defiende la prioridad de estos programas por considerarlos de interés social, sino que considera que toda investigación científica requiere como base un conocimiento preciso del medio que se trate, misiones que cumplen ambos programas.

Para finalizar, se debe hacer constar que como "valor añadido" secundario, estas investigaciones sistemáticas dan lugar a trabajos publicados en el circuito científico, a pesar de la escasez de medios humanos en que actualmente se encuentra el IEO dentro de las geociencias marinas.

Tras la edición de los mapas correspondientes, primer objetivo del Plan ZEE, el estudio de detalle de algunas zonas investigadas ha revelado la presencia de hechos morfológicos desconocidos hasta ahora, así como de procesos sedimentarios que presentan un alto interés científico y aplicado y que, a continuación, presentamos.

PROMONTORIO BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA

Un campo volcánico de 500 Km^2 de superficie

Los estudios morfológicos alrededor del monte submarino Emile Baudot han puesto de manifiesto la presencia de 118 pitones volcánicos, constituyendo el denominado Campo Volcánico Sur Balear (Acosta et al.

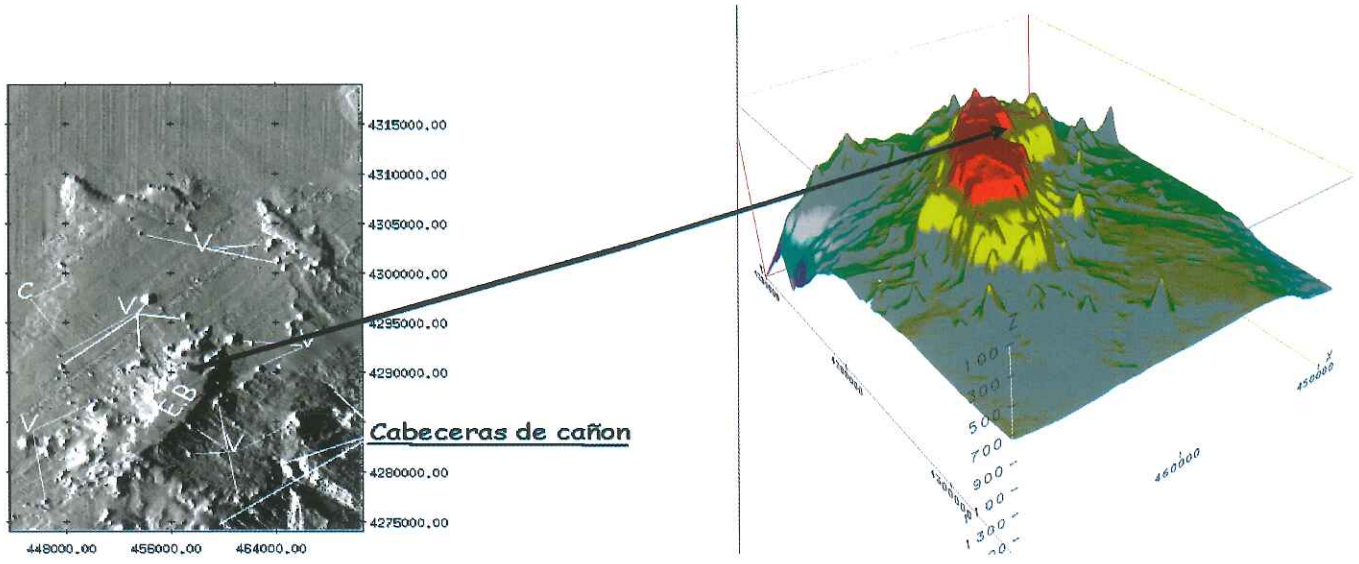


Figura 15. Un Campo Volcánico de 500 km^2 y 118 intrusiones volcánicas. Izquierda: Modelo Digital de terreno del campo volcánico. V = pitones volcánicos. EB = Monte Emile Baudot. (iluminación artificial desde el NO). Derecha: Esquema en 3D del Monte Emile Baudot con varias estructuras volcánicas alrededor.

2001a). La existencia de más de 118 pitones volcánicos alrededor del monte submarino Emile Baudot se pone de manifiesto al elaborar los modelos digitales de terreno correspondientes a esta zona, presentando una morfología casi perfectamente cónica con relieves sobre el fondo marino desde 8 hasta varios centenares de metros, pudiendo ser los diámetros en su base superiores a los mil metros (*figuras 15 y 16*).

Con anterioridad a los estudios de la ZEE no se conocía la existencia de estas estructuras, aunque si se sospechaba, al menos en parte, la naturaleza volcánica del Monte Emile Baudot basándose en datos de magnetismo submarino.

La extensión de fondo marino que está afectada por estas intrusiones supera los 500 km^2 de un área situada al sudeste de la isla de Mallorca.

El establecimiento de la naturaleza volcánica de estos pitones se apoya asimismo con datos provenientes de sísmica continua por reflexión, una técnica que permite mediante sonido, establecer un "corte vertical" al fondo marino permitiéndonos penetrar bajo el mismo de varios centenares a miles de metros, en función del sistema utilizado.

La *figura 16* ilustra el corte vertical de una de las estructuras pertenecientes al campo volcánico balear, en la que se puede apreciar que el origen de la misma surge bajo sedimentos pliocuaternarios, identificando asimismo un posible nivel de "sedimentos" volcánicos asociados al pitón (¿coladas?, ¿detritos volcánicos?). Solamente un reconocimiento directo de estas estructuras mediante submarino o vehículos operados por control remoto (ROV), junto a un muestreo de la roca que lo forma, despejaría las dudas que tenemos en la actualidad.

Deslizamientos y colapsos sedimentarios que afectan a una superficie de 2.600 Km^2

Los sedimentos marinos depositados en los márgenes continentales pueden desestabilizarse por diversas causas:

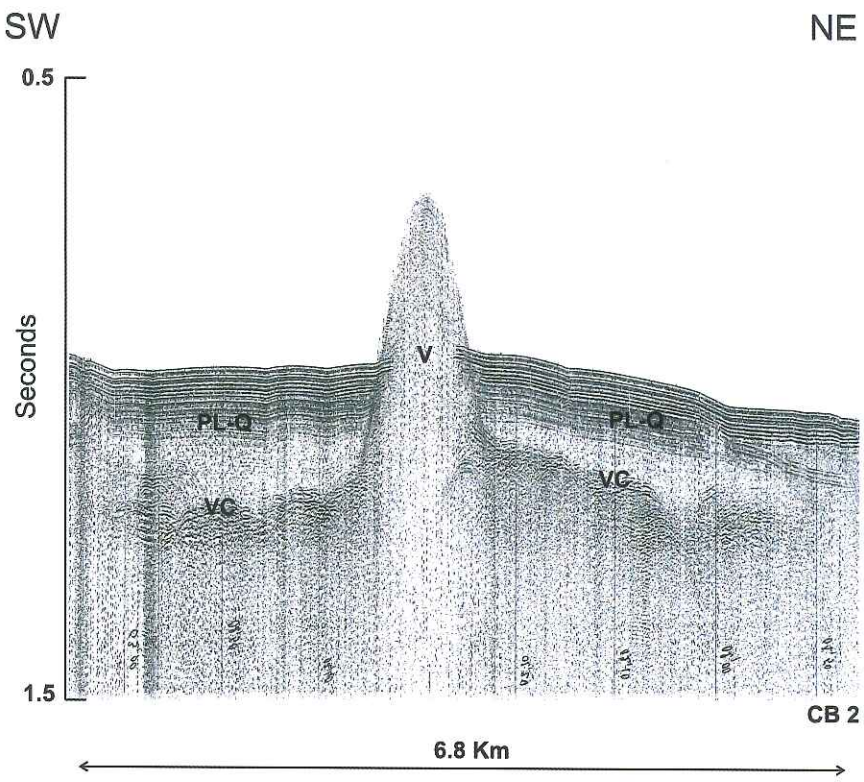


Figura 16. Perfil sísmico vertical de una intrusión volcánica. V = Volcán, PL-Q = Sedimentos pliocuaternarios, VC = Coladas o sedimentos volcanoclásticos.

terremotos, sobre-excavación de la base, deposición muy rápida, presencia de gases subsuperficiales, volcanismo, etc. Cuando se produce un deslizamiento submarino, grandes cantidades de sedimento caen pendiente abajo pudiendo provocar la destrucción de cables y tuberías submarinas, así como generar grandes olas o "tsunamis", dejando en la posición inicial de los sedimentos desplazados escarpes y desniveles indicativos de estos procesos. En la zona estudiada del mar Balear se han contabilizado más de 2.600 km^2 de superficie afectada por estos deslizamientos.

Los márgenes estudiados en el archipiélago Balear muestran numerosos ejemplos de desestabilización gravitacional de sedimentos, perfectamente detectables por las huellas o escarpes dejados por los sedimentos deslizados así como por los procesos sedimentarios de arrastre y deposición de los sedimentos pendiente abajo.

La *figura 17* presenta un claro ejemplo de estos procesos de inestabilidad sedimentaria de la plataforma de Ibiza en el que se puede apreciar el desplome de parte del borde de la plataforma y los escarpes, de altura decamétrica, dejados por el/los episodios de deslizamiento sedimentario. La importancia de una cartografía y estudio detallado de estos procesos es de capital importancia a la hora de elaborar mapas de riesgos geológicos, dado que debemos considerar estos fenómenos como potencialmente catastróficos, ya que pueden desplazar, de manera instantánea, enormes volúmenes de sedimentos o rocas pendiente abajo durante decenas o centenares de kilómetros, con el consiguiente riesgo de destrucción de cualquier obra, cable o tubería que pudiera encontrarse en su camino.

Evidencias morfológicas de escapes de fluidos

Es conocida en la literatura científica la presencia de depresiones o cráteres en el fondo marino producidos por el escape de gases y/o fluidos subsuperficiales tales como metano, CO_2, agua, petróleo, etc. Estas depresiones detectadas en el fondo marino se denominan en la literatura inglesa como "pockmarks".

En el mar Balear se ha constatado la existencia de extensos "campos" de estas formaciones que indican la existencia de gases/fluidos en el subsuelo marino como en el Canal de Ibiza, al este de las islas Pitiusas, y profusamente distribuidos, más o menos aisladamente, en el margen sur Balear.

Un ejemplo característico de estas depresiones por escape de fluidos se presenta en el Canal de Ibiza, al norte de una elevación submarina que se dispone prácticamente orientada O-E.

En la *figura* 18 se representa en 3D la zona afectada por estos escapes y una ampliación de la misma en la que se aprecian los diferentes tamaños de los "pockmarks".

Respecto al origen de los fluidos o gases subsuperficiales; gas de origen termogénico, biogénico o hidrotermal, los estudios y datos que se disponen actualmente no permiten asegurar ninguno, aunque la existencia de volcanismo reciente en las cercanías de estos lugares y la presencia del nuevo campo volcánico Sur Balear parecen apoyar un origen hidrotermal de los fluidos y gases que en su escape hacia superficie a favor de fracturas originan, por descompresión y arrastre de los sedimentos subsuperficiales, las depresiones y cráteres que nosotros detectamos en superficie (Acosta et al. 2001b).

Las dimensiones de las depresiones (pockmarks) varían desde pocos metros de diámetro en el fondo marino, aspecto denominado por nosotros "piel de naranja", que se sitúa en el Canal de Ibiza, hasta centenares de metros de diámetro y varias decenas de metros de profundidad en algunos cráteres detectados al este de Ibiza y que consideramos se producen por acumulación y unión de depresiones más pequeñas y la posible actuación de corrientes de fondo como factor erosivo adicional.

ARCHIPIELAGO CANARIO

Para completar el reconocimiento de la ZEE Canaria se realizaron las ya comentadas anteriormente tres campañas a bordo del B/O Hespérides (1998-2000) y dos con el B/O Vizconde de Eza. La cartografía que explicita el Programa ZEE está siendo terminada de elaborar por el IHM, el ROA y la UCM, siendo previsible su publicación en muy breve plazo.

De los datos registrados, solamente se pasa a exponer dos de los aspectos más representativos de los mismos: las avalanchas submarinas y la localización de un campo de diapiros de posible naturaleza evaporítica en el canal Canario.

Mega-avalanchas submarinas en las Canarias

Si tenemos en cuenta que las partes sumergidas de los edificios volcánicos oceánicos representan decenas de veces la superficie emergida, que corresponden a las fases iniciales de crecimiento de las mismas y pueden localizar algunos de los mayores riesgos volcánicos, es evidente que la, hasta este momento poco estudiada, estructura volcánica sumergida debe ser reconocida al menos al mismo nivel que la emergida para conseguir como objetivo final la predicción / aminoración de riesgos volcánicos potenciales.

Según Normark et al. (1993) los deslizamientos que se producen por colapso de los edificios volcánicos pueden

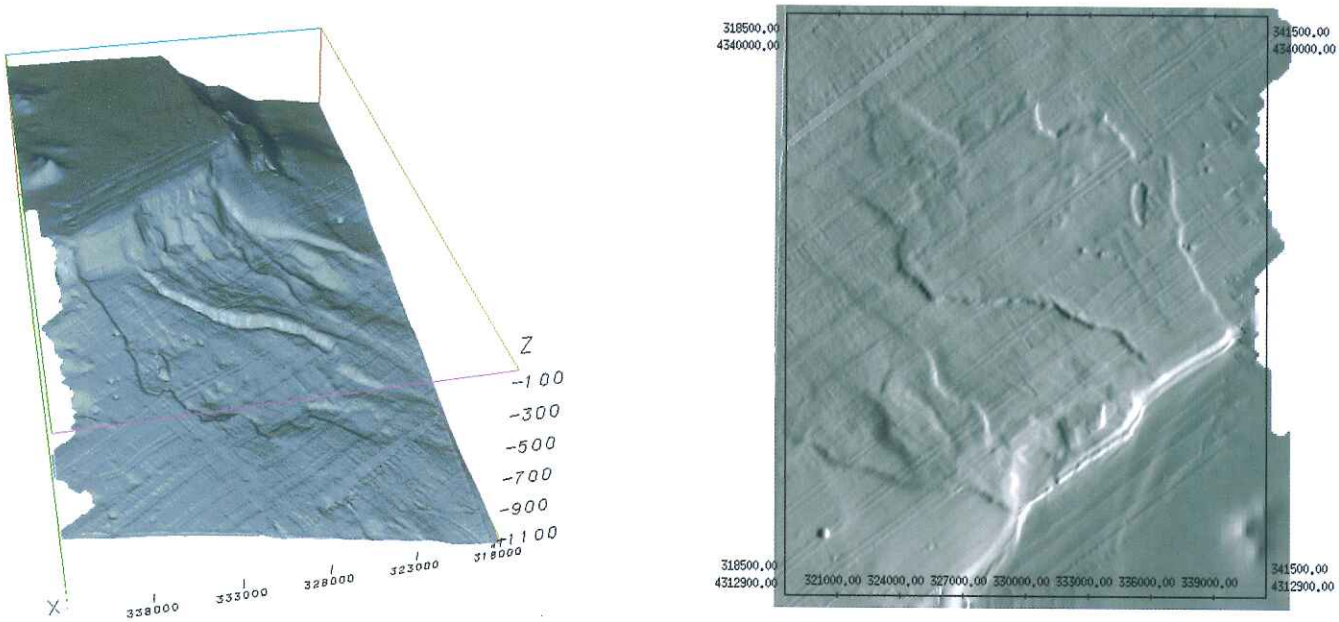


Figura 17.- Izquierda: Modelo en tres dimensiones de un sector de la plataforma occidental de la isla de Ibiza. Derecha: Modelo Digital de terreno de la misma zona, en el que se aprecia el borde de plataforma y los escarpes dejados por los sedimentos deslizados (iluminación desde el NO).

ser de diversos tipos: deslizamientos (slumps), avalanchas de derrubios (debris avalanches), flujos de derrubios (debris flows) y corrientes de turbidez (turbidity currents).

Las avalanchas presentan más extensión y menos potencia que los deslizamientos, pudiendo transportar bloques de rocas de magnitudes kilométricas. Algunos autores han propuesto que pueden ser el resultado final de un deslizamiento, al recorrer estos sedimentos superficies irregulares y provocar la rotura interna de sus rocas.

Las avalanchas de derrubios y flujos de derrubios pueden originar corrientes de turbidez como en el caso de las detectadas en la llanura abisal de Madeira desde hace 17 Ma. Durante los últimos 7 Ma estas turbiditas se depositaron cada 100.000 años. Según Masson et al. (2002) cada nivel de turbiditas representa el efecto de una avalancha de derrubios en el archipiélago Canario, por lo que los 80 niveles de turbiditas volcanoclásticas detectadas en el sondeo ODP 951 en la llanura abisal de Madeira desde hace 7 Ma es el registro mínimo de los colapsos volcánicos que se han dado en este tiempo en las Canarias.

Los deslizamientos al oeste de Fuerteventura son tan importantes que, a pesar de que pudieron generarse en el Mioceno-Plioceno, son reconocibles enormes bloques exóticos desplazados del flanco insular. En la *figura 19,* se pueden apreciar varios bloques rectangulares de techo plano con dimensiones de 22 x 11 km, 4 x 4 km y 11 x 6 km.

Recientes trabajos de investigación en esta zona (Acosta et al. 2004 a, b), indican que estos bloques representan elementos exóticos arrastrados a su posición actual, pendiente abajo, por avalanchas de derrubios originadas durante el colapso de los complejos volcánicos Norte y Central. Hemos denominado a esta unidad que cubre una extensión de 3.500 km^2 la Avalancha de derrubios de Puerto Rosario.

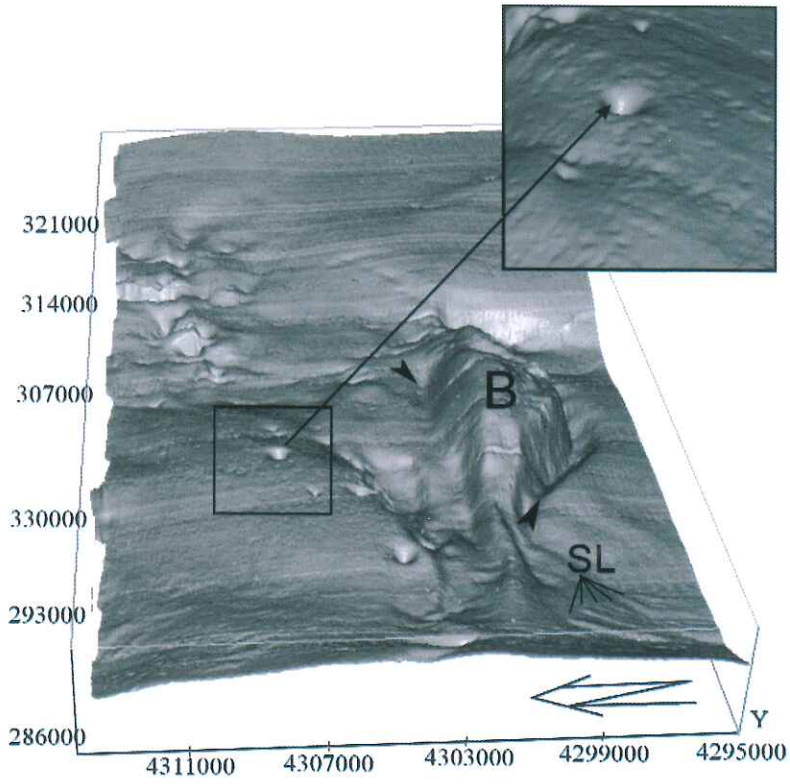


Figura 18. Cráteres producidos por escape de gases/fluidos sub-superficiales. Los de menor tamaño (10-50 m de diámetro) dan al fondo marino un aspecto denominado por los autores "piel de naranja" (fuente: Acosta et al.2001b).

"... El cabo de Gata es volcánico; lo es también la isla de Alborán y cabo Tres Forcas e islas Chafarinas; viejos derroteros señalan bajos que hemos buscado con insistencia en nuestras exploraciones sin dar con ellos..." Odon de Buen, *Mis memorias*

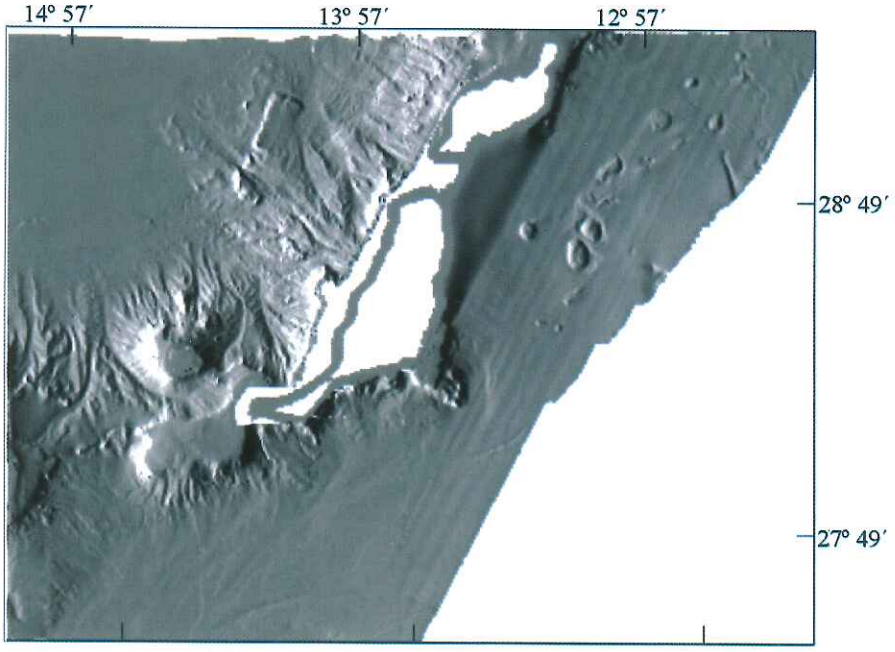


Figura 19. Mapa en relieve sombreado de las islas de Lanzarote y Fuerteventura. Se aprecian, en su margen oeste, la existencia de grandes deslizamientos y, en el margen este, la existencia de diapiros aflorantes. Bloque deslizado: 30 x 13 km y más de 200 m de relieve sobre el fondo marino adyacente.

La *figura19* representa una imagen en relieve con iluminación artificial desde el NO de los márgenes oeste de Lanzarote y Fuerteventura, así como de los bancos de Amanay y El Banquete. Se aprecian los deslizamientos denominados "Puerto Rosario", "Puerto Rosario sur" y "Las Palmas", destacando por su enorme tamaño los bloques desplazados al oeste de Fuerteventura que, por sus dimensiones, pueden ser clasificados como unos de los de mayor tamaño encontrados en los márgenes insulares volcánicos en el mundo.

Tectónica y procesos evaporíticos

En el Canal Canario (Canal entre Fuerteventura y Lanzarote y la costa Africana), se han identificado sobre el fondo marino montículos de forma circular a elíptica con relieves sobre el fondo circundante de 75 a 375 m y diámetros desde 4 a 8 km. Estos montículos estan parcialmente rodeados en sus bases por surcos o canales con relieves de 25 a 75 metros de profundidad (*figuras 20 y 21*).

La situación de las islas de Fuerteventura y Lanzarote, sobre la denominada Dorsal Canaria (Canary Ridge), parece corresponder al límite cortical corteza oceánica-corteza continental. La presencia de estos montículos sobre el Canal Canario se atribuye al afloramiento de diapiros evaporíticos correspondientes a las cuencas de edad Triásica-Jurásica que se encuentran en el margen Africano y que se extienden mar afuera hacia el oeste, incluyendo el Canal Canario.

La *figura 21*, un mapa en relieve sombreado del Canal Canario, ilustra la presencia de estos montículos (M2 y M3), surcos en sus bases y cárcavas asociadas. Los surcos y cárcavas asociados a los montículos se han interpretado como generados por erosión de salmueras originadas por la disolución de las sales de que están formados los diapiros.

Uno de los montículos cartografiados, el denominado M1, situado al oeste de Fuerteventura y cercano a esta isla,

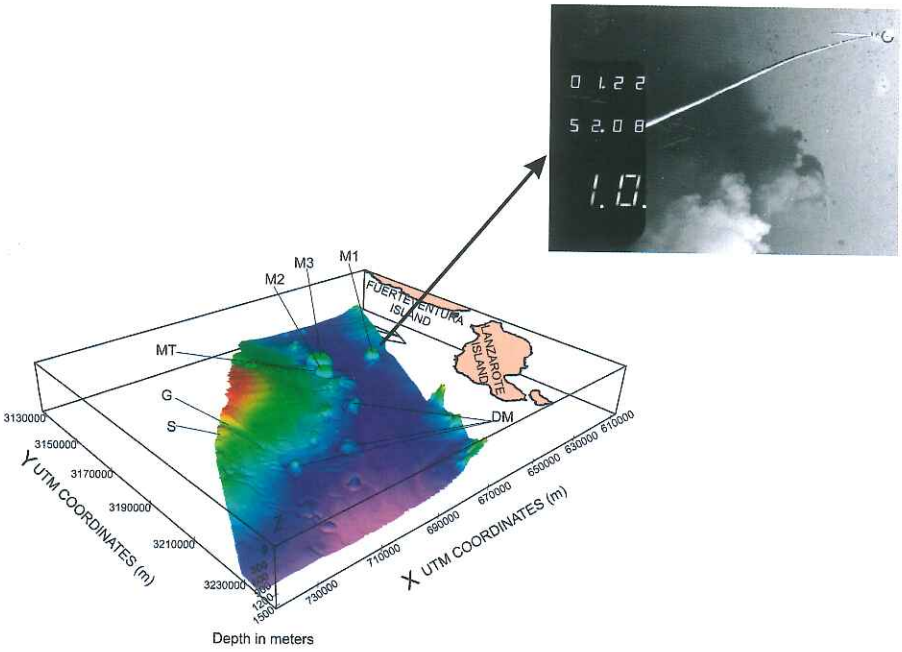


Figura 20. Izquierda: diapiros (M2 y M3) y montículos en el Canal Canario. Derecha: Fotografía sobre el montículo volcánico M1 mostrando escapes de gases y fluidos.

presenta una morfología diferente, muestra un cráter en su cima, no presenta surcos en su base y tiene asociado una pequeña cresta o dorsal que parte de su base hacia el NW. Su proximidad a la Dorsal Canaria hace pensar en un montículo de origen volcánico. Sobre este monte submarino se ha detectado por fotografía submarina la expulsión de gases de probable origen volcanogénico (*figura 20*).
Como confirmación de la naturaleza volcánica del montículo M1 frente a la diapírica - evaporítica de los demás montículos (M2, M3 en *figuras 20 y 21*), los estudios geomagnéticos realizados en la zona muestran que el M1 presenta una anomalía geomagnética de 300 nT mientras que el resto no presentan ninguna anomalía.

MAR DE ALBORÁN

Afloramientos volcánicos

El IEO y la SGPM en su programa de realización de cartas de Pesca ha iniciado un reconocimiento batimétrico, sísmico y de muestreo de sedimentos de todo el Mar de Alborán. En el transcurso de estos estudios se han puesto de manifiesto los rasgos geomorfológicos detallados de esta zona, tan interesante desde el punto de vista geológico y geofísico.

Tal como Odón de Buen ya indicaba en sus estudios, a principios del siglo XX, el Mar de Alborán presenta un importante componente volcánico sumergido, que en estas investigaciones se ha puesto claramente de manifiesto.

La zona de estudio presenta una abundante muestra de afloramientos volcánicos asociados al vulcanismo Neógeno del NE de Alborán

Uno de los afloramientos más importantes de esta zona de estudio lo constituye el Banco de Chella, relieve de origen volcánico situado entre las longitudes 2°48'O y 2°56'O y las latitudes 36°28'N y 36°36'N, cubriendo un área de 65,8 km^2. El afloramiento Chella lo componen el Guyot de Chella (GCH) como figura central y dos zonas de afloramiento adosadas de menor relieve; la NE y la O (*figura 22*).

El techo de GCH presenta una rasa horizontal de erosión en un nivel de 130 m de profundidad, consecuencia de la erosión originada por las pulsaciones

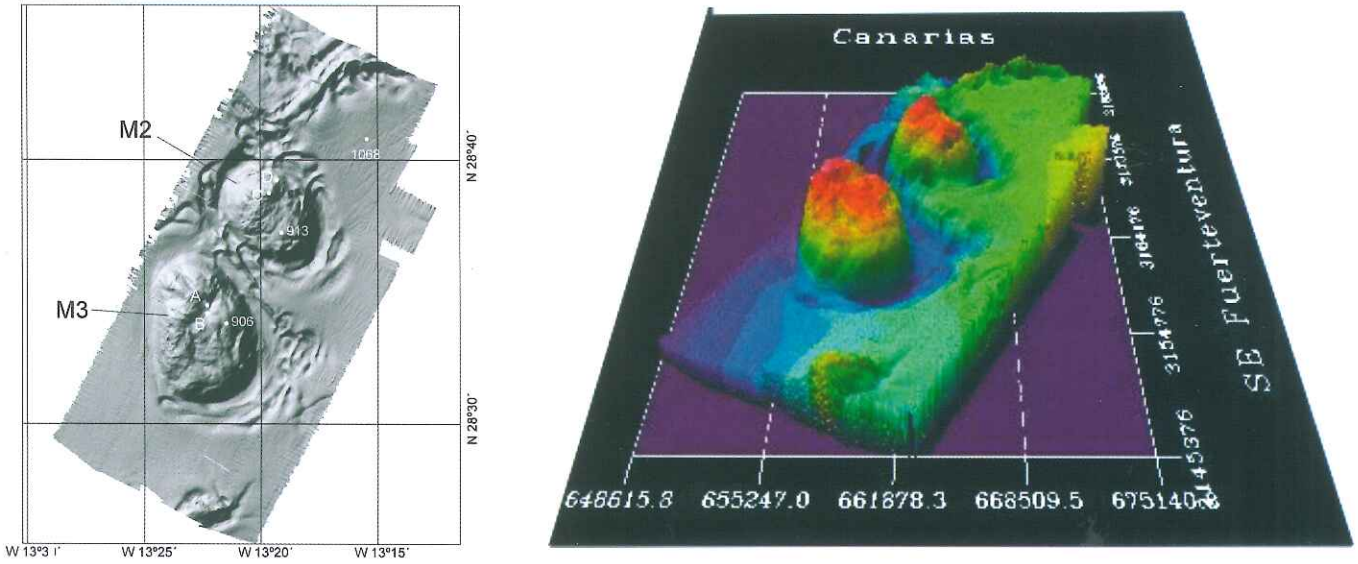


Figura 21. Izquierda: MDT de dos diapíros evaporíticos del Canal Canario, se aprecian huellas de disolución en la base. Derecha: Esquema 3D con codificación en color de los diapiros M2 y M3.

glacioeustáticas que generaron bajadas del nivel marino. La superficie total del techo se ha calculado en 7,8 km^2. Sobre esta rasa erosiva horizontal se deposita un recubrimiento de perímetro y morfología irregular, centrado en el techo y que alcanza una profundidad mínima de 72 metros. Por su morfología y disposición sobre el techo del GCH, creemos que esta formación, que tiene un espesor medio de 42 m, puede corresponder a depósitos carbonatados o crecimientos biogénicos

Neotectónica

El mar de Alborán se sitúa en el extremo occidental del límite de placas Euroasiática y Africana. La complejidad tectónica y geodinámica de la región ha sido puesta de manifiesto por diversos autores y proyectos de investigación.

"... las exploraciones del *Balboa* por el litoral de las provincias de Málaga y Almeria ... hacen presumir que por allá han tenido en el relieve submarino bastante influencia los terremotos..." Odón de Buen, *Mis memorias*

Nuestra zona de estudio está enmarcada desde el punto de vista morfotectónico por la conocida zona de fractura Serrata-Carboneras (SCFZ), que se prolonga desde el Cabo de Gata extendiéndose en tierra varias decenas de kilómetros mar afuera (*figura 23*).

La zona de falla principal corresponde a la SCFZ, que marca el límite SE de este estudio. Esta zona de fracturación ya ha sido citada anteriormente en la zona marina (Rodríguez-Fernández et al., 2000), aunque su extensión longitudinal no había sido hasta ahora determinada con exactitud. Nuestro estudio

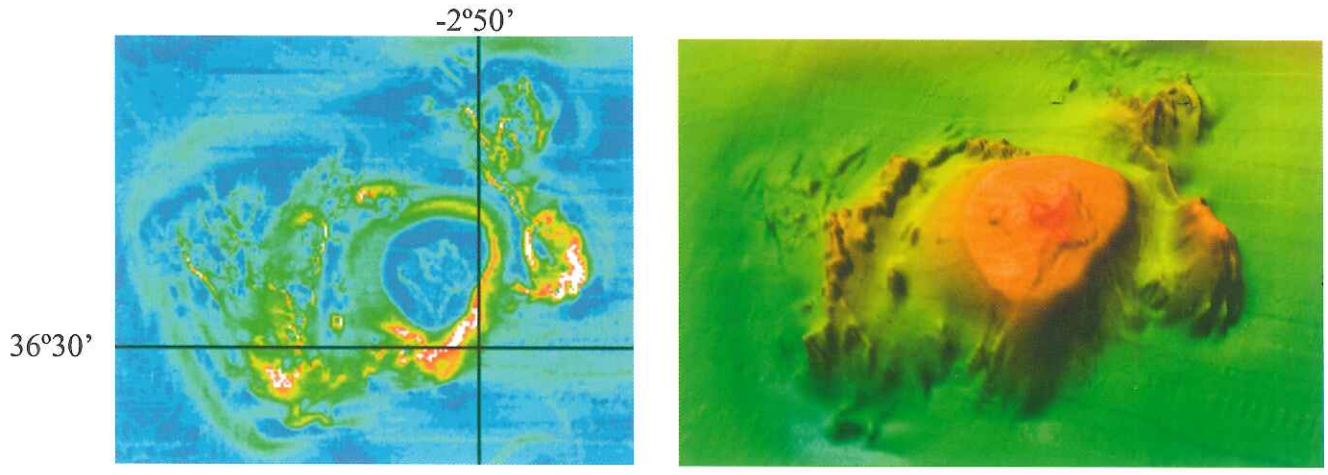


Figura 22. Derecha: Mapa en relieve del conjunto volcánico de Chella o "Seco de los Olivos" (25 km al SE de Adra). Izquierda: Mapa de pendientes (codificadas en color).

nos ha permitido establecer una longitud total de la falla en más de 50 km.

El estudio de los numerosos perfiles de sísmica de alta resolución (TOPAS) en la zona ha puesto asimismo de manifiesto la actividad reciente de la compleja tectónica distensiva que afecta a este entorno. Fracturas normales con relieves en el fondo marino de hasta 20 metros atestiguan una acción tectónica actual (*figura 24*).

" Son de trascendencia suma las observaciones que pueden hacerse entre las sacudidas sísmicas y aun los simples y frecuentes microsismos, con las variaciones del fondo del mar,..."Odón de Buen, *Mis memorias*.

CONCLUSIÓN

Uno de los objetivos al escribir este trabajo, ha sido el de tratar de expresar la valía científica y la visión de futuro del fundador del IEO, D. Odón de Buen. Sus comentarios acerca de la morfología y geología submarina de muchas zonas de nuestros márgenes sumergidos eran totalmente acertados y solamente la falta de las tecnologías apropiadas hizo que muchas de sus consideraciones se quedaran en hipótesis.

En la actualidad, la institución que fundó hace 90 años, tiene acceso y realiza estudios con medios avanzados que nos permiten lo que muchos autores denominan "ver con sonido".

Los recursos del océano y sobre todo de su zona litoral y plataforma continental, donde se localizan mayoritariamente las actividades económicas más importantes, no están relacionadas necesariamente con recursos minerales o energéticos, sino que, pueden tener más que ver con una ordenación litoral integral adecuada, una explotación sostenible de recursos vivos - acuicultura, un conocimiento exacto del medio geológico y geofísico que permita obras civiles sin riesgos y

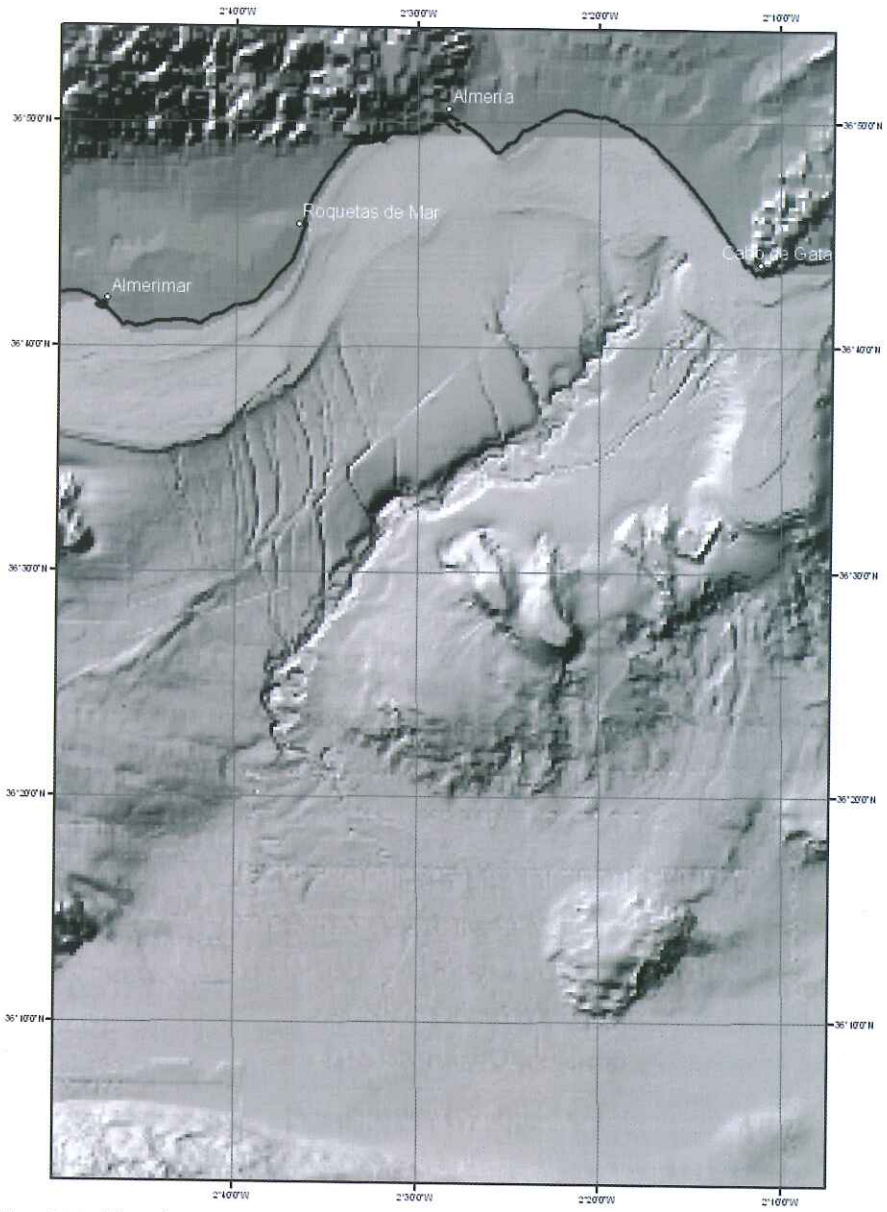


Figura 23. La falla en dirección Serrata-Carboneras en su prolongación submarina. Se aprecia las variaciones de curso de los tributarios del cañon de Almería.

gestionadas de modo eficiente y en definitiva un conocimiento preciso y sistemático de nuestro entorno marino.

Los ejemplos que se han incluido aquí permiten apreciar hechos geomorfológicos de detalle y como consecuencia de ello el estudio de los procesos geológicos, tectónicos y estructurales que los han generado.

La existencia de algunos de ellos puede tener importantes implicaciones económicas, como por ejemplo, la detección de zonas proclives a presentar desestabilizaciones del fondo marino por deslizamientos sedimentarios, hecho que puede afectar a infraestructuras apoyadas sobre el mismo.

Otros hechos tienen un importante componente científico al dar luz sobre zonas submarinas sujetas a antiguas controversias científicas tal como la existencia o no de avalanchas submarinas alrededor de las islas Canarias y su influencia en el proceso de construcción-destrucción de las mismas, o la presencia de tectónica activa (fallas capaces) que presentan un nuevo aspecto en lo referente a la sismicidad de las islas Canarias o la zona del Mar de Alborán.

Otra faceta importante puede ser la localización de yacimientos minerales submarinos y depósitos de áridos susceptibles de ser extraídos para regeneración de playas, o la utilización de la cartografía batimétrica para una mejor explotación de los recursos pesqueros, pero básicamente el objetivo fundamental, tal como se explicita en el Plan de trabajo de la ZEE es el poner a disposición de toda la comunidad científica e industrial española un atlas cartográfico de nuestros fondos y subsuelo marinos para su mejor conocimiento, administración, explotación y conservación.

El balance de los primeros nueve años de trabajo en el programa ZEEE y del "Cartas de Pesca" no puede ser más positivo. Se han estudiado por completo los dos archipiélagos Españoles: Baleares y Canarias; y se han editado 25 mapas temáticos a escala 1:200.000 del primero, estando en fase de edición las correspondientes al canario (ZEEE). Asimismo se han publicado, en 2004, 10 cartas de pesca del Mar de Alborán.

La implicación en las campañas marinas y el uso de los datos obtenidos por parte de los grupos de investigación y universidades españolas ha sido desde el comienzo muy amplia y se está reflejando en diversos trabajos científicos publicados en revistas internacionales de impacto, así como en la elaboración de tesis de licenciatura y doctorales que son la piedra de toque del rigor y calidad de los datos obtenidos.

Con el comienzo del estudio del margen continental gallego en la campaña del 2001-ZEEE y la posible utilización de un segundo buque oceanográfico equipado con sondadores multihaz y sonda paramétrica, el B/O Vizconde de Eza, perteneciente a la Secretaría General de Pesca Marítima, se permitirá un avance relevante en el mejor conocimiento y cartografía de ese parte de la España sumergida que constituye nuestra Zona Económica Exclusiva.

Finalmente un deseo: que las ideas científicas de progreso de la Oceanografía de nuestro fundador sean aplicadas en España y trasladadas a la UE como marco común de la investigación en Europa.

"Divulgar, propagar, popularizar el estudio de la Naturaleza es hacer una obra social de inmensa importancia; es, al mismo tiempo, preparar la atmósfera, disponer un medio favorable a los progresos científicos" Odón de Buen

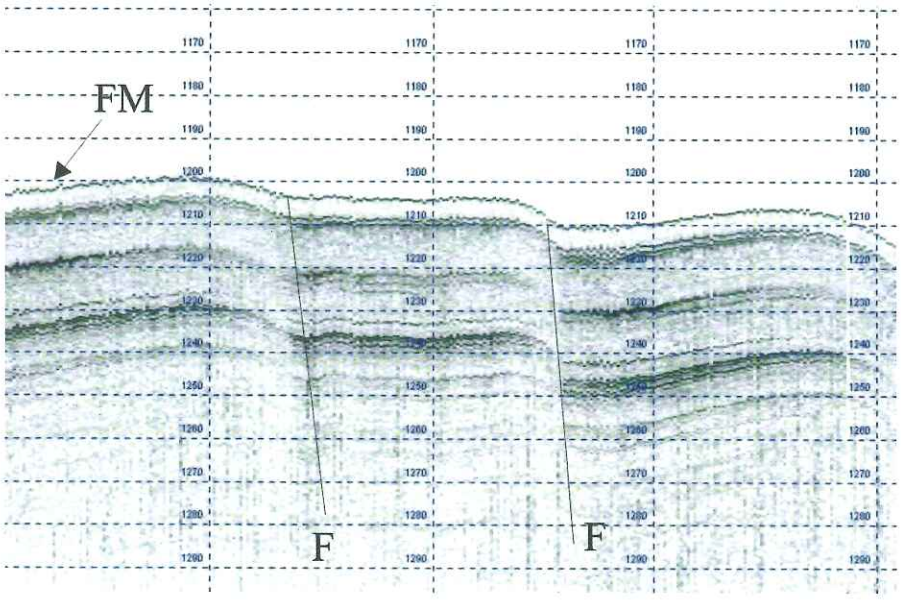


Figura 24. Perfil sísmico de alta resolución (Topas). La existencia de una tectónica distensiva se ve reflejada en el fondo marino por saltos de fallas normales que pueden alcanzar de 10 a 20 metros (FM = fondo marino. F = falla).

D. ODÓN DE BUEN Y DEL COS (1863-1945)

"La Oceanografía debe ser en el porvenir el campo común de nuestro trabajo;.. Sueño con este imperio de la Oceanografía, puesto que los océanos han sido todo en el pasado de la tierra y dominan todavía hoy. Y el océano es de todos y no es de nadie, pertenece a los pensamientos más atrevidos, a los espíritus científicos más aventureros, al más duro trabajo humano y al mejor organizado, a los pueblos más civilizados y a los más poderosos; constituirá el campo general de todos los esfuerzos de la ciencia y su exploración debe ser colectiva y su explotación racionalizada por acuerdos comunes. Nos reserva todavía revelaciones científicas trascendentales y riquezas materiales inexploradas. La Oceanografía es, pues, una ciencia internacional y no puede dejar de serlo." (O. de Buen.)

MÁS INFORMACIÓN

http://www.ieo.es/biografia_odon.htm

Síntesis de una vida política y científica 1998. Edición facsímil de la edición de Buenos Aires, Publicaciones del Patronato Hispano-Argentino de Cultura, 1944.

De Kristianía a Tuggurt (impresiones de viaje) IFC-Ayuntamiento de Zuera 1998.

NOTAS

(1) En fecha 25-05-1994 se firmó el Convenio Marco de Cooperación entre el Ministerio de Defensa y el Instituto Español de Oceanografía, para la investigación hidrográfica y oceanográfica de la ZEE Española. En 2003 se ha firmado un nuevo Convenio incorporándose el IGME (Instituto Geológico y Minero) y el ROA (Real Observatorio de la Armada).

(2) En el Proyecto PRico, el B/O Hespérides trabajó en la fosa de Puerto Rico, la mayor profundidad conocida en el Atlántico. Teniendo una profundidad bajo quilla de 8000 metros, las sondas proporcionaban información de un pasillo de más de 22 Km (11 km por banda).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, J., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M., VAQUERO, M. y UCHUPI E. (2001a). Geodynamics of the Emile Baudot Escarpment & The Balearic Promontory, Western Mediterranean. Marine and Petroleum Geology,18/3,349-369.
- ACOSTA, J., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M., VAQUERO, M. y UCHUPI E. (2001b). Pockmarks in the Ibiza Channel and Western End of the of the Balearic Promontory (Western Mediterranean) revealed by Multibeam Mapping. Geo-Marine letters, 21. 123-130.
- ACOSTA, J., CANALS, M. LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., URGELES, R., PALOMO, C. y CASAMOR, J.L. (2002). The Balearic Promontory geomorphology (western mediterranean): morphostructure and active processes. Geomorphology, 49. 177-204.
- ACOSTA J., UCHUPI, E., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M. y ZEEE WORKING GROUP. (2004 a). Geologic evolution of the Older Canary Islands: Lanzarote, Fuerteventura, Grand Canaria and La Gomera with a Brief Description of the avalanches on the Younger Islands: Tenerife, La Palma and El Hierro . Marine Geophysical Researches, special issue on canary Islands. (en press).
- ACOSTA J., UCHUPI, E., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M. y ZEEE WORKING GROUP (2004 b). Salt Diapirs, Salt Brine Seeps, Pockmarks and Surficial Sediment Creep and Slides in the Canary Channel off NW Africa. Marine Geophysical Researches, special issue on canary Islands. (en press).
- BUEN, ODÓN DE (2003). Mis memorias (Zuera, 1863 - Toulouse, 1939). Zaragoza: Institución Fernando El Católico (CSIC), 2003
- HERRANZ, P., SAN GIL, C., BALLE P., ACOSTA J., PALOMO C., SANZ J.L., BRAVO DE LAGUNA, J. y FRANQUET F. (1983 a). CARTA DE PESCA LANZAROTE-SE. (Escala 1: 27 500). Ed. Inst. Esp. Oceanogr.?Gobierno Autónomo Canarias.
- HERRANZ, P., SAN GIL, C., BALLE P., ACOSTA J., PALOMO C., SANZ J.L., BRAVO DE LAGUNA, J. y FRANQUET F. (1983 b). CARTA DE PESCA FUERTEVENTURA-E. (Escala 1: 27 500). Ed:Inst. Esp. Oceanog-Gobierno Autónomo Canarias.
- HERRANZ, P.; ACOSTA, J.; PALOMO, C.; SANZ, J.L. y SAN GIL, C. (1992 a). CARTA DE PESCA DE FUERTEVENTURA SE-1 (1/25.000). Ed: Ins. Esp. Oceanogr.
- HERRANZ, P.; ACOSTA, J.; PALOMO, C.; SANZ, J.L. y SAN GIL, C. (1992 b). CARTA DE PESCA DE FUERTEVENTURA SE-2 (1/25.000). Ed: Ins. Esp. Oceanogr.
- HERRANZ P.; ACOSTA J.; PALOMO C.; SANZ J.L. y SAN GIL C. (1992 c). CARTA DE PESCA DE FUERTEVENTURA S (1/25.000). Ed: Inst. Esp. Oceanogr.
- HERRANZ, P.; ACOSTA, J.; PALOMO, C.; SANZ, J.L. y SAN GIL, C. (1992 d). CARTA DE PESCA DE FUERTEVENTURA SW (1/25.000). Ed:Inst. Esp. Oceanogr.
- INTERNATIONAL HIDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO) (1987). Accuracy standars. Special publication 44, 3rd edition. Mónaco
- INTERNATIONAL HIDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO) (1997). Standars for Hydrographic survey. Special publication 44 4th edition. Mónaco
- MASSON, D.G., WATTS, A.B., GEE, M.J.R., URGELES, R., MITCHELL, N.C., LE BAS, T.P., H y CANALS, M., (2002). Slope failures on the flanks of the Canary Islands, Earth-Sci. Rev. 57, 1-35.
- NEW YORK TIMES, 1 JUNIO 2004. "A great spanish explorer, blown off course from fame".
- RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J., AZANON, J.M. y MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, J.M., (2000). Plio-Quaternary contractive reorganization along the Serrata-Carboneras Fault Zone, NE Alboran basin. Geological Processes on European Continental Margins, 168, p.28 [Workshop Rep. IOC].

MAPAS EDITADOS DENTRO DEL PROGRAMA CARTAS DE PESCA

www.mapa.es/es/pesca/pags/vizconde_web/index.htm

- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-0) MAR DE ALBORÁN (2004). Long: De -4° 40' á -2° 07' Lat: De 35° 41.5' á 36° 54' Esc: 1:250000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0631-1. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. BANCO B/O VIZCONDE DE EZA (MA-9) (2004). Long: De -4° 02' á -3° 24' Lat: De 36° 02' á 35° 41.5' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0628-1. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-6) ISLA DE ALBORÁN (2004). Long: De -3° 24' ä -2° 45' Lat: De 36° 02' á 35° 41.5' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0625-7. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-2) CANAL DE ALMERÍA (2004). Long: De -2° 45' ä -2° 07' Lat: De 36° 24' á 36° 02' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0623-0. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-8) BANCO DE DJIBOUTI (2004). Long: De -4° 02' ä -3° 24' Lat: De 36° 24' á 36° 02' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación . ISBN: 84-491-0627-3. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-5) ALTO DE ADRA (2004). Long: De -3° 24' á -2° 45' Lat: De 36° 24' á 36° 02' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0624-9.NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-11) ABANICO DE CALABURRAS (2004). Long: De -4° 40' á -4° 02' Lat: De 36° 24' á 36° 02' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0629-X. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-12) CUENCA OESTE DE ALBORÁN (2004). Long: De -4° 40' á -4° 02' Lat: De 36° 02' á 35° 41.5' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0630-3. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-7) ABANICO DEL GUADALFEO (2004). Long: De -4° 02' á -3° 24' Lat: De 36° 24' á 36° 45' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0626-5. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-3) ESCARPE DE HABIBAS (2004). Long: De -2° 45' á -2° 07' Lat: De 36° 02' á 35° 41.5' Esc: 1:75000 (36°00')Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0622-2.NIPO: 251-04-069-4

MAPAS EDITADOS DENTRO DEL PROGRAMA ZEE

ZEE Web: http://www.ieo.es/zee/

- Palomo, C.; Acosta, J.; Muñoz, A.; Herranz, P.; Sanz, J.L.; Molinero, J.; Bécares, M.A. y Gómez, R. (1998). Mapa Batimorfológico del Canal entre las Islas de Tenerife y Gran Canaria. Editor: Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- Palomo, C.; Acosta, J.; Muñoz, A.; Herranz, P.; Sanz, J.L.; Molinero, J.; Bécares, M.A. y Gómez, R. (1998). Mapa Batimorfológico de la Zona Norte de la Isla de Tenerife. Editor: Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-9. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-9. Mapa de Anomalías de Aire Libre. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-9.Mapa de Anomalías de Bouguer Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-ROA. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-9. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-13. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-13. Mapa de Anomalías de Aire Libre.Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-13. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-ROA. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-13. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-14. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-14. Mapa de Anomalías de Aire Libre.Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-14. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-ROA. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-14. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM. (1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-15. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-15. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-ROA. (1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-15. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM. (2001). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-10. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (2001). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-10. Mapa de Anomalías de Aire Libre Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM. (2001). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-10. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-ROA. (2001). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-10. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM.(2001).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-11. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (2001). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-11. Mapa de Anomalías de Aire Libre Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-UCM. (2001). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-11. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- IEO-IHM-ROA. (2001). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-11. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento Geología y Geofísica Marina. Madrid.
- Grupo de trabajo ZEE (2001). Mapa Batimétrico del Mar Balear y Golfo de Valencia. Mediterráneo Occidental. Escala 1:500.000. Edita IEO (Mº Ciencia y Tecnología).

Conceptos productividad oceánica
principios y base analítica

El océano es el más diverso de todos los ecosistemas de nuestro planeta. Esto no debiera sorprendernos, dado su enorme volumen y la gran extensión de la superficie terrestre que cubren los océanos. El manto protector de las aguas marinas ofrece el cobijo y los nutrientes necesarios para el delicado equilibrio de este singular laboratorio biológico

Alfonso Pardo
Geólogo. Universidad San Jorge

Y aunque no hay un acuerdo unánime entre los científicos acerca de en qué ambiente concreto se produjeron las primeras formas de vida —hay quienes apuntan a las fumarolas de las cordilleras mediooceánicas, mientras que otras hipótesis sugieren ambientes tipo *lagoon*, similares a los que existen hoy día en la Gran Barrera Australiana—, en lo que todos parecen estar de acuerdo es que la vida en la Tierra se originó en algún lugar de los océanos.

Por ello, no es de extrañar que la dinámica geoquímica, ecológica y paleoecológica de los océanos constituya un territorio científico de primera magnitud que en las últimas décadas ha ido incrementando su protagonismo tanto en las Ciencias de la Vida como en las Ciencias de la Tierra. ¿Cuáles son los mecanismos que permiten sostener a lo largo del tiempo un sistema tan complejo en equilibrio? ¿Cuáles son las fuentes de alimento para todos estos organismos? ¿Qué mecanismos regulan el delicado equilibrio entre los ecosistemas marinos y el clima o la composición atmosférica? ¿Cómo han afectado los grandes eventos climáticos y la dinámica oceánica en la productividad de los ecosistemas marinos? Las preguntas que se formulan los científicos son muchas, y no todas ellas tienen una solución sencilla, más aún cuando las pistas se hallan enterradas en los sedimentos. Por ello, los paleontólogos que se dedican a desentrañar los intrincados procesos de la paleoecología y paleoceanografía

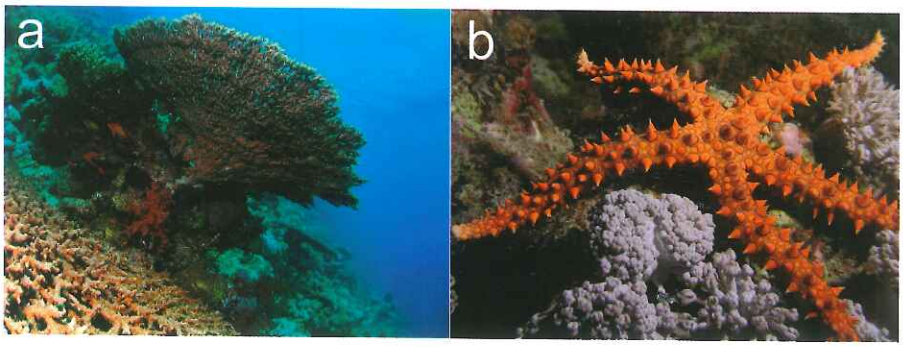


Figura 1. El CO_2 es absorbido y metabolizado por una gran variedad de organismos marinos para construir sus esqueletos carbonáticos. Algunos, como los corales (a) son organismos bioconstructores capaces de fijar enormes cantidades de carbonato cálcico en la litosfera, es decir en el ciclo de larga duración del carbono. Otros, como las estrellas de mar (b) cuyos exoesqueletos están formados por pequeñas placas de carbonato cálcico que se desarticulan tras la muerte del organismo, participan en la fijación de carbono en forma de sedimentos de grano fino (Fotografías, A. Pardo).

de las grandes masas de agua marina han de familiarizarse con la geoquímica del carbono, los procesos de fraccionamiento biológico y los mecanismos por los que su huella en el registro fósil pueden servir para inferir las condiciones ambientales de los ecosistemas oceánicos del pasado.

FRACCIONAMIENTO DE LOS ISÓTOPOS ESTABLES DEL CARBONO EN LA NATURALEZA

El carbono presenta tres isótopos naturales. Estos son las especies de número atómico 6 y masa atómica 12, 13 y 14, respectivamente. De ellas, el ^{14}C es radiactivo, mientras que las otras dos especies isotópicas, el ^{12}C y el ^{13}C, son estables. En la naturaleza la cantidad de isótopos estables del carbono no es homogénea, siendo más mucho más abundante el ^{12}C (98,89%) que el ^{13}C (1,11%).

En nuestro planeta el carbono se distribuye en cuatro grandes reservorios: la litosfera (*i.e.*, rocas y sedimentos), la hidrosfera (*i.e.*, aguas oceánicas y continentales), la biosfera (subacuática y subaérea) y, finalmente, la atmósfera. La cantidad de carbono y su composición isotópica es, como veremos, muy diferente en cada uno de ellos. Pero, debido al continuo trasvase de carbono entre unos reservorios y otros, la composición isotópica final en cada reservorio dependerá tanto de la composición isotópica original de cada uno como de las tasas de intercambio entre ellos. Así, mientras la tasa de intercambio de carbono entre la biosfera, hidrosfera y atmósfera es muy intensa, el intercambio con la litosfera es mucho más lento.



Figura 2. El análisis isotópico de $\delta^{13}C$ en las conchas de los foraminíferos aporta una gran cantidad de información sobre las condiciones geoquímicas de los océanos en que vivieron. En concreto, los foraminíferos bentónicos proporcionan información sobre los gradientes isotópicos en la vertical, ya que diferentes especies presentan sus nichos ecológicos a diferentes profundidades (Fuente, National Oceanic and Atmospheric Administration).

Pese a ello, de todos estos reservorios el mayor es el geológico. Esto es debido a la enorme cantidad de carbono almacenado en las rocas carbonatadas y carbonosas. Este reservorio presenta, no obstante, una parte móvil que es la que interacciona de forma habitual con el CO_2 atmosférico en los procesos de meteorización y que representa una pequeña fracción del carbono atrapado en los sedimentos. La composición del carbono sedimentario es, en líneas generales, similar en porcentaje a la abundancia relativa de los dos isótopos estables en el planeta, si bien ya veremos que esto no siempre es así. Las rocas y sedimentos carbonatadas que contienen la mayor parte del carbono de este reservorio presentan una composición isotópica media parecida a la del océano. Por el contrario, las rocas ricas en materia orgánica (*e.g.*, petróleos o carbones), que tienen su origen en la biosfera, tienen una composición isotópica media parecida a la de la biosfera.

El segundo gran reservorio de carbono lo constituye la biosfera, es decir, la materia orgánica. La capacidad de polimerización del carbono, debido a su estado de oxidación IV, hace que este átomo sea la base estructural de las moléculas orgánicas. Los organismos fotolitótrofos y quimiolitótrofos extraen el CO_2 del medio ambiente para formar materia orgánica. El carbono de los tejidos de los seres vivos, a diferencia del carbono sedimentario o atmosférico presenta una composición isotópica diferente a la esperable en función de las abundancias relativas de ^{12}C y ^{13}C en la naturaleza. De hecho, la materia viva presenta típicamente una mayor concentración de ^{12}C, debido al proceso de fraccionamiento, es decir, el efecto cinético de la fotosíntesis. Aunque se desconoce la causa última de este mecanismo, lo cierto es que las enzimas discriminan entre las moléculas de CO_2 que contienen ^{12}C y ^{13}C, seleccionando preferentemente las que están constituidas por el isótopo ligero. Por ello, durante el proceso fotosintético el efecto cinético de movilización del CO_2 atmosférico y fijación de los átomos de C en las moléculas orgánicas tiene dos efectos. Por una parte se produce un empobrecimiento de ^{12}C en el CO_2 del medio ambiente externo (*i.e.*, atmosférico o disuelto en el agua del mar), y de forma paralela se produce una concentración preferente de ^{12}C en la materia orgánica sintetizada.

Sin embargo, este proceso de fraccionamiento del carbono no es equivalente en todas las vías fotosintéticas. En las plantas de tipo C_3 (*i.e.*, de ciclo Calvin-Benson) el fraccionamiento se produce en dos momentos. El primero es en el instante de la absorción del CO_2 del medio ambiente exterior al interior de la planta. Este proceso puede suponer un fraccionamiento, en valores de $\delta^{13}C$, del -4‰. Una vez en el interior de la planta, las reacciones metabólicas que transforman el CO_2 interior en ácido fosfoglicérico (R-COOH) producen un nuevo fraccionamiento que puede oscilar entre el -17‰ y el -40‰, aunque los valores más habituales suelen ser de -24‰ a -30‰ (Guerrero y Berlanga, 2000).

Por su parte, las plantas de vía fotosintética C_4 (*i.e.*, de ciclo Hatch-Slack) son menos radicales en su proceso de fraccionamiento del carbono. En estas plantas, el accionamiento principal se produce durante las reacciones metabólicas que transforman el CO_2 interior en ácido dicarboxílico, y los valores del fraccionamiento pueden oscilar entre el -2‰ y el -3‰ y más típicamente entre el -10‰ y el -16‰ (Guerrero y Berlanga, 2000).

En último lugar, las plantas con fotosíntesis CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) son capaces de alternar una fotosíntesis de tipo C_3 durante el día y una de tipo C_4 durante la noche. Por este motivo, el valor de fraccionamiento isotópico es intermedio entre el de las plantas C_3 y C_4 (Black, 1986).

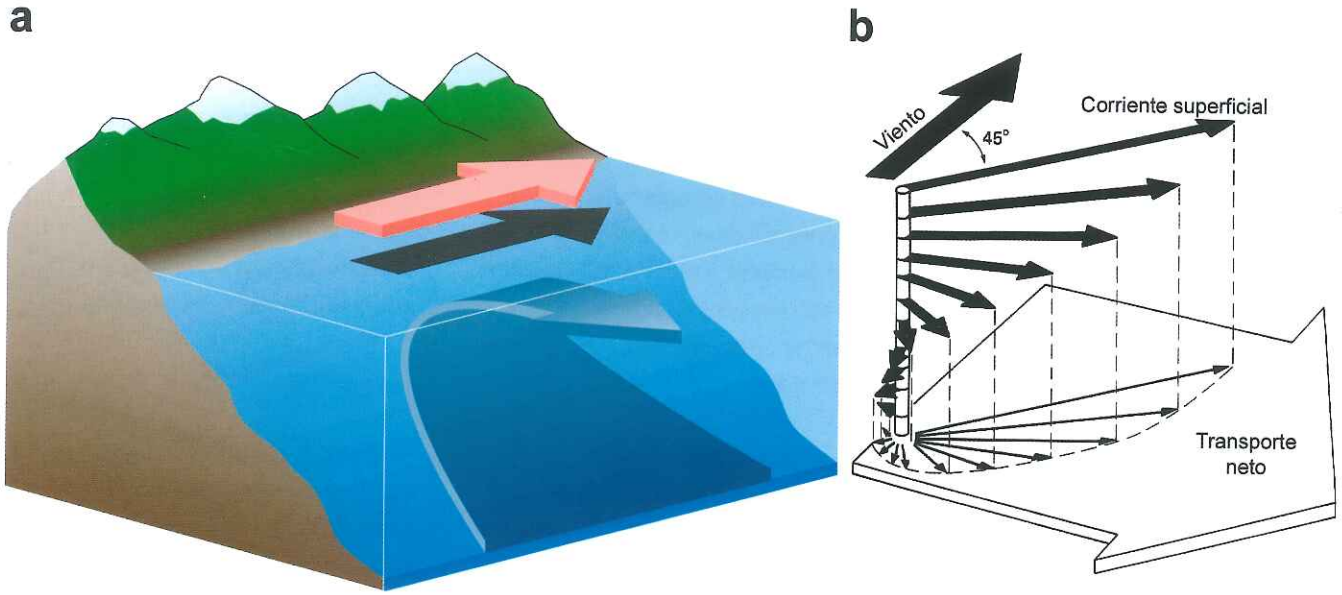


Figura 3. (a) Los afloramientos se producen en las plataformas continentales, en las zonas donde los vientos soplan de forma constante paralela a la costa, dejando el viento la costa a su izquierda, en el hemisferio norte, y a su derecha, en el hemisferio sur. Esto motiva que, de acuerdo a la espiral de Ekman, el agua superficial se desplace alejándose de la costa, por lo que es sustituida en la zona superficial por agua fría y rica en nutrientes que procede del fondo, donde se han ido acumulando en una situación de escasa oxigenación. (b) La espiral de Ekman muestra como se transmite en profundidad la energía que el viento cede por rozamiento a la capa superficial de agua. Cada capa de agua en movimiento sufre, respecto a la superior, una desviación debida al efecto de Coriolis, por lo que el transporte neto termina siendo perpendicular a la dirección del viento (Fuente, Pardo y Cámara, 2004).

El resultado de este proceso de fraccionamiento es que la biosfera presenta una composición isotópica media de -20‰ debido a que todos los organismos fotosintéticos, ya sea el fitoplancton en el océano, o las plantas superiores prefieren utilizar el ^{12}C en la fotosíntesis de sustancias orgánicas.

Sin embargo, el agua del océano contiene carbono con una composición isotópica media de +2‰. Cuando, por cualquier circunstancia, se produce un incremento notorio en el trasvase de carbono desde la hidrosfera (el océano) a la biosfera, por ejemplo, mediante un incremento en la productividad oceánica, el fitoplancton extrae del océano una gran cantidad de carbono ligero (^{12}C) por lo que la composición isotópica media del océano aumenta. Además, la composición isotópica del océano varía de unas regiones a otras en función de las diferentes masas de agua. La composición isotópica de una determinada masa de agua depende de la tasa de intercambio de carbono entre esa masa de agua y otras masas de agua, así como del intercambio con la atmósfera, la biosfera y la litosfera.

Por su parte, la composición isotópica media del carbono contenido en la atmósfera es de un -7‰, un valor intermedio entre el del océano y el de la biosfera, debido a que, en gran medida, el carbono contenido en el aire ha sido generado a través del metabolismo (respiración) y descomposición de la biosfera (oxidación de la materia orgánica muerta).

FUNDAMENTO ANALÍTICO DE LOS ISÓTOPOS ESTABLES DEL CARBONO

Los organismos marinos productores de esqueletos carbonatados extraen el carbono directamente a partir del CO_2 del agua del océano y en equilibrio con él, de tal modo que si el CO_2 del agua tiene una proporción alta de $^{13}C/^{12}C$ también será alta esta proporción isotópica en las conchas de los organismos que viven en ella.

Por este motivo, el análisis de la relación $^{13}C/^{12}C$ en los esqueletos fósiles de estos organismos puede proporcionar información sobre la geoquímica de los océanos en los que vivieron. En consecuencia, las medidas de $^{13}C/^{12}C$ se realizan en estos organismos carbonatados, tanto macroinvertebrados (*e.g.*, corales, bivalvos, equinoideos; *figura 1*) como microinvertebrados (*e.g.*, foraminíferos tanto plantónicos como bentónicos (*figura 2*), u ostrácodos), aunque también se suele medir la composición isotópica del carbono en la materia orgánica preservada en el sedimento (Bignot, 1985). Resulta pues evidente que esta técnica geoquímica no se pueda aplicar en organismos silíceos ya que éstos no presentan carbono en su estructura esquelética.

Asimismo, hay que tener en cuenta el factor metabólico, que puede ser relativamente importante en determinadas especies. El carbono, además de formar parte de la concha, es el elemento básico y más importante de los tejidos orgánicos, y del protoplasma en los organismos unicelulares.

En las reacciones metabólicas de síntesis de los compuestos orgánicos se produce un fraccionamiento isotópico importante del carbono. Una fracción de este carbono puede ser utilizado en la precipitación de cristales de calcita, lo que puede modificar sustancialmente la composición isotópica de la concha. Este efecto metabólico se ha analizado en detalle en muchas especies actuales, pero su extrapolación al registro fósil resulta problemática debido a la carencia de patrones definidos.

Por consiguiente, aparte de la influencia de los factores anteriormente descritos, la composición isotópica de la concha de un organismo marino está condicionada fundamentalmente por la composición isotópica del CO_2 disuelto en el agua del mar. Así pues, para interpretar cualquier registro isotópico del carbono en el pasado, es fundamental conocer los valores medios y las fluctuaciones que se dan en la composición isotópica del agua del océano en la actualidad.

A la hora de enfrentarse a un estudio de isótopos estables del carbono, dos son las cuestiones que deben contestarse en un primer momento: ¿cuál es el método que se sigue para obtener los datos para el análisis?, y ¿cómo se obtienen valores que puedan ser comparados entre sí?

Normalmente se habla de la composición isotópica de una muestra en términos de "valores delta", es decir $\delta^{13}C$, que son, por convención, diferencias normalizadas entre la razón R de los valores del isótopo pesado, ^{13}C, y el ligero, ^{12}C:

$$R_{muestra} = n\ ^{13}C/\ m\ ^{12}C$$

Donde "n" es el número de isótopos de ^{13}C, y "m" el número de isótopos de ^{12}C.

Para que los valores R obtenidos de diferentes muestras puedan ser comparados entre sí, y de paso se eliminen los errores de análisis de los diferentes equipos, todas las muestras analizadas se comparan con un patrón común, que se denomina $R_{standard}$:

$$R_{standard} = n\ ^{13}C/\ m\ ^{12}C$$

Donde "n" es el número de isótopos de ^{13}C, y m el número de isótopos de ^{12}C del patrón. En el caso de los análisis de isótopos estables del carbono, el patrón es el carbonato de un fósil de un belemnites cretácico (*i.e., Belemnitella americana*)

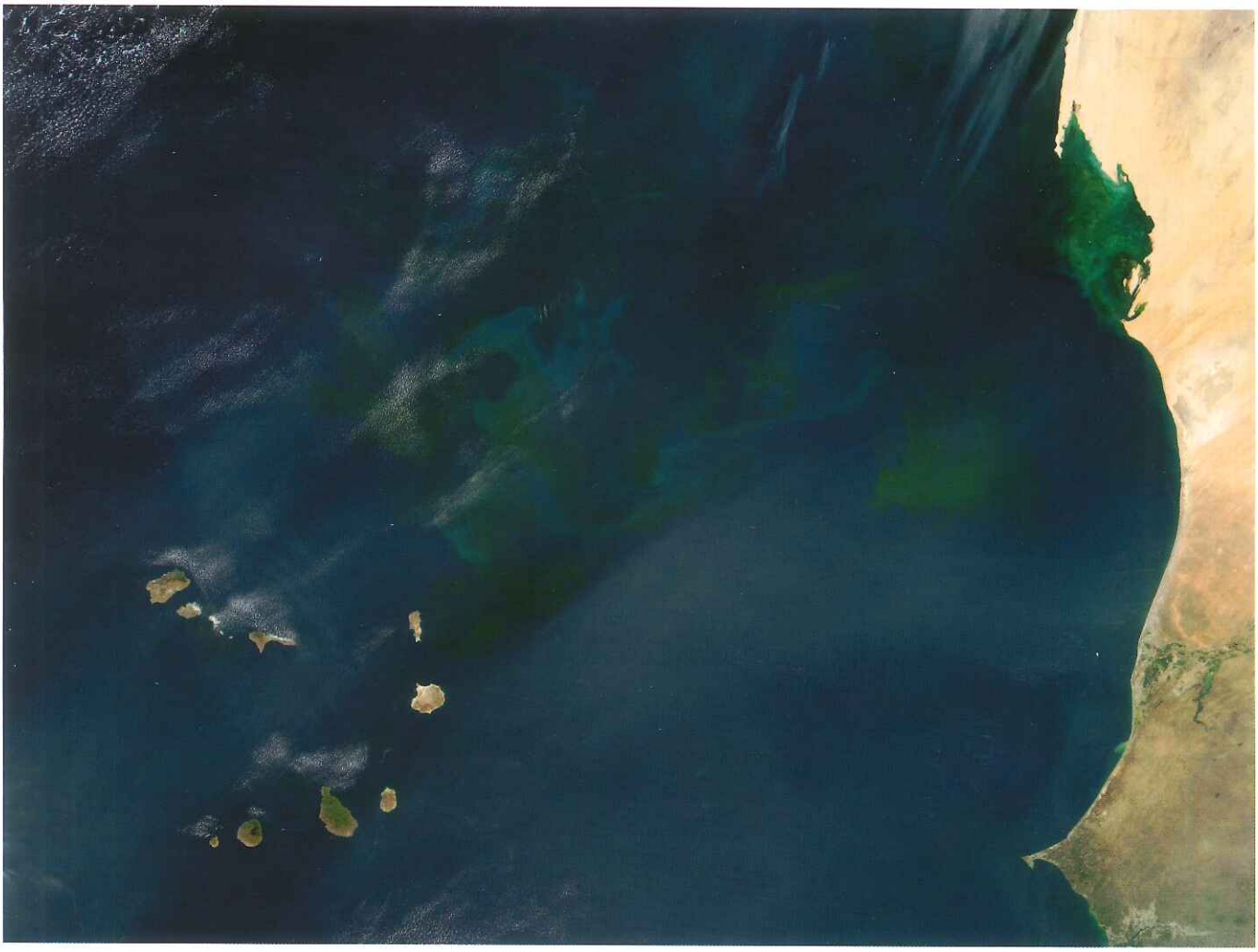


Figura 4. Ortofotografía de la costa occidental de África y el archipiélago de Cabo Verde en la que se puede apreciar la coloración verdosa del agua marina en distintos puntos del océano donde el aporte de nutrientes provenientes de la costa o los afloramientos de aguas profundas han producido explosiones de productividad del fitoplancton (Fuente, European Space Agency).

de la Formación Peedee en Carolina del Sur, EE.UU., conocido como patrón o estándar PDB (Guerrero y Berlanga, 2000).

De esta forma se obtiene el "valor delta" $\delta^{13}C$ de una muestra concreta:

$$\delta^{13}C_{muestra} = (R_{muestra}/ R_{standard} -1) \times 1000$$

El objeto de restar 1 a la fracción $R_{muestra}/ R_{standard}$ es para obtener el valor cero cuando $R_{muestra}$ sea el mismo $R_{standard}$, valores positivos cuando la muestra está enriquecida en ^{13}C con respecto al patrón, y negativos cuando la muestra esta empobrecido en ^{13}C en relación al estándar PDB (Kennett, *1982*).

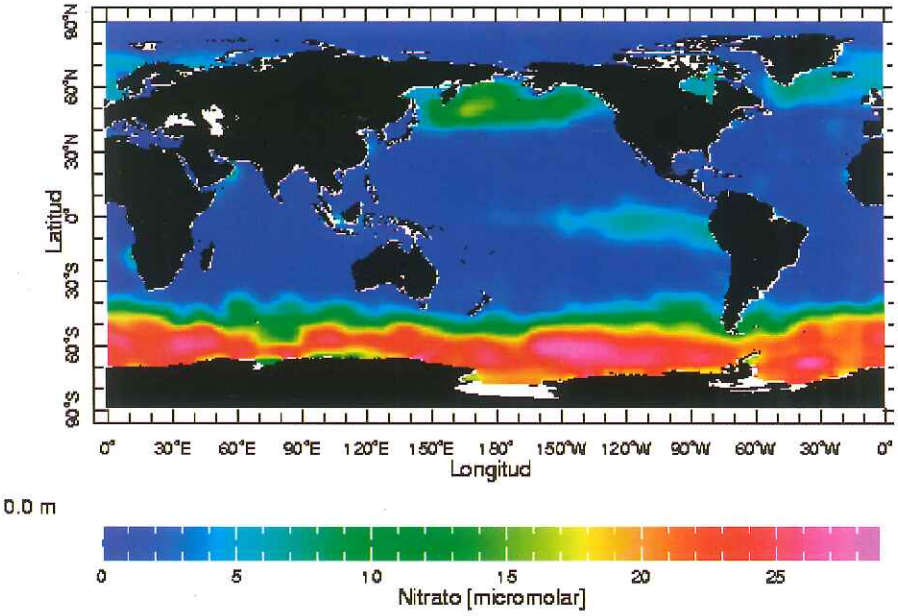


Figura 5. En el Océano Antártico, a pesar la presencia de abundantes nutrientes en el agua superficial, no presenta un crecimiento amplificado del fitoplancton. Se trata de una zona HNLC (High Nutrient, Low Chlorophyll), esto es, que su alta concentración de nutrientes que no se ve correspondida por una alta productividad de fitoplancton. Esto es debido a la escasez de Fe, un micronutriente proveniente de las masas continentales poco abundante en la región antártica y que es imprescindible para la síntesis de la clorofila y, por tanto, para la productividad del fitoplancton (Fuente, National Oceanic and Atmospheric Administration).

PRODUCTIVIDAD OCEÁNICA E ISÓTOPOS ESTABLES DEL CARBONO

La productividad primaria de una comunidad es la tasa con que la biomasa es producida por unidad de superficie por parte de los organismos autótrofos (*e.g.*, plantas, cianobacterias), que son los productores primarios de los ecosistemas. Se trata de una medida de la producción de materia orgánica a partir de componentes inorgánicos que realizan organismos fotosintéticos. La productividad puede expresarse tanto en unidades de energía ($J \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$) o de materia orgánica seca (*e.g.*, $kg \cdot m^{-2} \cdot año^{-1}$). Los factores que más frecuentemente limitan la productividad primaria de los ambientes acuáticos son la disponibilidad de nutrientes, la luz y la intensidad del consumo (Begon *et al.*, 1999).

Los nutrientes, es decir, todas aquellas sustancias que requiere un organismo para desarrollar y mantener su actividad metabólica, son empleados para la síntesis de compuestos que permiten construcción de tejidos y otras partes estructurales, así como el almacenamiento y gestión de la energía. Los nutrientes que a menudo resultan limitantes en los ambientes marinos son el N (en forma de nitratos), el P (en forma de fosfatos) y el Fe. De esta forma, las comunidades acuáticas productivas se presentan allí donde las concentraciones de nutrientes sean inusualmente altas (Smith y Smith, 2001).

El fitoplancton incrementa su tasa reproductiva como respuesta a la llegada de nutrientes a la zona fótica.
La productividad media del fitoplancton marino es del orden de 100 g de C x m^{-2}x $año^{-1}$. Así, en los ambientes marinos, las zonas de elevada productividad primaria están asociadas a aportes de nutrientes desde dos fuentes netamente diferenciadas, la plataforma interna por influencia continental, y las zonas de afloramiento de aguas profundas oceánicas, usualmente denominadas en la literatura especializada como zonas de *upwelling* (Begon *et al.*, 1999).

En el primer caso, los nutrientes pueden fluir de forma continua hacía la plataforma costera procedente del continente, generalmente desde los estuarios.
Así, la productividad suele ser muy alta en la zona de plataforma interna, debido a la alta concentración de nutrientes por una parte, y a la relativa transparencia de las aguas que permite una grado positivo de fotosíntesis en la zona fótica. Sin embargo, en zonas más próximas a tierra, a pesar de que la concentración de nutrientes es mucho mayor, la turbidez del agua hace que la productividad neta sea menor (Begon *et al.*, 1999).

Los afloramientos de los océanos constituyen la segunda fuente principal de concentraciones altas de nutrientes (*figuras 3 y 4*). Estos afloramientos se producen en las plataformas continentales, en las zonas donde los vientos soplan de forma constante paralela o subparalelamente a la costa, dejando el viento la costa a su izquierda en el hemisferio norte y a su derecha en el hemisferio sur (Medina, 1974). Esto motiva que el agua superficial se desplace alejándose de la costa, por lo que es sustituida en la zona superficial por agua fría y rica en nutrientes que procede del fondo, donde dichos nutrientes se han ido acumulando en una situación de escasa oxigenación (*figura 3*).

Estos afloramientos también se pueden producir junto a las cordilleras submarinas o en zonas de corrientes muy intensas (*figura 4*).
Las aguas profundas e intermedias que ascienden por upwelling suelen tener,

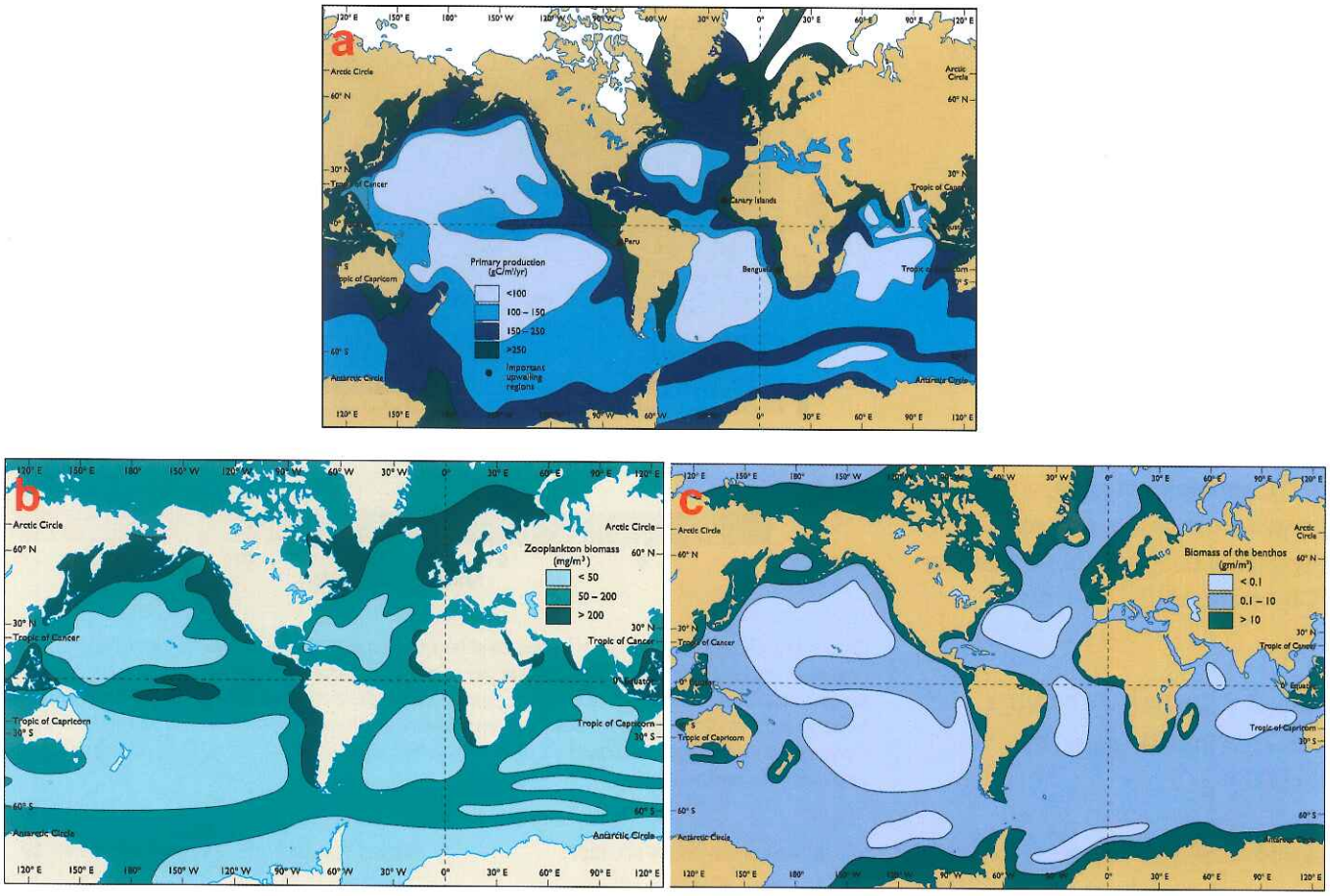


Figura 6. La productividad varía enormemente de unas zonas a otras de los océanos. Las zonas de afloramiento, y aquellas zonas relativamente someras donde la abundancia de nutrientes y hierro coincide con una buena oxigenación de las aguas son las que presentan la máxima productividad fitoplanctónica (A) La productividad zooplanctónica depende en gran medida de la abundancia del fitoplancton, su fuente de alimento (B). Mientras que el principal factor limitante de la productividad bentónica es la profundidad (C). Por ello, los grandes espacios del océano abierto son auténticos desiertos (modificado de Garrison, 1996, y Thruman y Burton, 2001)

además de nutrientes, una concentración elevada en ^{12}C. Si no existe otro tipo de limitación, el fitoplancton normalmente consume todos los nutrientes y al mismo tiempo reduce en una proporción semejante el ^{12}C del agua, provocando un incremento notable en los valores isotópicos $\delta^{13}C$ del agua superficial.

Ese valor isotópico del agua superficial viene determinado por la tasa de aporte de ^{12}C hacia la superficie y por la tasa de consumo por el fitoplancton. Por lo tanto, si la tasa de utilización de los nutrientes es alta, es decir, el fitoplancton responde hasta agotar los nutrientes en el agua superficial, los valores de $\delta^{13}C$ en el agua superficial serán altos, y estos valores quedarán registrados en la concha de los foraminíferos planctónicos que vivan en esa zona. Por el contrario, si la tasa de utilización de los nutrientes es moderada o baja, los valores de $\delta^{13}C$ en el agua superficial se mantendrán bajos (Seibold y Berger, 1996).

Existen en la actualidad importantes regiones oceánicas, como el Océano Antártico, donde la presencia de nutrientes en el agua superficial no da lugar a un crecimiento amplificado del fitoplancton (*figura 5*). Son zonas que se denominan en la literatura anglosajona como HNLC (*High Nutrient, Low Chlorophyll*), es decir que presentan una alta concentración de nutrientes que no se ve correspondida por una alta concentración de fitoplancton, como se deduce por la baja concentración de clorofila. Este indicador está directamente relacionado con la tasa de utilización de los nutrientes e indirectamente con la productividad, y tiene importantes aplicaciones en paleoceanografía y en las investigaciones sobre el bombeo biológico y el CO_2 (Seibold y Berger, 1996).

El Océano Antártico es una de las zonas sumidero de CO_2 más importantes de todo el océano, produciendo el agua antártica de fondo o AABW (*Antarctic Bottom Water*) que rellena las capas más profundas de prácticamente todas las cuencas oceánicas (Kennett, 1982 y Seibold y Berger, 1996). En este área el CO_2 es bombeado por los procesos biológicos desde la superficie al fondo del océano. Ahora bien, el bombeo biológico está limitado por la productividad superficial y por la capacidad de respuesta del fitoplancton al aporte de nutrientes en el upwelling antártico. Actualmente esta respuesta está limitada por la escasez de Fe, un micronutriente poco abundante en la región antártica.

El hierro es un elemento fundamental para la síntesis de la clorofila, necesaria a su vez para la fotosíntesis. Por ello, el fitoplancton tenderá a desarrollarse en aquellas zonas del mar donde abunde el hierro (*figura 6*). El hierro, en forma de óxidos, proviene fundamentalmente del polvo arrastrado por el viento desde los continentes, por lo que su

concentración será mayor en lugares cercanos a la costa (Seibold y Berger, 1996; *figura 6*). Ese es el motivo por el que en los vastos espacios del Océano Pacífico, por citar un ejemplo, la cantidad media de fitoplancton es mínima. De hecho, esas amplísimas zonas son auténticos desiertos, y la vida en ellos es en general muy escasa.

El hierro, o mejor dicho, la ausencia de hierro explica por qué en el Océano Antártico hay mucha menos productividad de fitoplancton, en comparación con el Océano Ártico (*figura 6*). No olvidemos que la Antártida se encuentra cubierta por un espeso manto de hielo, por lo que el hierro se encuentra enterrado e inaccesible. La consecuencia de la escasez de Fe es que el bombeo biológico será reducido y el bajo gradiente entre la tensión de CO_2 del océano y la presión parcial de CO_2 de la atmósfera reduce la capacidad de trasvase de CO_2 desde ésta al agua marina. Al analizar la composición isotópica de la concha de los foraminíferos que viven en esa zona nos encontraremos con valores $\delta^{13}C$ bajos comparados con los de otras regiones.

Por el contrario, se piensa que una de las posibles causas de descenso del CO_2 atmosférico durante el último máximo glacial se debe al incremento en la acción del sumidero antártico, debido a una mayor tasa de utilización de los nutrientes probablemente debida a un mayor aporte de Fe al Océano Antártico. Esta mayor tasa de utilización de los nutrientes, implica una mayor productividad, mayor bombeo biológico y como consecuencia una mayor tasa de secuestro de CO_2 y mayor bombeo de ^{12}C hacia el fondo. El agua superficial y la concha de los foraminíferos planctónicos allí existentes deberán recoger unos valores $\delta^{13}C$ más altos. Además este trasvase de carbono ligero desde la superficie hacia el fondo debe traducirse necesariamente en un mayor gradiente entre el agua superficial y el agua de fondo que deberá reflejarse en un mayor gradiente isotópico en la concha de los foraminíferos planctónicos que viven en la superficie y los foraminíferos bentónicos que recogen las condiciones químicas del agua de fondo (Seibold y Berger, 1996; Lipps, 1993).



Figura 7. Tanto para los estudios taxonómicos, como para los análisis cuantitativos de las asociaciones de foraminíferos, así como para los análisis isotópicos, los ejemplares deben ser seleccionados y separados uno a uno con la ayuda de una lupa binocular y un pincel ligeramente humedecido. Se trata de una labor meticulosa de la que depende el buen resultado y calidad de los análisis (Fotografía, A. Pardo).

VARIACIONES REGIONALES EN LOS VALORES DE $\delta^{13}C$

Los estudios paleoceanográficos tratan, entre otros aspectos, de desvelar los patrones de la circulación oceánica del pasado. Y aquí el análisis de $\delta^{13}C$ se muestra también como una herramienta potencialmente muy eficaz (*figura 7*). Esto es debido a que además del gradiente isotópico vertical, existen también importantes diferencias en la composición isotópica del agua entre las masas de agua de distintas cuencas y, por supuesto, entre los diferentes océanos (Kennett, 1982).

La composición isotópica de una región del océano o en una cuenca puede aumentar o disminuir dependiendo de los procesos biológicos o físico-químicos que se den en ese subreservorio del océano (Seibold y Berger, 1996). Examinemos el caso de una cuenca con una comunicación restringida con el mar abierto. El agua superficial entra en la cuenca y por tanto lleva la composición isotópica del agua superficial del mar abierto. En la cuenca, dependiendo de la disponibilidad de nutrientes, habrá mayor o menor actividad del fitoplancton y por tanto del bombeo biológico. Si el bombeo biológico es grande se producirá un descenso importante en los valores $\delta^{13}C$ del agua profunda de la cuenca. Si esa masa de agua permanece durante poco tiempo en la cuenca y sale hacia el mar abierto, el empobrecimiento en ^{13}C será reducido. Sin embargo, si el agua permanece en la cuenca durante mucho tiempo, entonces el empobrecimiento isotópico será muy acusado y la composición isotópica de ese agua profunda será muy distinta a la del agua del mar abierto a su misma profundidad. Por tanto, la composición isotópica del agua profunda en una cuenca se modificará tanto más cuanto más intenso sea el flujo de ^{12}C hacia el fondo y cuanto mayor sea el tiempo de residencia del agua profunda en el interior de la cuenca.

La situación suele ser similar en ambientes costeros. En la medida en que esté bien comunicada con el mar abierto el agua se renueva rápidamente desde el océano, recibe aguas superficiales de mar abierto que en condiciones normales contienen valores altos de isótopos de carbono que salen en poco tiempo hacia el océano. El agua no tiene tiempo de modificarse isotópicamente. Sin embargo, cuando la comunicación con el mar abierto es escasa, aumenta el crecimiento del fitoplancton, así como el aporte de restos orgánicos transportados por los ríos durante las grandes avenidas. Al descomponerse toda esta gran cantidad de biomasa vegetal libera CO_2 rico en el isótopo ligero, lo que supone una entrada muy fuerte de ^{12}C al agua. Debido al lento intercambio, el agua permanece mucho tiempo en la cuenca, durante el cual se va enriqueciendo en carbono ligero, por lo que el empobrecimiento de ^{13}C es muy acusado.

LOS PATRONES DE LA CIRCULACIÓN PROFUNDA DESVELADOS

El océano se puede subdividir en dos subreservorios, el océano superficial que contiene muy poco carbono y tiene valores isotópicos de $\delta^{13}C$ altos, y el reservorio profundo, por debajo de los 200 m, que contiene mucho más carbono y cuyos valores $\delta^{13}C$ son bajos. Esto se debe al hundimiento preferente de ^{12}C durante el bombeo biológico, que produce un incremento de ^{13}C en superficie y un ascenso de ^{12}C en profundidad (Seibold y Berger, 1996).

El agua profunda se forma en zonas del océano donde se producen hundimientos desde la superficie debido al fuerte incremento de la densidad de agua superficial. Aunque a lo largo de la historia del planeta ha habido diferentes mecanismos, en la actualidad este aumento de densidad se produce por una disminución de la temperatura del agua marina superficial en las zonas boreales y circumpolares, por lo que es en esas zonas geográficas donde se localizan los grandes sumideros oceánicos.

En las zonas próximas a los sumideros, el agua profunda, joven por estar recién llegada desde la superficie, tiene una composición isotópica similar a la del agua superficial, por lo que presenta sus mismos altos valores de $\delta^{13}C$. Sin embargo esas masas de agua a medida que circulan por el fondo del océano y pasan tiempo en profundidad van recibiendo, por bombeo biológico desde la superficie, ^{12}C procedente de la oxidación de los restos orgánicos, de forma que los valores $\delta^{13}C$ van descendiendo. Es el caso del agua profunda del mar de Noruega, una de esas zonas de hundimiento donde actualmente se forma las aguas profundas del Atlántico Norte (*North Atlantic Deep Water,* NADW) (Kennett, 1982; Seibold y Berger, 1996). Esta masa de agua es un agua joven que está próxima a su área de formación y tiene una composición isotópica próxima al agua superficial. Debido a la circulación termohalina actual, el agua profunda que se hunde en el mar de Noruega tiene una composición $\delta^{13}C$ alta, por proceder de la superficie. A medida que recorre los océanos en profundidad hacia el sur los valores de $\delta^{13}C$ van descendiendo, pues con el transcurso del tiempo va recibiendo detritus orgánicos de la superficie que al oxidarse liberan CO_2 rico en ^{12}C.

De esta forma, los isótopos de carbono medidos en foraminíferos bentónicos abisales se utilizan para estudiar los patrones de circulación de las masas de agua profunda (*Kennett, 1982; Lipps, 1993*). El descenso isotópico no es proporcional al tiempo de residencia que ese agua profunda ha pasado en el fondo. Así, en el caso de que la corriente profunda circule bajo zonas de alta productividad, puede recibir en el mismo tiempo un mayor flujo de compuestos orgánicos y por tanto de ^{12}C, lo que acelerará el descenso isotópico del $\delta^{13}C$. □

El autor agradece a la Prof. Gerta Keller, a la Dra. Sigal Abramovich, y al Dept. of Geosciences de Princeton University la ayuda prestada para la elaboración de este artículo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEGON, M., HARPER, J. L. y TOWNSEND, C.R. (1999). Ecología. Ediciones Omega, Barcelona, 1148 pp.
- BIGNOT, C. (1985). Elements of micropaleontology. Graham & Trotman. Londres. 217 pp.
- BLACK, C.C. (1986). Effects of CO^2 Concentration on Photosynthesis and Respiration of C4 and CAM Plants. En: Enoch, H.Z. y Kimball, B.A. (Eds.). Carbon Dioxide Enrichment of Greenhouse Crops. Volume II. Physiology, Yield, and Economics. CRC Press, Inc. Boca Raton, Fla. USA. pp. 29-40.
- GARRISON, T. (1996). Oceanography. Wadsworth. Belmont. 567 pp.
- GUERRERO, R. y BERLANGA, M. (2000). Isótopos estables: fundamentos y aplicaciones. Actualidad SEM 30:17-23.
- KENNETT, J. P. (1982). Marine geology. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, Nueva Jersey. 813 pp.
- LIPPS, J. H., (Ed.) (1993). Fossil Procaryotes and Protists. Blackwell Scientific Publications, Boston, MA, 342 pp.
- MEDINA, M. (1974). La mar y el tiempo. Editorial Juventud, Barcelona, 189 pp.
- PARDO, A. y CAMARA, N. (2004). Mareas rojas, la rebelión del plancton. Inmersión, nº 49, pp.54-60.
- SMITH, R. L. y SMITH, T. M. (2001). Ecología, 4ª Ed. (1ª Ed. en castellano), Addison Wesley, Madrid, 642 pp.
- SEIBOLD, E. y BERGER, W.H. (1996). The Sea Floor. 3ª Ed, Springer, Berlin. 356 pp.
- THURMAN; H. V. y BURTON, E .A. (2001). Introduction to oceanography. Prentice Hall, Upper Saddle River, 554 pp.

La biblioteca del IGME y sus colecciones

En este artículo se presenta una visión general de la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, con detalle de su origen y desarrollo histórico, así como de sus funciones y objetivos. Se suministra información acerca de los distintos tipos de documentos que forman sus colecciones: monografías, publicaciones periódicas y cartografías. Se analizan los contenidos de la recientemente implementada página web de la Biblioteca con sus diferentes secciones y se avanza una perspectiva del futuro de la Biblioteca

Margarita Gutiérrez Gárate
Licenciada en CC. Geológicas. IGME
Responsable de la Biblioteca

ORIGEN, SITUACIÓN LEGAL Y UBICACIÓN

La biblioteca es un servicio institucional perteneciente al Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Organismo Público de Investigación que, con carácter de Organismo Autónomo, está adscrito al Ministerio de Educación y Ciencia, a través de la Secretaria de Estado de Universidades e Investigación.

Su sede se encuentra situada en Madrid, en la calle Ríos Rosas, 23 en la segunda planta de un edificio de estilo ecléctico, bastante habitual a primeros del siglo XX (*figura 1*). Este edificio fue construido por el arquitecto Francisco Javier de Luque y López e inaugurado en 1926 por el rey Alfonso XIII, con motivo de la celebración del XIV Congreso Internacional de Geología.



Figura 1. Sede Central del Instituto Geológico y Minero de España. Calle Ríos Rosas, 23. Madrid.

En su sala de reuniones se encuentra ubicado actualmente el Museo Geominero. Anteriormente, el Instituto estuvo alojado en la calle Florín número 2, muy cerca de las Cortes Generales.

CONSTITUCIÓN DE LA BIBLIOTECA DEL IGME Y RESUMEN HISTÓRICO

La biblioteca del IGME nace, junto con la Institución, merced al Real Decreto de 12 de Julio de 1849 de creación de la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, a propuesta del Ministro Juan Bravo Murillo. La Reina Isabel II, mediante este Real Decreto, crea la Comisión con objeto de facilitar el conocimiento del suelo y subsuelo, investigación de los recursos minerales y el alumbramiento de las aguas subterráneas.

En 1850, la Comisión cambia de nombre, pasando a llamarse Comisión del Mapa Geológico de España. A partir de este momento y con la publicación de la primera Memoria Anual de la Comisión, comienzan las publicaciones generadas por el IGME.

En 1859, la Comisión es integrada dentro de la Junta General de Estadística como Brigada Geológica. En 1868, se suprimen las

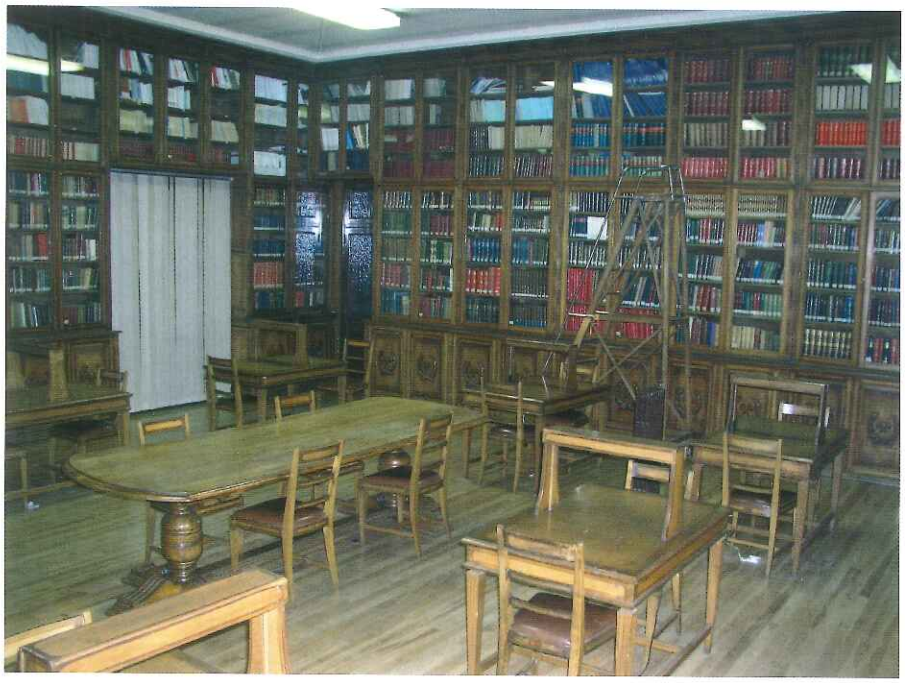


Figura 2. Sala de lectura de la Biblioteca del IGME.

Brigadas Geológicas de la Junta General de Estadística, quedando la Comisión en vías de desaparición.

En 1870, un nuevo Real Decreto, de fecha 28 de abril, potencia y da auge a la Comisión del Mapa Geológico. Unos años más tarde, en 1873, se procede a la reorganización de la Comisión del Mapa Geológico, por Real Decreto de 28 de marzo, creándose en 1874 el *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España* bajo la dirección de D. Manuel Fernández de Castro, con una tirada de 1.000 ejemplares y que continua publicándose en la actualidad.

En 1910, se da paso a una nueva reorganización de la Comisión (Real Decreto de 28 de junio), pasando a llamarse Instituto Geológico de España. En 1927, se cambia de nuevo el nombre llamándose Instituto Geológico y Minero de España (Real Decreto de 7 de enero). En 1928, comienza la publicación de la revista *Notas y Comunicaciones* del IGME, que se mantendrá hasta el año 1965.



Figura 3. Fondo antiguo de la Biblioteca custodiado en un depósito ignífugo.

En 1988, por Real Decreto de 28 de octubre, el Instituto pasa a denominarse Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Finalmente, en 2000, y mediante el Real Decreto de 1 de diciembre, vuelve a su antiguo nombre de Instituto Geológico y Minero de España, tal como se definió en 1927.

Durante todos estos 156 años y en el desempeño de su labor, el IGME ha ido generando una gran cantidad de publicaciones, al tiempo que ha necesitado conocer, consultar y utilizar otras muchas publicaciones adquiridas mediante compra o intercambio con otras instituciones similares de otros países. Toda esta documentación ha ido configurando el fondo documental del IGME, que se custodia en su biblioteca. Hay que señalar también que la Biblioteca hace el papel de depósito legal de las publicaciones editadas por el Instituto a lo largo de su historia.

FUNCIONES DE LA BIBLIOTECA DEL IGME

Actualmente, la biblioteca del IGME cumple dos funciones principales:

- Como *biblioteca histórica* contiene el más importante fondo histórico de España en el campo de las Ciencias de la Tierra, siendo una muy valiosa fuente de documentos primarios para la investigación en los campos de minería histórica, geología, aguas subterráneas y aguas minerales, entre otros. Es ampliamente consultada en este aspecto por investigadores estudiosos de temas históricos tanto en el campo de Minería y Geología como en el de la Sociología de la Industria Minera del siglo XIX.
- Como *biblioteca especializada* de un Organismo Publico de Investigación

da servicio a las necesidades de información del propio centro, así como a sectores de la sociedad en sus muy diversas demandas de información geológica, en particular, investigadores de otros centros, profesores, doctorandos, técnicos de empresas, estudiantes universitarios, etc. (*figura 2*). Para ello es necesario mantener un fondo documental actualizado y vivo con unas muy buenas colecciones de revistas científicas y otras publicaciones tanto españolas como extranjeras dentro de este ámbito de conocimiento.



Figura 4. Grabado perteneciente a la obra "De re metallica" de G. Agrícola de 1556.

COLECCIONES DEL FONDO DOCUMENTAL

El fondo documental está constituido por tres tipos de documentación:

Monografías

La biblioteca cuenta con más de 35.000 títulos de obras monográficas constituidas por libros, tesis, congresos, memorias, encontrándose entre ellas ejemplares de gran valor patrimonial e histórico.

Conserva un *fondo antiguo* (*figura 3*), anterior al año 1800, compuesto por 5 ejemplares del siglo XVI, 6 ejemplares del siglo XVII y unos 120 del siglo XVIII. Entre estas obras podemos destacar algunas tan emblemáticas como las dos ediciones de " De re metallica", una en alemán, de 1563, y otra en latín, de 1556, (*figura 4*) la "Historia natural de Cayo Plinio Segundo", traducida por Geronimo de Huerta, de 1624, "El espejo cristalino de las aguas de España" de Limón Montero, de 1697, y otras muchas. Hay que hacer mención a un importante archivo de documentos manuscritos que contienen la correspondencia de Francisco Angulo y Gaspar Melchor de Jovellanos, sobre expedientes de contratos mineros, concesiones de minas de carbón y sobre la creación de la Dirección General de Minas, fechados entre 1678 y 1828.

En lo que se refiere a ediciones del siglo XIX, la biblioteca del IGME cuenta con un fondo de unos 3.500 documentos, entre los que destacan los primeros trabajos sobre la geología de España realizados por el IGME y por otros estudiosos de la geología y minería.

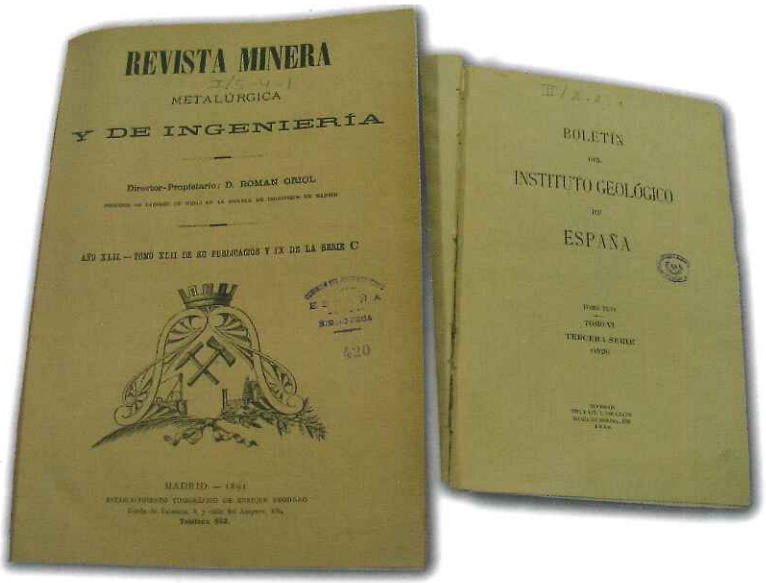


Figura 5. Colección del Boletín Geologico Minero y de la Revista Minera.

El resto de la documentación, más de 32.000 títulos, corresponden al siglo XX y recogen información de investigaciones geológicas, geofísicas, mineras e hidrogeológicas actuales.

Publicaciones periódicas

El fondo de publicaciones periódicas está constituido por más de 2.750 títulos pertenecientes a diferentes países, obtenidas en buena parte mediante el intercambio bibliotecario con instituciones similares de todo el mundo.

Dentro de estas colecciones hay títulos de gran valor para la investigación histórica en el campo de las Ciencias de la Tierra, conservándose en muchos casos la serie completa.

En lo que se refiere a publicaciones españolas editadas por el IGME se puede destacar:

- *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico*, desde 1874 hasta 1910, denominado después *Boletín del Instituto Geológico de España* hasta 1927, *Boletín Geológico y Minero de España* hasta 1967, y actualmente *Boletín Geológico Minero*, donde se publican buena parte de los trabajos desarrollados por el IGME a lo largo de su historia (*figura 5*).

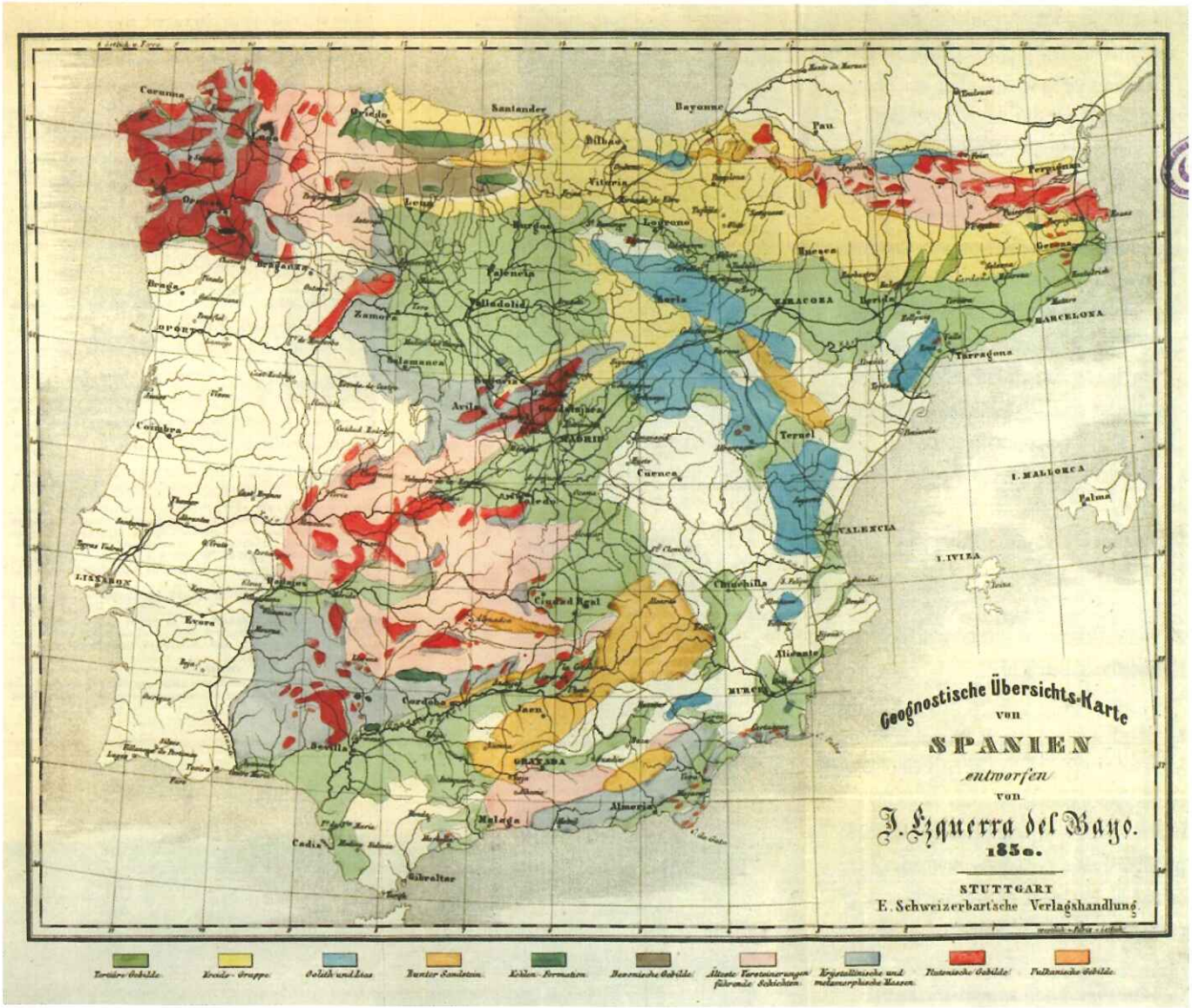


Figura 6. Primer mapa geológico de España realizado por J. Ezquerra del Bayo en 1850.

- Colección *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico*, desde 1873 hasta 2001, que contiene las explicaciones de los primeros mapas geológicos provinciales así como otros temas sobre la geología de España.
- *Notas y Comunicaciones* del Instituto Geológico y Minero de España, desde 1928 hasta 1967.

También, en lo que respecta a publicaciones nacionales de las que se dispone de importantes colecciones, se pueden reseñar:

- La *Revista Minera*, al principio Anales de Minas, desde 1838 a 1846, después Revista Minera, desde 1848 a 1882, y finalmente Revista Minera y Metalúrgica, desde 1883 hasta 1970, contiene información muy detallada de las noticias mineras de ese tiempo, desde concesiones mineras, producciones mineras hasta accidentes mineros y defunciones de hombres importantes de la minería española.
- *Estadística Minera de España*, desde 1856, y que actualmente sigue publicándose con información sobre datos de producción, importación, exportación, nuevas concesiones, empresas relativas al campo de los recursos minerales de España.
- *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, desde 1903 hasta 1935.
- Colección Legislativa de Minas, desde 1856 hasta 1963.
- *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, desde 1892 hasta hoy.
- *Memorias de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*, desde 1850 hasta 1973.

De otros países también se conservan importantes colecciones, como son:

- *Bulletin de la Societé Géologique de France*, desde 1830 hasta la actualidad.
- *Mémoires pour servir a l'explication de la Carte Géologique de France*, desde 1879 hasta 1968.
- *Bulletin de la Societé Belge de Géologie, Paleontologie et Hydrogéologie*, desde 1867 hasta 1986.
- *Bolletino del Servizio Geológico de l'Italia*, desde 1870 hasta 1997.
- *Memorie per servire alla descripzione della carta Geologica d'Italia*, de 1871 a 1975.

- *Proceedings of the Geological Society of London*, desde 1826 hasta 1971.
- *The Mining Magazine*, desde 1923 hasta la actualidad.

Por su relevancia en el contexto de la investigación moderna, se puede resaltar que la Biblioteca del IGME es uno de los pocos centros de España que dispone de la colección completa de la revista *Nature*, desde su primer número publicado en 1869.

Como es lógico, el fondo de publicaciones periódicas también se mantiene actualizado, siendo las revistas científicas actuales el principal vehículo de difusión de la investigación e incluso de evaluación de la actividad científica de los países.

Además de los más de 400 títulos de revistas actuales que se reciben por intercambio bibliotecario, la biblioteca tiene suscripción de compra de casi 100 títulos de las revistas más importantes del mundo en el campo de Ciencias de la Tierra, con lo que mantiene su fondo de publicaciones periódicas muy aceptablemente actualizado.



Figura 7. Sección de la Web de la Biblioteca para la consulta a los Catálogos en línea.

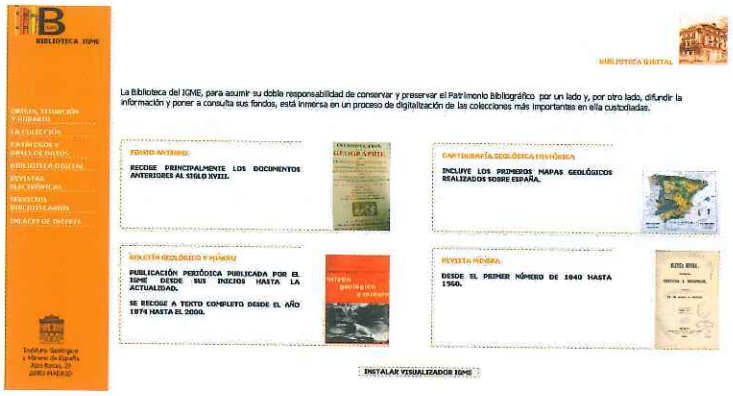


Figura 8. Sección de la Web de la Biblioteca para la consulta a la Biblioteca Digital.

Cartografías geológicas y otros mapas

Dentro de los fondos documentales y formando parte del patrimonio histórico del IGME se conserva su colección de mapas. Estos mapas son fundamentalmente geológicos pero también se conservan de otros tipos, tales como cartas náuticas, mapas geográficos, planos de minas, mapas de recursos mineros, tectónicos, hidrogeológicos.

Todo este fondo se encuentra en proceso de organización, catalogación e informatización. Actualmente ya se pueden consultar en línea más de 10.000 mapas desde el Catálogo de mapas CARTO. La colección está compuesta por:

- Fondo antiguo, anterior al año 1900, formado por los primeros mapas y bosquejos geológicos realizados en España (figura 6). Corresponde en muchos casos a los ejemplares originales y a manuscritos de gran valor histórico, realizados por nombres tan importantes en la geología española como Ezquerra del Bayo, Casiano de Prado, Guillermo Schulz, Lucas Mallada y otros muchos. También hay cartografía realizada por el IGME en las posesiones españolas de ultramar, con mapas de la Isla de Cuba, Filipinas, Luzón y Norte de África.
- El fondo moderno de cartografía está constituido por las series cartográficas geológicas españolas en sus diferentes escalas, desde mapas a escala 1:1.000.000 a la cartografía de la serie MAGNA, escala 1:50.000, compuesta por 1.115 hojas geológicas que cubren todo el territorio español. También se encuentra el resto de cartografías generadas por el IGME a escala 1:200.000 correspondientes a los mapas hidrogeológicos, geotécnicos, de rocas industriales y recursos minerales, constituidos por series de 190 hojas cada uno.

Como en el resto de la documentación, la biblioteca también alberga colecciones de mapas geológicos tanto unitarios como series de distintas escalas de otros países del mundo, obtenidas mediante intercambio bibliotecario y en muchos casos de notable antigüedad. La Cartoteca guarda también una colección de 470 cartas náuticas, editadas desde 1786.

Con los fondos documentales descritos anteriormente se cubre un amplio espectro de campos temáticos dentro de las Ciencias de la Tierra:

- Temas geológicos y mineros, como estudios estratigráficos, tectónicos, geomorfológicos, recursos minerales, yacimientos, canteras, explotación de minas.
- Temas hidrogeológicos, con documentación sobre las aguas subterráneas, acuíferos, su explotación y recarga, contaminación, así como relativos a las aguas minerales, manantiales y balnearios.

- Temas medioambientales, como son recuperación y restauración de escombreras, graveras, canteras, contaminación del medio ambiente, ecología, restauración de ríos y riberas, contaminación de suelos, desagües de minas, balsas.
- Temas paleontológicos, referidos a estudio de fósiles, evolución de especies, dataciones bioestratigráficas, catálogos de fósiles.
- Temas mineralógicos, con estudios sobre minerales, propiedades físicas y cristalográficas, catálogos de minerales, manuales.
- Temas de riesgos geológicos, tanto de documentación histórica sobre terremotos y volcanes, como estudios actuales sobre identificación, predicción, prevención de riesgos naturales y cambio climático.

WEB DE LA BIBLIOTECA

http://www.igme.es/internet/sistemas_infor/biblioteca/inicioc.htm

Recientemente, en marzo del presente año, se ha implementado dentro de la página principal del Instituto Geológico y Minero de España, *www.igme.es* , una página propia de la Biblioteca, donde se puede acceder a los Catálogos en línea (*figura 7*).

El Catálogo de Monografías de la Biblioteca (Base de datos BIBLIO) contiene la información de las referencias bibliográficas de la colección de monografías, con posibilidad de búsqueda por título de la publicación, autor, editor, fecha de publicación y descriptores. Contiene más de 64.000 registros con referencias de libros, congresos, memorias, tesis doctorales, informes y otros documentos monográficos custodiados en la Biblioteca.

El Catálogo de Publicaciones Periódicas (Base de datos GLAS) contiene la información sobre las revistas científicas custodiadas en la Biblioteca. Se puede hacer búsquedas por título, materia e ISSN y se obtiene una descripción de la publicación y los números existentes disponibles para consulta.

El Catalogo de Cartografía (Base de datos CARTO) contiene las referencias bibliográficas de mas de 10.000 mapas custodiados en la Biblioteca. Las búsquedas se pueden realizar por título, autor, editor, fecha de edición, geografía y materia. Actualmente se está trabajando en la informatización de otros mapas que se van incluyendo en Catálogo, y que pueden llegar a más de 20.000 mapas.

Se ha creado una sección llamada *Biblioteca Digital* donde se da acceso al Fondo Histórico digitalizado a texto completo y donde pueden ser consultadas, visualizadas y reproducidas las obras más antiguas que constituyen dicho fondo. La Cartografía Geológica Histórica también puede ser visualizada. Se pueden consultar los primeros mapas geológicos de España en imagen adaptada a la pantalla y también a tamaño real (*figura 8.*)

Actualmente están en preparación otras dos colecciones que se pondrán a texto completo en esta misma sección. Son el *Boletín Geológico Minero* desde el primer volumen del año 1874 hasta el año 2000, y la colección completa de la *Revista Minera* desde 1848.

También se puede acceder a información sobre *Revistas Electrónicas* tanto españolas como extranjeras.
Así mismo, la pagina web cuenta con una sección de *Servicios Bibliotecarios* donde se puede solicitar reproducción de documentos a través del correo electrónico, y otra sección muy desarrollada de *Enlaces de Interés* a páginas web de bibliotecas y catálogos de las principales Bibliotecas Nacionales, Organismos de Investigación, Universidades, Servicios Geológicos, Cartotecas.
Todas está información puede ser consultada en línea, siendo gratuita y de acceso público sin restricciones, con el único requisito de instalar el visualizador incluído en la página web, para poder ver correctamente los ficheros de imágenes. La resolución de pantalla para la visualización óptima es de 1024x768 expandida o de 1280x960 ppp.

Es un objetivo del Instituto Geológico y de su Biblioteca dar una amplia difusión de sus fondos bibliográficos, facilitando la consulta tanto en acceso remoto como presencial en el propio centro

PROYECTOS Y PERSPECTIVAS

Es un objetivo del Instituto Geológico y de su Biblioteca dar una amplia difusión de sus fondos bibliográficos, facilitando la consulta tanto en acceso remoto como presencial en el propio centro. Con la reciente creación de la página web de la Biblioteca, que ofrece los Catálogos de sus colecciones en línea y el acceso a documentos antiguos a texto e imagen completo, se ha dado un primer paso en la divulgación de los fondos. Se va a continuar trabajando en esa dirección, y en un espacio de tiempo no muy dilatado, se tendrá acceso a una importante Cartoteca, que esperamos será punto de referencia de cartografiá geológica en España.

Así mismo, y aprovechando las oportunidades de desarrollo que brindan las nuevas tecnologías, se irá mejorando y ampliando la divulgación de la información geocientifica custodiada en la Biblioteca, contribuyendo a convertir al Instituto Geológico y Minero de España en el Centro Nacional de Información Geológica.

Las aguas embotelladas en estados diminutos y territorios dependientes insulares

¿Conocían que se embotella agua en las islas Fiji? ¿O en San Marino? A menudo se asocia el mercado de las aguas embotelladas con países con gran tradición y grandes variaciones topográficas: Alemania, Italia, EEUU, España... sin embargo, para embotellar solo se necesita una captación con un caudal suficiente (aunque no muy elevado, ya que irá en función de su producción) y voluntad empresarial. En el presente artículo se recogen las principales marcas embotelladas en países pequeños y territorios dependientes de todo el mundo

Marc Martínez Parra
Geólogo. Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. IGME

Este artículo constituye la continuación del artículo denominado "Principales aguas embotelladas de Oriente Medio" publicado en el número de noviembre de 2004 de Tierra y Tecnología.

Existen multitud de pequeños estados independientes así como otros territorios dependientes, principalmente insulares, cuyo funcionamiento político es autónomo. En estos lugares de escasa extensión, también se embotella y se comercializa agua. Como tales se han considerado para este artículo, en Europa: Andorra, Chipre, Luxemburgo, Malta y San Marino; en América: las islas del Caribe de Antigua y Barbuda, Bahamas, Barbados, Bermudas, Dominica, Granada, Guadalupe, Jamaica, Martinica, Puerto Rico, Santa Lucía, San Vicente y Granadinas, Trinidad y Tobago, Turks y Caicos; en Asia: a lugares tan dispares como Bahrein, Brunei, Hong Kong, Qatar y Singapur; en Oceanía: a las Islas Fiji, Guam, Hawai, Micronesia, Las Marianas y la Polinesia francesa y, por último, en África: a los archipiélagos de Cabo Verde, Mauricio, Seychelles, la isla Reunión, y en el continente a Gambia.

En el presente artículo se recogen las principales marcas de agua embotellada, bien de agua mineral natural sin tratamiento alguno, o tratadas y purificadas; con ello se pretende dar una panorámica sobre qué tipos de aguas se comercializan para consumo humano y que diferencias pueden existir con las españolas en cuanto a calidad química y etiquetado.

La metodología del artículo ha consistido, principalmente, en el estudio del etiquetado existente, procedente de diversas colecciones particulares. Asimismo, se han consultado las páginas web de las empresas que disponen de las mismas, así como otras fuentes de información existentes en internet.

CLASIFICACIONES

Con anterioridad a la presente comunicación, ya se describieron en Martínez, M. (2004), las principales clasificaciones de las aguas embotelladas en el Estado Español y la clasificación según el contenido mineral, resumido en la *tabla 1*.

En las aguas de los países de la órbita anglosajona predominan las aguas que reciben distintos tratamientos, con el fin de asegurar su inocuidad ante posibles contaminaciones microbianas y/o bacteriológicas, independientemente del origen del agua comercializada. Sin embargo, en los países y territorios francófonos, generalmente el agua embotellada no recibe tratamiento alguno, buscando respetar al máximo su quimismo original.

En Norteamérica, se distingue en el etiquetado para la comercialización de las aguas a las artesianas, destiladas, bebibles, minerales, purificadas, gasificadas y de manantial (Bottled Water Web, 1999). Específicamente, el agua de manantial –spring water– es similar a la denominada de manantial en la legislación española, la purificada corresponde a la producida por destilación, desionización y ósmosis inversa y la destilada a la obtenida mediante procesos de compresión. Cuando el agua purificada se trata únicamente con ósmosis inversa se la denomina "Premium water", como ocurre en Puerto Rico.

Existen denominaciones curiosas en el etiquetado, como las aguas oligominerales naturales (Eau de Val Riche, Islas Seychelles), aguas de manantial, mesa y biberón (Edena, isla Reunión) o las aguas artesianas (en Hawai y Fiji) considerando como tales a las provenientes de un acuífero totalmente confinado.

Tabla 1. TIPOS DE AGUAS EMBOTELLADAS Y SU CLASIFICACIÓN SEGÚN MINERALES, EN EL ESTADO ESPAÑOL

Tipos de aguas de bebida envasadas,según RD 1074/2002	Tipos de aguas según contenido global en minerales, según RD 1074/2002
	• Mineralización muy débil: hasta 50 mg/L de residuo seco.
	• Oligometálicas o de mineralización débil: hasta 500 mg/L de residuo seco.
	• Mineralización fuerte: más de 1.500 mg/L de residuo seco.
	• Bicarbonatada: más de 600 mg/L de bicarbonato.
	• Sulfatada: más de 200 mg/L de sulfatos.
	• Clorurada: más de 200 mg/L de cloruro.
Aguas minerales naturales	• Cálcica: más de 150 mg/L de calcio.
Aguas de manantial	• Magnésica: más de 50 mg/L de magnesio.
Aguas potables preparadas	• Fluorada: más de 1 mg/L de fluoruros.
	• Ferruginosa: más de 1 mg/L de hierro bivalente.
	• Acidulada: más de 250 mg/L de CO_2 libre.
	• Sódica: más de 200 mg/L de sodio
	• Indicada para la preparación de alimentos infantiles o para dietas pobres en sodio: hasta 20 mg/L de sodio.
	• Puede tener efectos laxantes.
	• Puede ser diurética

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Se han recopilado datos sobre 123 marcas de agua embotellada. Por continentes, 22 corresponden a Europa, 18 a Asia, 46 a América (específicamente en el Caribe), 14 a África y 23 a Oceanía (*figuras 1 y 2*).

Las superficies de los países y territorios se recogen en las tablas 2, 5, 8, 11 y 23.



Figura 2. Principales empresas de agua embotellada, por países y territorios dependientes.

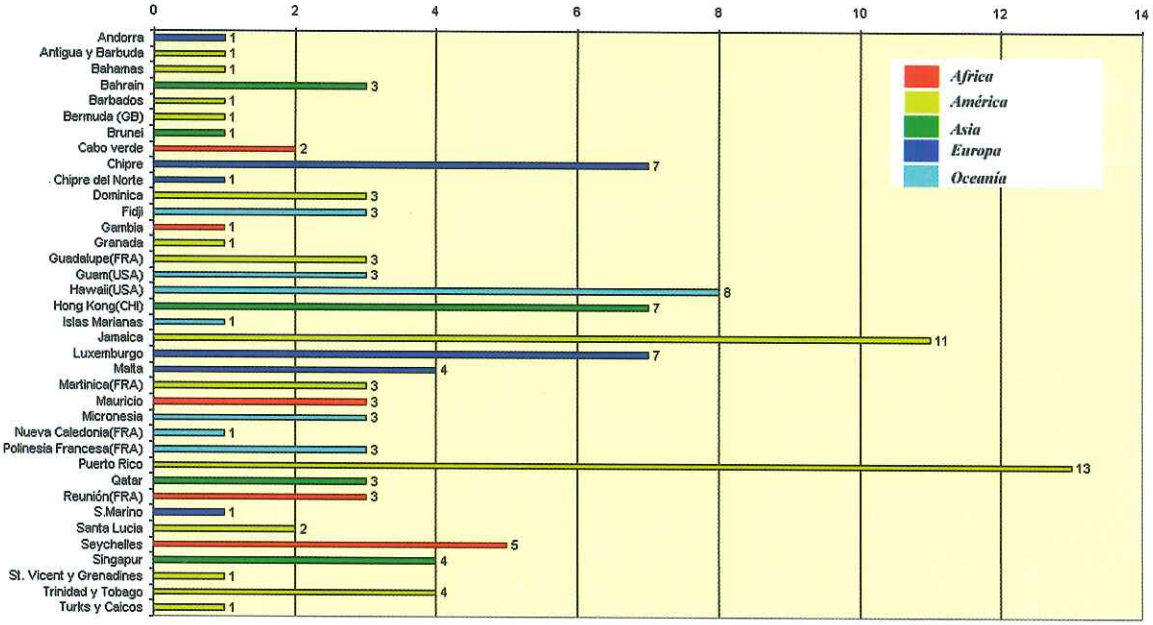


Figura 1. Distribución de las principales embotelladoras por países y territorios.

Comparativamente con la superficie del Estado Español, esta es de 504.750 km^2, mientras que el mayor de los territorios considerados, el archipiélago de Hawai, apenas sobrepasa los 28.000 km^2.

ÁFRICA

Los pequeños países y territorios diminutos africanos estudiados corresponden principalmente a archipiélagos. De algunos se disponen de pocos datos; es el caso de las islas de Cabo Verde y de Gambia, que son aguas con un mercado marcadamente local (*tabla 2*). Curiosamente, las islas con un fuerte componente turístico son las que producen agua embotellada.

Las islas Mauricio, de origen volcánico, comercializan tres marcas de agua de mesa y una de ellas, Vital, con tratamiento de ozonización. Las aguas tienen contenidos en Na^+ entre 17 y 64 mg/L y de Cl^- entre 22 y 66 mg/L, propio de un territorio insular (*tabla 3*). Vital se comercializa en toda la región sudoriental africana, con variados productos: aguas de mesa, gaseosas, zumos y atomizadores para la piel (*tabla 4*).

La Isla Reunión (Francia) también es de origen volcánico. Las aguas nativas y comercializadas son captadas en fuentes, con una mineralización baja (Bagatelle y Edena) con un TDS inferior a 120 mg/L. Sin embargo, en esta isla se encuentra la única agua con gas CO_2 natural de las estudiadas en África: Cilaos. Su TDS es elevado (787

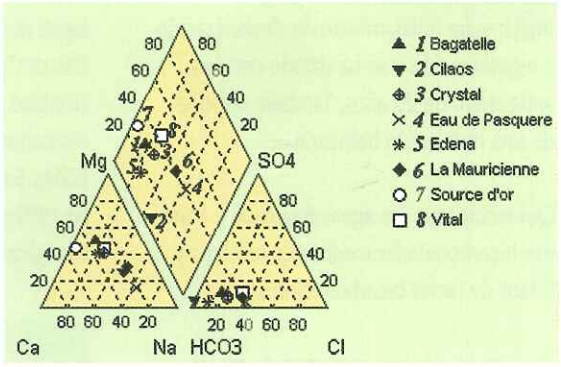


Figura 3. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las aguas de pequeños países de África: islas Mauricio (3, 6, 8); Reunión (1, 2, 5); Seychelles (4, 7).

Tabla 2. PEQUEÑOS PAÍSES Y TERRITORIOS DEPENDIENTES DE ÁFRICA, SUPERFICIE EN KM^2, MARCAS DE AGUA COMERCIALIZADA Y CLASIFICACIÓN DE LA MISMA SEGÚN ETIQUETADO

África	Clasificación según etiquetado
CABO VERDE (4.033 km^2)	
Trindade	
Divina	
GAMBIA (11.300 km^2)	
Gamwater	
MAURICIO (1.860 km^2)	
Cristal	De mesa
La Mauricienne	De mesa
Vital	De mesa
REUNIÓN (FRA) (2.510 km^2)	
Bagatelle	
Edena	De manantial, mesa y biberón
Cilaos	Mineral con gas
SEYCHELLES (435 km^2)	
Eau de Val Riche	Oligomineral natural
Mont Josephine	Pura natural
Seychelles Mountain	De manantial
Source de Pasquere	
Source d'Or	

Tabla 3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS CLASIFICATORIAS Y FISICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS EMBOTELLADAS EN PEQUEÑOS TERRITORIOS Y PAÍSES DE ÁFRICA

Denominación	Lugar captación	Anión predominante	Catión predominante	TDS (mg/L)	Na^+(mg/L)
MAURICIO					
Cristal		Bi	Mg-Ca	194	17
La Mauricienne		Bi	Na-Mg	271	64
Vital		Bi	Mg-Ca	218	19
REUNIÓN (FRA)					
Bagatelle	Fuente Blanca	Bi	Mg-Ca	116	7,8
Cilaos	Fuente Verónica y Fuente Irenée	Bi	Na	787	238
Edena	Fuente Edena y Fuente Blanca	Bi	Mg-Ca	68	7,5
SEYCHELLES					
Source de Pasquere		Bi	Na	166	5
Source d'Or		Bi-Cl	Ca-Mg	63	2,4

Leyenda: Bi-bicarbonatada, Cl-clorurada, Mg-magnésica, Ca-cálcica, Na-sódica.

mg/L); sufre tratatamiento de desferrización y regasificación y se ha datado con una antigüedad de 20 años. También dispone de una instalación balnearia.

Químicamente, las aguas Bagatelle y Edena son bicarbonatadas magnésico-cálcicas y Cilaos de facies bicarbonatada sódica.

Las islas Seychelles presumen de ser las más antiguas del mundo al estar constituidas principalmente por rocas graníticas. Se comercializan 5 marcas de aguas embotelladas.

En general, para todos los territorios estudiados, en las facies hidroquímicas predominan como aniones el bicarbonato y como cationes el Ca^{2+} y el Mg^{2+} (*tabla 3, figura 3*).

Para todas las aguas estudiadas, y considerando que el residuo seco es menor que el TDS (*tabla 3*), las aguas se pueden clasificar, atendiendo a la *tabla 1*, como de mineralización débil, excepto Cilaos (Reunión) que se clasificaría como de mineralización fuerte, bicarbonatada.

AMÉRICA

Además de los países y territorios estudiados y recogidos en las *tablas 5a y 5b*, se han investigado otros de los cuales no se ha obtenido información o ésta no resultaba fiable: es el caso de islas Vírgenes británicas y estadounidenses, Montserrat, las Antillas holandesas o las islas Caimán; no obstante, no es descartable que existan compañías locales que comercialicen agua.

En general, todos los pequeños territorios estudiados corresponden al Caribe. Básicamente existen dos tipos de agua comercializada: la tratada –el equivalente al agua potable preparada española– y la natural, en general definidas como de manantial.

En varias de las islas existentes se comercializan, por parte de compañías locales, aguas purificadas y destiladas, es el caso de Caicos (Turks y Caicos), AquaPur y Blue Waters (Trinidad y Tobago), Silver Spring bottled water (Barbados) o Pure Water (Bermuda) (Forbes, 2004). En Trinidad y Tobago, Blue Waters tuvo en 1999 problemas de contaminación biológica (Consumer Affairs Division, 1999).

En islas Bahamas, Crystal Select toma el agua de un sondeo y posteriormente la trata mediante filtración, rayos UVA, ósmosis inversa, destilación y ozonización.

En Puerto Rico, isla-estado asociado a los EEUU, existen aguas principalmente tratadas,

Tabla 4. ALGUNOS DE LOS ENVASES Y PRODUCTOS DE COMERCIALIZACIÓN DE LAS AGUAS

Empresa embotelladora	País	Envases
Vital	Islas Mauricio	Envases PET: 0,5; 1; 1,5 y 5 L
		Atomizador para la piel, envases con gas añadido

Tabla 5a. PEQUEÑOS PAÍSES Y TERRITORIOS DEPENDIENTES DE AMÉRICA, SUPERFICIE EN KM^2, MARCAS DE AGUA COMERCIALIZADA Y CLASIFICACIÓN DE LA MISMA SEGÚN ETIQUETADO

América	Clasificación según etiquetado
ANTIGUA Y BARBUDA (442 km^2)	
Allanas	De manantial
BAHAMAS (13.940 km^2)	
Crystal Select	Premium potable
BARBADOS (430 km^2)	
Silver Spring	Embotellada
BERMUDA	
Bermuda Pure Water	Pura
DOMINICA (750 km^2)	
Loubière	De manantial
Caribbean clear	De manantial
Trois Pitons water	
GRANADA (340 km^2)	
Glenelg	Natural de manantial
SAN VICENTE Y GRANADINAS (340 km^2)	
Big Gut	De manantial
GUADALUPE (FRA) (1.780 km^2)	
Capés Dolé	De manantial
Matouba	De manantial
St. Claude	De manantial gasificada
JAMAICA (10.990 km^2)	
Blue mountain	De manantial
Catherine's Peak	Pura de manantial
Cool Runnings	De manantial
Essential	
Mekyah	De manantial
Nature's Pure	De manantial
Jamaica	De manantial
Ju-Cee Barr	
Wata	De manantial
Mivida	De manantial
Valley Dew	

como Cristalia premium Water o Paradise Premium Water. Ambas coinciden en el tipo de tratamientos: filtro de arena, de carbón activado, ósmosis inversa, ozonización, rayos UVA, casi todo ello para evitar la presencia microbiana. Aquaspring premium water (*figura 4*), dispone de dos plantas embotelladoras y se promociona como "libre de sodio" en su página web, comercializando su agua también bajo otras marcas o distribuidores como Grande Premium water o Foodtown Premium water.

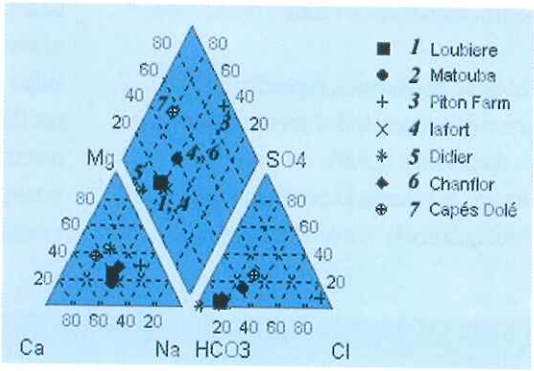


Figura 5. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las aguas de pequeños países del Caribe: Dominica (1); Martinica (4, 5, 6); San Vicente y Granadinas (3); Guadalupe (2, 7).

Tabla 5b. PEQUEÑOS PAÍSES Y TERRITORIOS DEPENDIENTES DE AMÉRICA, SUPERFICIE EN KM^2, MARCAS DE AGUA COMERCIALIZADA Y CLASIFICACIÓN DE LA MISMA SEGÚN ETIQUETADO

América	Clasificación según etiquetado
MARTINICA (1.100 km^2)	
Chanflor	De manantial
Didier	Mineral natural
Lafort	De manantial
PUERTO RICO (USA) (9.104 km^2)	
Agua Cristal del Alba	
Heaven	Premium
Manantial la Roca	
Aquaspring	Premium
Eté, Grande, Ricura	Potable
Cristalia	Premium de manantial
Agua Le Marie	De manantial
Paradise Premium	De manantial
Agua La Montaña	De manantial
Agua La Marquesa	Natural de manantial
Agua La Cotorra mineral	
Agua mineral Yahuecas	
La Fuente	Natural de manantial
SANTA LUCÍA (620 km^2)	
Piton Farm	Pura de manantial
Caribbean springs	Natural mineral
TRINIDAD Y TOBAGO (5.130 km^2)	
Aqua Pur	
Blue waters	Premium potable
Crystal	Pura
Pure Water	
TURKS Y CAICOS (GB)(430 km^2)	
Caicos	Pura

Asimismo, utiliza en el proceso de purificación de las aguas en siete etapas, según su página web, que son: filtro de arena, ozonización, filtro industrial para eliminar cloruros, turbidez, TSD y malos olores, descalcificadores, ósmosis inversa, 2ª ozonización y tratamiento con rayos UVA.

No obstante, otra agua de origen subterráneo y clasificada como de manantial –La Montaña– también es filtrada y tratada con rayos UVA.

Existen en Jamaica varios baños y balnearios de aguas frías y termales como Saint Thomas –con dos surgencias, una fría y otra caliente– Milk River, Black River- conocido desde 1930, que actualmente se encuentra en decadencia y Rock Fort, surgido cerca de Kingston tras un terremoto acaecido en 1907, de aguas frías y radiactivas (Wright, 2001). Esta tradición balnearia no parece extenderse al sector de las aguas embotelladas, la mayoría clasificadas como de manantial. Catherine's Peak, que recibe el nombre de su primera dueña, situada a 1.500 m, es filtrada, tratada con rayos UVA para esterilizarla y ozonización para eliminar las bacterias. Cool Runnings tiene su origen en una fuente, Blue Hole, situada en el macizo de las Blue Mountains, al Este de la isla y se comercializa como la única agua *reggae*.

Geológicamente, las Pequeñas Antillas (islas de Saba, San Eustaquio, San Cristóbal, Nieves, Montserrat, Guadalupe, Martinica, Santa Lucía, San Vicente, Vírgenes, Las Granadinas y Granada) forman un arco de actividad volcánica, resultado de la subducción entre las placas Caribe y Atlántica, origen de las islas,



Figura 4. Embotelladora Aquaspring Premium, Puerto Rico. (Fuente: página web de Aquaspring Premium).

siendo Dominica la que más volcanes activos tiene, un total de nueve. Asociados a estos materiales volcánicos predominantes también existen aguas explotadas para la comercialización.

Así, en la Dominica, isla con numerosos domos peleanos, se explota Loubière como agua de manantial, anteriormente denominada Eau Erte, que se capta en un manantial de baja mineralización.

En el caso de Big Gut Spring Water, en Layou (San Vicente y Granadinas), existe un proyecto, en julio de 2003, que pretende llevarse el agua, mediante una tubería de 5 km, a una embotelladora y comercializarla para su exportación, siendo el principal inversor de California. Ello ha generado una fuerte polémica con la población por las deficiencias de abastecimiento existentes (Small Islands Voice Global Forum, 2003).

En la isla de Martinica, dependiente administrativamente de Francia, se encuentra la única fuente caribeña con gas carbónico natural, es la fuente Didier, descubierta en 1835, bautizada como "Fuente Roty" y posteriormente adquirida por Alfons Didier, quien le dió el nombre definitivo. Explotada primeramente como establecimiento balneario, desde 1917 se embotella como agua mineral, vendiéndose inicialmente en farmacias. El agua mana a 32,7ºC y tiene un caudal de 1,5 L/s (página web de Didier). Químicamente el agua es bicarbonatada mixta (*tabla 6, figura 5*) y destaca su alto contenido en sílice (130 mg/L) que indica su origen profundo. Al agua se le retira por filtración el hierro y manganeso. Las otras marcas de Martinica –Chanflor y Lafort– corresponden a aguas de manantial de baja mineralización y de facies bicarbonatada mixta.

Tabla 6. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS CLASIFICATORIAS Y FISICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS EMBOTELLADAS EN PEQUEÑOS PAÍSES Y TERRITORIOS DE AMÉRICA

Denominación	Lugar captación	Anión predominante	Catión predominante	TDS (mg/L)	Na^+(mg/L)	Observaciones
DOMINICA						
Loubiere	Lubière springs	Bi	Ca-Na	73	13	
GUADALUPE						
Capes Dolé	Fuente Dolé	Cl-Bi	Ca-Mg	353	22	53 mg/L Cl, 0,13mg/L F
Matouba	Manantial Roudelette	Bi-Cl	Ca-Na	40	7	
MARTINICA						
Chanflor	Fuente de Mont Beni	Bi	Ca-Na	49	9,7	
Didier	Fuente Didier	Bi	Mg-Na-Ca	905	101	Gas CO_2 Tº 32,7ºC, 130 mg/L SiO_2
Lafort	Fuente Lafort	Bi	Na-Ca	62	14	
SANTA LUCÍA						
Piton Farm		Cl	Na-Mg	91	16,3	0,2 mg/L F

Leyenda: Bi-bicarbonatada, Cl-clorurada, Mg-magnésica, Ca-cálcica, Na-sódica.





Figuras 6 y 7. Botellas de 1,5 L y demás gama de comercialización de Piton Pure Spring Water (fuente: página web de Piton Pure Spring Water).



















Selección del etiquetado de las aguas embotelladas estudiadas.

En la isla de Guadalupe (Francia) existen dos embotelladoras de aguas de manantial: Matouba y Capès Dolé. La primera, está poco mineralizada (residuo seco de 49,3 mg/L) y su facies es bicarbonatada calcico-sódica *(tabla 6, figura 5)*, disponiendo de un establecimiento balneario. Gasificada, se comercializa como St. Claude. Capès Dolé se explotó a principios del siglo XX como agua termal y terapéutica, administrándose en un balneario edificado en 1920.

Tabla 7. ALGUNOS DE LOS ENVASES Y PRODUCTOS DE COMERCIALIZACIÓN DE LAS AGUAS

Empresa embotelladora	País	Envases
Cristal Select	Bahamas	Botellas plástico: 0,33; 0,5; 0,7; 1 y 1,5 L
		Copas: 0,1; 0,14; 0,2; 0,25 L y Tissues
Pure Water	Bermuda (GB)	Botellas plástico: 0,5; 1,5; 13,6 y 22,75 L
Cool Runnings	Jamaica	Botellas plástico: 0,5; 1,5; 4,5 y 22,5 L
Cristalia Premium Water	Puerto Rico (USA)	Botellas plástico: 0,3; 0,5; 1,5; 3,8; 9,5 y 19 L
Paradise Premium Water	Puerto Rico (USA)	Botellas plástico: 0,47; 3,8; 19 L
Cristal Premium	Trinidad y Tobago	Envases plástico: 0,5 L, 1,5 L, 4,5 L
Piton Farm	Santa Lucia	Envases plástico: 0,5; 30 y 50 L
Catherine's Peak	Jamaica	Envases plástico: 0,5; 1,5; 3,8 y 19 L
Didier	Martinica (FR)	Envases plástico: 0,25; 0,50; 0,75 y 1,25 L (gaseosa)
		Envases plástico: 0,50 y 1,50 L (mineral natural)

Tabla 8. PEQUEÑOS PAÍSES Y TERRITORIOS DEPENDIENTES DE ASIA, SUPERFICIE EN KM^2, MARCAS DE AGUA COMERCIALIZADA Y CLASIFICACIÓN DE LA MISMA SEGÚN ETIQUETADO

Asia	Clasificación según etiquetado
BAHREIN (620 km^2)	
Al Manhal	
Bahrein mineral water	Mineral
Nada (Al Sane)	Pura mineral
BRUNEI (5.770 km^2)	
Sehat	Pura artesiana
HONG KONG (CHINA) (1.102 km^2)	
Aqua	Pura destilada
Aqua Tek	Pura destilada
Cristal Pure	Destilada
Healthy	Potable
Sunray Cave	Pura destilada
Watsons water (Best Buy, Cool, Fountain, Hong Kong)	Pura destilada, destilada con minerales
Vita	Pura destilada
QATAR (11.000 km^2)	
Al Badeya (Qatar water)	
Doha water	
Rayyan water	
SINGAPUR (633 Km^2)	
Aquarin	Natural mineral
Best	Pura destilada potable
Iceberg	Pura destilada / Mineral
Pere Ocean	Pura destilada

Santa Lucía dispone de dos de las embotelladoras de agua mineral del Caribe: Piton Farm Mineral Water y Caribbean Springs (procedente de la fuente Ti Rocher) *(figuras 6 y 7)*, ambas de baja mineralización. En la primera, su facies química es clorurada sódico-magnésica *(tabla 6, figura 5)*.

En general, las aguas *(tabla 6)* se pueden clasificar como de mineralización muy débil a débil, excepto Didier (Martinica) que se clasificaría como de mineralización fuerte, bicarbonatada.

Los envasados son, principalmente, aguas de venta en comercios y garrafasen dispensadores de agua, con contenidos de hasta 50 L *(tabla 7)*.

ASIA

En el continente asiático se han estudiado aguas en Bahrein, Brunei, Hong Kong, Qatar y Singapur. De las islas Maldivas no se tiene información y del Líbano ya se describió extensamente en Martínez, 2004.

Las aguas envasadas en Hong Kong *(tabla 8, figura 8)* son principalmente destiladas, siendo las que dominan el mercado Vitasoy y Watsons Water (Euromonitor, 2004). Watsons water, además del típico producto de agua destilada, en botellas y garrafas, tiene otras líneas de producción, como aguas destiladas enriquecidas con minerales, excepto sodio.

De Qatar y Bahrein, las aguas ya fueron descritas en Martínez, 2004 *(tabla 8)*, no obstante se han localizado referencias de otras empresas dedicadas al embotellado de agua mineral.

Singapur tiene varias empresas dedicadas a la importación de aguas embotelladas o a su producción, aunque en sus páginas web no queda demasiado claro si las aguas producidas provienen de captaciones en los países colindantes de Singapur; es el caso de Pere Ocean. Asimismo tampoco está claro el propio origen de las aguas embotelladas, ya que se embotellan bajo la misma marca

Tabla 9. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS CLASIFICATORIAS Y FISICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS EMBOTELLADAS EN PEQUEÑOS PAÍSES Y TERRITORIOS DEPENDIENTES EN ASIA

Denominación	Anión predominante	Catión predominante	TDS (mg/L)	Na (mg/L)	Observaciones
BAHREIN					
Nada	Bi-Cl	Na	144	55	0,7 mg/L F
QATAR					
Rayyan water	Mixto	Mixto	117	9	0,7 mg/L F

Leyenda: Bi-bicarbonatada, Cl-clorurada, Na-sódica.

Tabla 10. ALGUNOS DE LOS ENVASES Y PRODUCTOS DE COMERCIALIZACIÓN DE LAS AGUAS.

Empresa embotelladora	País	Envases
Aqua Tek	Hong Kong	Botellas plástico: 10 y18,9 L
Watsons Water	Hong Kong	Botellas plástico: 0,28; 0,43; 0,50; 0,80; 1,25; 1,80; 4,50; 11,3; 17,5 y 18 L.
		Botellas con aguas enriquecidas: 0,43; 0,8; 11,3; 17,5 y 18 L
Vita	Hong Kong	Botellas plástico: 13,5 L y 22,5 L
Iceberg	Singapur	Vaso plástico: 0,2L
		Botellas plástico: 0,35; 0,5; 1,5 y 19 L

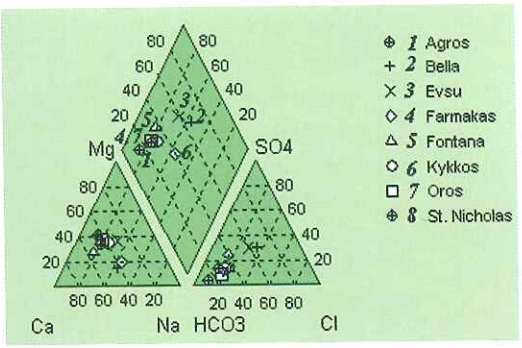


Figura 9. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las aguas de la isla de Malta (2, 5) y de Chipre (1, 3, 4, 6, 7, 8),

comercial las aguas con las denominaciones mineral natural y como potable purificada o destilada, este es el caso de las marcas Iceberg y Pere Ocean.

Las aguas analizadas se pueden clasificar como de mineralización débil (*tabla 8*).

El tipo de embotellado está equilibrado en cuanto a oferta de productos en comercios (volúmenes pequeños) y para dispensadores, por cuanto hay una amplia gama de garrafones de distintos volúmenes (*tabla 10*).



Figura 8 . Agua embotellada de Sunray Cave, Hong Kong (fuente: página web de Sunray Cave).

EUROPA

En el continente europeo existen pocos estados pequeños : Andorra, Chipre, Liechtenstein, Luxemburgo, Malta, Mónaco, San Marino y Ciudad del Vaticano. De ellos, no se conocen embotelladoras en Liechtenstein, Mónaco y Ciudad del Vaticano.

Andorra tiene tradición con la marca "Arinsal"o "Aigua d'Andorra", clasificada como agua de manantial, la propia Fuente de Arinsal, que nace a 1.500 m s.n.m.

En Luxemburgo (*tabla 11*) se explotan varias fuentes y un sondeo, aunque la más comercializada es la fuente Roxanne Hovelange, embotellada bajo distintas denominaciones comerciales según el distribuidor. Otras fuentes comercializadas son la Fuente Ophelie y la Beckerich y el conjunto de captaciones de Rosport: la tradicional fuente con gas y el sondeo perforado en sus proximidades. La denominación "Rosport" primero se desgasifica y luego se incorpora el gas, existiendo la marca "Rosport Blue" para un agua gasificada en menor cantidad.

En la isla de Chipre, tras la Guerra Civil, existen de facto dos estados, la República de Chipre y la República Turca de Chipre del Norte, aunque esta última no tiene reconocimiento internacional. En la república de Chipre se localizan la mayor parte de embotelladoras, ocho, con tan solo una, Evsu, en la parte turcochipriota. En general son aguas de manantial, con excepción de Agros, en ocasiones gasificadas, predominando los iones HCO^{3-} y Ca^{2+}, en ocasiones mezclados con Mg^{2+} o Na^{+}. Los contenidos en Cl^{-}, entre 14 y 35 mg/L, son propios de aguas con influencia del aerosol marino (*tabla 12*). Según la *figura 9*, las aguas Farmakas, Oros y Agros tienen una composición química similar mientras que Evsu tiene un mayor contenido en sulfatos y Kykkos en sodio.

De San Marino se dispone de información de un agua embotellada, Fontevivo, situada en el "Castillo" (división administrativa) de Chiesanuova, que se explotaba en 1978, aunque en julio de 2003 se encontraba inactiva. A la misma se le añadía gas carbónico.

En general, las aguas se pueden clasificar como de mineralización débil, excepto las aguas de Rosport y Viva-Rosport que corresponden a una mineralización fuerte.

OCEANÍA

Se han investigado las aguas asociadas a las pequeñas islas-estado o archipiélagos independientes o no, incluyéndose el archipiélago de las Hawai, de mayor superficie que el resto de los estudiados, pero de gran interés (*tabla 13*).

En Guam, territorio dependiente de los EE.UU. existen tres embotelladoras de aguas tratadas. En julio de 2002, dos de ellas, Tropicool (*figura 10, 11*) y Pacific Diamond, tuvieron problemas de contaminación bacteriológica movilizándose los medios de comunicación para localizar una determinada partida (Salas, 2002; Pieper, 2002).

Las aguas embotelladas en las islas Fiji, de origen volcánico, se clasifican como aguas artesianas. En el etiquetado y estudios propios de las empresas, muestran un elevado contenido en sílice, que alcanza en la marca Fiji los 85 mg/L. El mejor estudiado es Teidamu spring water, cuya surgencia presenta un caudal estable de 5 L/s y según la datación isotópica realizada tiene una antigüedad de 50 años (SKM, 2002). Predominan los iones HCO_3^- ,Ca^{2+} y Mg^{2+}, con contenidos en Cl^- bajos, entre 6 y 8 mg/L (*figura 12*).

Tabla 11. PEQUEÑOS PAÍSES DE EUROPA, SUPERFICIE EN KM2, MARCAS DE AGUA COMERCIALIZADA Y CLASIFICACIÓN DE LA MISMA SEGÚN ETIQUETADO.

Europa	Clasificación según etiquetado
ANDORRA (450 km^2)	
Arinsal	De manantial
CHIPRE (5.895 km^2)	
Blu	De manantial carbonatada
Kikkos	Natural de manantial
Montano	De manantial lig. carbonatada
Oros	
Agros	Mineral natural
St. Nicholas	Mineral natural
Farmakas	Natural de manantial
Vitalia	De mesa natural
REPÚBLICA TURCA DE CHIPRE SEPTENTRIONAL (3.355 km^2)	
Evsu	Mineral natural
LUXEMBURGO (2.586 km^2)	
Aurelie	
Beckerich	Mineral natural
Rosport	Mineral natural con gas
Roxanne-Hovelange	De manantial
Ophelie	Mineral natural
St. Laurent	De manantial
Viva-Rosport	Mineral natural
MALTA (320 km^2)	
Bella	De manantial natural
Fontana	De manantial
Kristal	De mesa
St. Michel	De mesa
SAN MARINO (60 km^2)	
Fontevivo	Mineral natural

Tabla 12. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS CLASIFICATORIAS Y FISICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS EMBOTELLADAS EN PEQUEÑOS PAÍSES DE EUROPA

Denominación	Lugar captación	Anión predominante	Catión predominante	TDS (mg/L)	Na^+(mg/L)	Observaciones
CHIPRE						
Kykkos		Bi	Na-Ca	151	18	
Saint Nicholas	Katopetria	Bi	Ca-Mg	290	35	
Oros	Fuente Royfis	Bi	Ca-Mg	276	25	
Agros	Sondeo	Bi	Ca-Mg	155	15	
Farmakas	Montañas de Farmakas	Bi	Ca-Mg	177	39	
REPÚBLICA TURCA DE CHIPRE SEPTENTRIONAL						
Evsu		Bi-Sulf	Ca-Na	172	22	
LUXEMBURGO						
Beckerich	Fte Beckerich	Bi	Ca	360	3	
Rosport	Fte. Rosport	Bi-Sulf	Ca	1464	65	7,5 mg/L CO_2
Ophelie	Fte. Ophelie	Bi	Ca	422	34	124 mg/L SO_4
Roxanne-Hovelange	Fte Roxane	Bi	Ca	364	3	Gasificada
St Laurent	Fte Roxane	Bi	Ca	364	2,5	
Viva-Rosport	Sondeo	Sulf-Bi	Ca-Mg	930	35	
MALTA						
Bella		Mixto	Ca-Na	326	64	
Fontana		Bi	Ca	350	25	En ocasiones gasificada. 0,5 mg/L F

Leyenda: Bi-bicarbonatada, Sulf-sulfatada, Mg-magnésica, Ca-cálcica, Na-sódica.

Tabla 13. PEQUEÑOS PAÍSES Y TERRITORIOS DEPENDIENTES DE OCEANÍA, SUPERFICIE EN KM^2, MARCAS DE AGUA COMERCIALIZADA Y CLASIFICACIÓN DE LA MISMA SEGÚN ETIQUETADO

Oceanía	Clasificación según etiquetado
FIJI (18.270 km^2)	
Aquafiji	Agua artesiana
Fiji	Agua artesiana
Teidamu	Natural de manantial
MARIANAS DEL NORTE (USA) (477 km^2)	
Saipan Ice	
ESTADOS FEDERADOS DE MICRONESIA (702 km^2)	
Island Choice	Purificada
Pacific Islands Pure water	Pura
Micro	
Crystal water	
HAWAII (USA) (28.337 km^2)	
Aloha water	
Ali'I water	
Hawaii water	Ultrapura
Hawaiian springs	Artesiana
Kaua'i water	De manantial
Mahalo	
Menehune water	
Menehune springs	
POLINESIA FRANCESA (4.167 km^2)	
Eau Royale	
Paul Gauguin	De manantial
Vaimato	De manantial natural
NUEVA CALEDONIA-KANAKY (FRA) (18.575 km^2)	
Mont Doré	De manantial natural
GUAM (USA) (549 km^2)	
Cristal Clear	Potable
Tropicool	Purificada potable
Pacific diamond water	

En la islas Hawai, antiguo reino independiente y ahora incorporado a los EE.UU, se localizan varias embotelladoras con curiosas historias. Hawaiian Springs se localiza en la Gran Isla, en los relieves volcánicos de Mauna Loa, siendo un agua de facies hidroquímica bicarbonatada cálcico-magnésica (*tabla 14*). En Honolulu se encuentra la empresa Menehune, que envasa dos marcas: Hawaii Water, purificada o destilada, y Menehune Water, natural; curiosamente emplean, gracias a un acuerdo con las autoridades de Honolulu, la fuente de abastecimiento de la ciudad, el denominado "Halawa shaft" o Agujero de Halawa (Hayworth, 2004). Asimismo, tienen los derechos de explotación de una fuente en Oahu, que entrará en funcionamiento en 2006 como Menehune Spring.

La empresa japonesa Koyo dispone de dos desalinizadoras de agua de mar que producen, bajo la marca Mahalo, 200.000 botellas diarias, para el mercado japonés (Hong, 2004).

En las islas Marianas del Norte, Saipan Ice explota un sondeo de 18 m, disponiendo de otros dos sondeos como reserva. El agua extraída se trata con cloro, ozonización y osmosis inversa; su producción anual es de 378.000 L (Ravelo, 2004).

En Nueva Caledonia o Kanaky, bajo dominio francés, se encuentra la embotelladora de Mont-Doré, cerca de Noumea, capital administrativa. Es un agua bicarbonatada magnésica, clasificada de manantial. También en la Polinesia francesa, en la isla de Tahití,

Tabla 14. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS CLASIFICATORIAS Y FISICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS EMBOTELLADAS EN LOS PEQUEÑOS PAÍSES Y TERRITORIOS DEPENDIENTES EN OCEANÍA

Denominación	Lugar captación	Anión predominante	Catión predominante	TDS (mg/L)	Na^+(mg/L)	SiO_2^- (mg/L)
HAWAII (USA)						
Hawaiian springs		Bi	Ca-Mg	64	6	
FIJI						
Aqua Fiji		Bi	Ca-Mg	227	10.2	61
Fiji	Sondeo	Bi	Mg-Ca	202	15	85
Teidamu	Fuentes de Teidamu	Bi	Ca-Mg	120	10	82
POLINESIA FRANCESA						
Eau Royale	Fuente Real	Cl	Na	200	50	
Paul Gouguin	Fuente Te Vai Arii	Bi.	Ca-Mg	176	48,7	
Vaimato	Fuente de Papeari	Bi	Mixta	80	11,3	
NUEVA CALEDONIA-KANAKY (FRA)						
Mont Doré		Bi	Mg	71	5,8	

Leyenda: Bi-bicarbonatada, Cl-clorurada, Mg-magnésica, Ca-cálcica, Na-sódica.

siguiendo la tradición metropolitana, se embotellan tres marcas de agua: Eau Royale, Paul Gauguin y Vaimato, que se clasifican como aguas de manantial, provenientes de fuentes de tradición isleña como Te Vai Arii. Son aguas de facies bicarbonatadas cálcico-magnésicas, excepto en Eau Royale, de facies clorurada sódica (*figura 12*).

Los envasados de las aguas suelen ser volúmenes pequeños y botellones para dispensadores de agua (*tabla 15*). □

Tabla 15. ALGUNOS DE LOS ENVASES Y PRODUCTOS DE COMERCIALIZACIÓN DE LAS AGUAS

Empresa embotelladora	País	Envases
Cristal Clear	Guam	Envases plástico 0,5; 1; 1,5; 3,78 y 18,9 L
Hawaii Water	Hawaii	Envases plástico 0,47; 1; 1,5; y 18,9 L
Menehune water	Hawaii	Envases plástico 0,33; 0,59; 1; 1,5 y 18,9 L
Saipan Ice	Marianas	Envases plástico 0,5; 1; 1,5; 3,8 y 7,6 L
Fiji water	Fiji	Envases plástico 0,5; 1 y 1,5 L

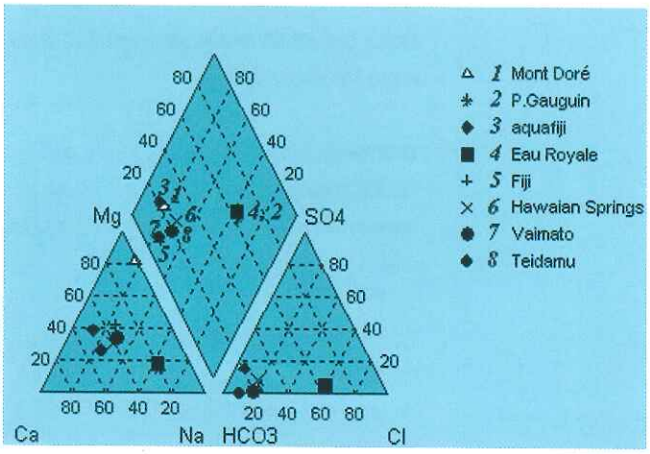


Figura 12. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las aguas de pequeños países y territorios dependientes de Oceanía.

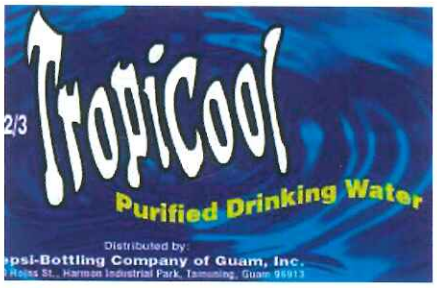


Figura 10. Anuncio de la empresa Tropicool de Guam .



Figura 11 . Botella de Tropicool.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y PÁGINAS WEB

- BOTTLED WATER WEB (1999). Regulations. http://www.bottledwaterweb.com/regulations.html.
- CONSUMER AFFAIRS DIVISION (1999). Evaluation of the Quality of Bottled water sold in Trinidad and Tobago. www.consumer.gov.tt/news/bottledquality.htm.
- EUROMONITOR (2004). Soft drinks in Hong Kong (China). http://www.euromonitor.com/Soft_Drinks_in_Hong_Kong_China.
- FORBES, K.A. (2004). Architecture of Bermuda. Bermuda on-line. www.bermuda-online.org/architecture.htm.
- HAYWORTH, P. (2004). Bottled water is a big business. http://www.kauaiworld.com/articles/2004/07/29/business/bus01.txt.
- HONG, J. (2004). A Drink From Davy Jone´s Locker. http://www.cbsnews.com/stories/2004/10/11/tech/main648542.shtml.
- MARTÍNEZ, M. (2004). Principales aguas embotelladas de los países de Oriente Medio. Tierra y Tecnología nº 26. pag. 65-73.
- PARADISE PREMIUM WATER (2000). purification process. http://www.paradisewaterpr.com/purification.htm.
- PIEPER, M.A. (2002). Water recalled. Tests show bacteria in bottled batch. Guam Pacific Daily News, 28 de Julio de 2002. http://www.guampdn.com/news/stories/20020728/localnews/314513.html.
- RAVELO, J. (2004). Unveiling the sparkle behind Saipan Ice. Saipán Tribune. http://www.saipantribune.com/archives/newsstoryarch.aspx?cat=5&newsID=28490&archdte=5/23/2003.
- SALAS, S. (2002). Additional water bottling company tests positive for bacterial contamination. Kuam News, 30 de Julio de 2002. http://www.kuam.com/news/3820.aspx.
- SKM (2002). Teidamu springs. Fiji. Prefeasibility study. Final Report. Small Islands Voice Global Forum (2003): Exporting water- for whose benefit? www.sivglobal.org/?read=44.
- WRIGHT, LL. (2001). Jamaican mineral spas. http://www.jnht.com/disndat/min_spas.html.
- AQUASPRING PREMIUM WATER http://www.aquaspringoasis.com
- DIDIER http://www.fontainedidier.com
- PARADISE PREMIUM WATER http://www.paradisewaterpr.com.
- PITON SPRING WATER http://www.pitonfarmsmineralwatercompany.com
- SUNRAY CAVE http://www.sunraycave.com/en/Info/index.asp
- VITAL WATER BOTTLING http://vitalwater.intnet.mu

El futuro inmediato en las minas de metales preciosos en el sudeste español

La historia de la minería en el sudeste peninsular es importante y muy dilatada en el tiempo. Todos los pueblos que han pasado por este rincón de España han practicado la minería en mayor o en menor grado, de manera que se puede decir que la minería ha sido continua en el tiempo desde la prehistoria hasta nuestros días. Sin embargo actualmente la minería española en general, y la de los metales preciosos en particular, están ambas en horas bajas. Ante esta situación surgirían las preguntas: ¿Por qué están paradas hoy día las minas de metales preciosos del sudeste español? ¿Qué factores son los causantes de la situación actual de inactividad?

Francisco Hernández Ortiz
Doctor en Ciencias Geológicas. Repsol-YPF

Los yacimientos de oro y plata del sudeste español y su futuro inmediato, son el objetivo del presente trabajo. Pero para poder realizar un análisis especifico de todo ello, primero es necesario hacer un análisis general de la minería de metales preciosos y de los factores que la controlan.

LOS INICIOS

Hace unos 5.500 años es cuando aparecen los primeros indicios de minería de metales en el sudeste de la península, siendo en este momento en donde podemos situar la aparición de lo que se podría llamar minería económica.

Pero ¿por qué el termino minería económica? Desde su descubrimiento y utilización, el oro y plata (muy especialmente el oro) han sido dos metales cuyo uso ha ido estrechamente unido al concepto del poder. A diferencia del resto de los metales conocidos desde la prehistoria, el oro y la plata no eran normalmente utilizados para fabricar útiles (herramientas, armas y objetos de uso diario) sino que eran utilizados, en la mayoría de los casos, para fabricar elementos diferenciadores dentro de la incipiente sociedad (joyas y adornos).

Es decir, aparecen las primeras estratificaciones sociales marcadas por el diferente poder económico y/o social de los individuos dentro de una comunidad.

El primer pueblo que comerció con los metales del sudeste peninsular, fueron los fenicios, y sus operaciones consistían en trueques realizados con los habitantes de las costas, a quienes entregaban productos elaborados (perfumes, ungüentos, baratijas, etcétera) a cambio de la plata extraída en las minas de la zona.

LA ETAPA HISTÓRICA

Los cartagineses sustituyeron a los fenicios en su papel colonizador pero el principal objetivo era el de controlar la fuente de riqueza económica que suponían las minas de plata del sudeste y así tener opción a ser la potencia hegemónica en el Mediterráneo. Roma era su contrincante, manifestándose esta rivalidad a través de las tres guerras púnicas, cuyo punto de inflexión a favor de Roma, se dio cuando los romanos conquistaron las minas de Cartago Nova dando así un golpe de gracia a una de las principales fuente de riqueza que permitía a los cartagineses formar sus ejércitos. En la etapa moderna, Felipe II armaba sus tercios y movía sus piezas de política exterior según el

ritmo de llegada de las flotas que traían la plata desde América. En función de la cantidad de plata y oro que arribaban a Sevilla, el rey decidía que operaciones se realizarían contra sus enemigos en Europa. La conclusión de todo esto es muy simple: "a lo largo de la historia, la riqueza y poder una nación, ha estado estrechamente relacionada con la cantidad de metales preciosos que poseía".

LA EDAD CONTEMPORÁNEA

Pero los tiempos cambian y la economía también lo hace. En el siglo XIX se produce la revolución industrial y un país en donde predominaba la riqueza científica sobre la riqueza de metales preciosos, es capaz de dominar el mundo y crear un imperio como lo fue el Imperio Británico. Es el primer aviso de los profundos cambios políticos, sociales y económicos que se van a producir a escala mundial durante el siglo XX.

En los libros de Historia Económica se puede encontrar el proceso de cambio desde los antiguos sistemas económicos hasta las modernas economías fiduciarias de hoy en día. El proceso se inicia a mediados de siglo XIX y finalizará a principios del último tercio del siglo XX. En un sistema monetario metálico, históricamente las monedas han tenido un valor igual a su contenido metálico, el cual era fundamentalmente oro o plata. La riqueza de un país se medía por sus reservas de oro y plata. A mediados del siglo XIX, la mayoría de los países se regían por este tipo de sistemas, pero comenzó una evolución que se describe a continuación de una manera extremadamente sintetizada:

A. En 1868, se crea la Unión Monetaria Latina (Bélgica, Francia, Italia, Suiza).
   - Es uno de los gérmenes de la internacionalización del sistema monetario.
   - La Unión, adopta el clásico patrón-moneda bimetálico: plata-oro.

B. En 1878, la Unión Monetaria Latina abandona el bimetalismo.
   - Se mantiene solamente el patrón-moneda oro.

C. En 1929, la Gran Depresión hace tambalearse los cimientos económicos establecidos hasta ese momento (se revisan las bases de la economía internacional.)

D. En 1944, los principales países aliados se reúnen en Breton Woods y comienzan a sentar las bases de lo que será la economía de posguerra. Más tarde se creó un sistema monetario internacional con dos cambios para el oro (cambio oficial fijo y cambio privado que podía fluctuar.)

E. En 1971, se tambalea el sistema monetario salido de Breton Woods.
   - EEUU abandona la convertibilidad del dólar en oro.
   - Devaluación del dólar.

F. En 1973, se derrumba el sistema monetario salido de Breton Woods.
   - Nueva devaluación del dólar.

EVOLUCION HISTORICA DEL PRECIO DEL ORO EN EL MERCADO INTERNACIONAL

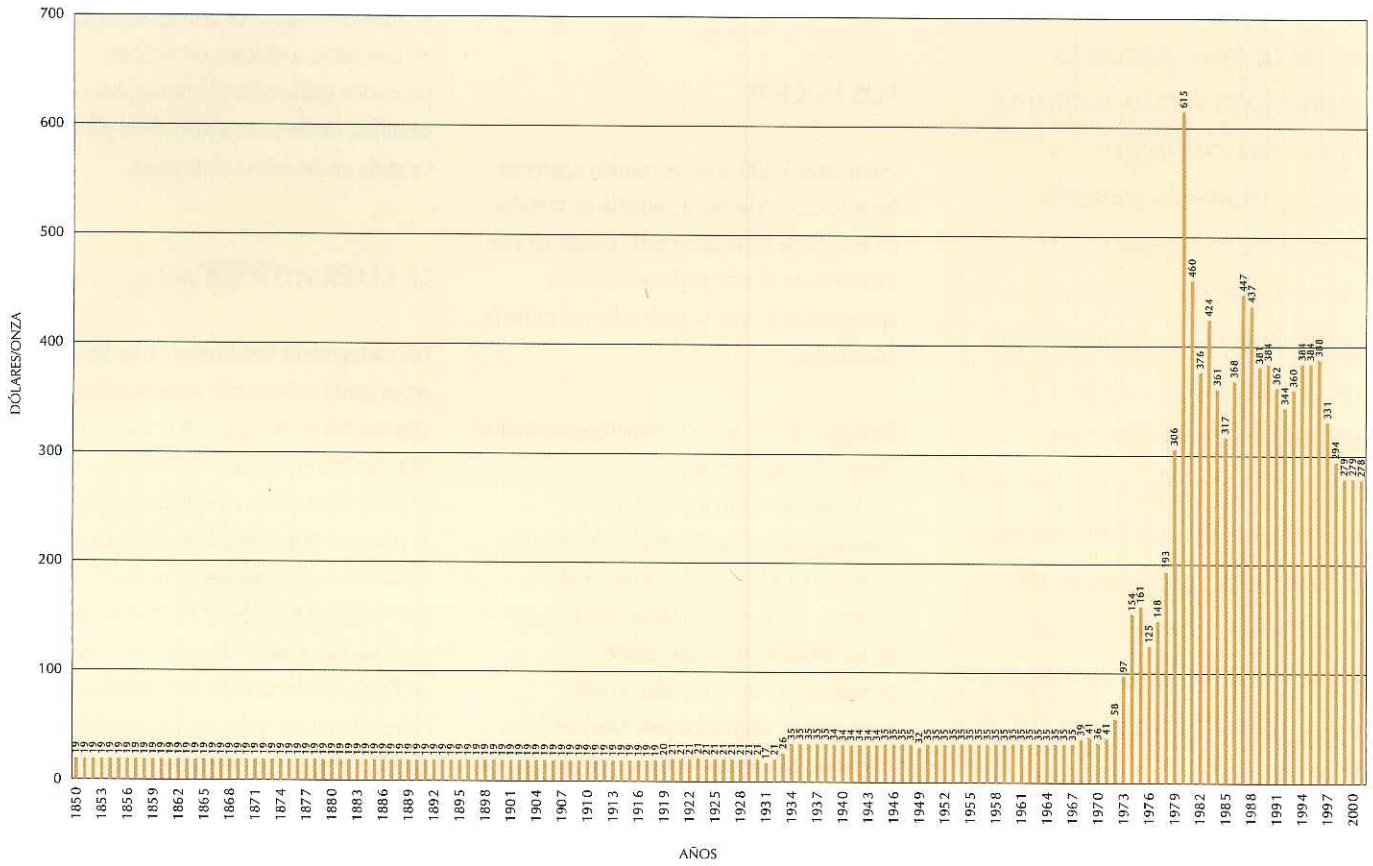


Figura 1. Evolución del precio del oro desde un tradicional sistema monetario metálico hasta el actual contexto económico fiduciario. Este ejemplo es similar para el resto de los metales. Años 1850 - 2001 (Fuente: The Gold Institute - www.goldinstitute.org).

- Crisis del petróleo.
- Fin de los cambios fijos de las principales divisas internacionales.
- Establecimiento definitivo de las monedas fiduciarias.

Toda esta serie de acontecimientos desembocará en el establecimiento de los sistemas fiduciarios. A partir de 1973, el valor de las monedas y de la economía de cada país lo marca la capacidad que tenga el citado país para generar riqueza (independientemente de sus reservas de oro y plata). La primera consecuencia de este cambio de economía metálico-fiduciario, se puede ver en el gráfico adjunto de precios del oro entre los años 1850 y 2001 (*figura 1*). Se observa como lo que antes era un valor fijo y prácticamente inalterable pasa a ser algo volátil y que depende del mercado, a partir del inicio de la década de los años 1970.

Actualmente, el precio del oro esta sujeto a fuertes oscilaciones en el mercado y su consecuencia directa es que una mina de oro, que en un año determinado es rentable, puede que al año siguiente se vea obligada a cerrar porque ya no lo es. Hoy en día, la principal baza para que una mina esté en actividad, no va a ser que se conozca geológicamente en detalle un yacimiento de metales preciosos, ni que se descubra una nueva tipología desconocida hasta ese momento, ni siquiera que se descubran nuevas técnicas metalúrgicas que permitan bajar la ley de corte para la explotación, tan solo va existir un factor determinante para que una mina de metales preciosos permanezca en actividad: rentabilidad.

Si esto es así, y solo la rentabilidad va a marcar la frontera entre la actividad o inactividad de una mina, debemos preguntarnos entonces de qué factores depende la rentabilidad. Los factores a tener en cuenta en la hipotética rentabilidad de un yacimiento, serán fundamentalmente dos: A) Tener un conocimiento exhaustivo del yacimiento de metales preciosos y B) Bajos costes operativos para poder sobrevivir a las crisis de precios del mercado de metales preciosos.

Tabla 1. ANALISIS ESTRATEGICO EXTERNO

Entorno general (economía, sociedad, política, tecnología, etc)	
• Perfil estratégico	• Elaborar una lista de factores y valorar cada uno de ellos. de 1-5.
• Método de los escenarios	• Contemplar diversos escenarios coherentes futuros.
• Método Delphi	• Solicitar la opinión de expertos respecto a algunas cuestiones.
• Método impactos cruzados	• La probabilidad de un suceso varía en función de que ocurra otro.
Entorno específico (minería)	
Fuentes de competencia horizontal (según Porter)	
• Amenazas de sustitución	• Depende del precio máximo que el mercado este dispuesto a pagar por el producto.
• Entrada de competidores	• Dependerá de la existencia de barreras de entrada: económicas, tecnológicas, operativas, etc.
• Existencia de competidores	• Número de competidores, tamaño de los competidores, grado de su diferenciación.
Fuentes de competencia vertical (según Porter)	
• Poder negociador de los compradores	• El producto es un commodity y por tanto no es un factor decisivo.
• Poder negociador de los proveedores	• No existen grandes diferencias entre los proveedores de la minería.

Ejemplo de análisis estratégico externo para la minería de metales preciosos. El entorno general se puede analizar utilizando alguno de los métodos propuestos, con el objetivo de conocer las oportunidades existentes en el mercado y que se puedan aprovechar por parte de la minería de metales preciosos. El entorno específico se puede analizar teniendo en cuenta los criterios de Porter, sobre cuáles pueden ser las fuentes de competencia horizontal y vertical, es decir, las amenazas para la minería de metales preciosos.

A partir de 1973, el valor de las monedas y de la economía de cada país lo marca la capacidad que tenga el citado país para generar riqueza (independientemente de sus reservas de oro y plata)

Una vez que se ha descubierto un yacimiento y se ha investigado en detalle, llega el momento de plantearse el hecho de si con ese yacimiento se va a conseguir rentabilidad, es decir, se va a recuperar más dinero del que se va a invertir. ¿Pero por qué esta obsesión con unos bajos costes operativos? Hoy en día las empresas, realizan un análisis estratégico externo e interno antes de abordar cualquier proyecto de inversión de cierta envergadura.
Con ello se pretende detectar las fortalezas y debilidades de la empresa (análisis estratégico interno), así como las amenazas y oportunidades existentes en el mercado (análisis estratégico externo).
La industria minera no es una excepción a estas tendencias y en función de sus características especificas realiza sus análisis correspondientes (ver *tablas 1 y 2*).

Tabla 2. ANALISIS ESTRATEGICO INTERNO

Análisis interno del sector

- ¿Qué quieren los clientes?
  - Un producto estándar.
- ¿Cómo sobrevive la mina?
  - Con unos bajos costos operativos, para sobrevivir a las
  - Posibles fluctuaciones de precios del mercado de metales preciosos.

Recursos de la empresa

- Tangibles
  - Aquellos medibles en una contabilidad (recursos económicos, inmuebles, etc).
- Intangibles
  - Aquellos no medibles contablemente (capacidad tecnológica, valía del equipo humano, etc).

Capacidades de la empresa

- Costes operativos
  - Factor clave en la minería de metales preciosos.
- Flexibilidad
  - Capacidad para adaptarse a los cambios: tecnológicos, laborales, económicos, legales, etc.

Benchmarking

- Evaluaciones comparativas con otras empresas del sector las comparaciones se pueden hacer a cualquier nivel y si es positiva se debe de adoptar (benchmarking en costos operativos, en seguridad, en sistemas financieros, en mejora continua del proceso, etc).

Ejemplo de análisis estratégico interno para la minería de metales preciosos, a través del cual se deben establecer sus fortalezas y sus debilidades.



Figura 2. Típico ejemplo de filón aurífero de los yacimientos de Rodalquilar (los más importantes del sudeste peninsular). Corresponde a una tipología epitermal de baja sulfuración plasmada en filones volcánicos que suelen tener un metro de potencia y no sobrepasan los 100 metros de profundidad. Este tipo de filones ha sido el mayoritariamente explotado durante la historia minera contemporánea de Rodalquilar y su volumen de material esta claramente por debajo y fuera del alcance de un mina del tipo del gigantismo actual.

Solo queda la posibilidad de alcanzar una ventaja competitiva a través de los costes, de ahí la obsesión de todas las compañías mineras por unos bajos costes operativos

Las características de la citada industria minera se pueden cuantificar y representar gráficamente en una matriz estratégica orgánica (*tabla 3*) y ver que la minería de Au y Ag es una industria del tipo maduro y que en función de la posición competitiva que sea capaz de alcanzar, se determinará su rentabilidad.

De nuevo se debe hacer otra pregunta, en este caso la de: ¿Cómo alcanzar una posición competitiva? (ver *tabla 4*).

Para el caso de los metales preciosos no existe posibilidad de segmentación del mercado ya que no se puede elegir a un determinado segmento de clientes para venderles solamente a ellos. Tampoco existe posibilidad de búsqueda de la diferenciación con el producto porque el oro y la plata son unos "commodity" y su precio es prácticamente el mismo en cualquier parte del mundo. Entonces solo queda la posibilidad de alcanzar una ventaja competitiva a través de los costes, de ahí la obsesión de todas las compañías mineras por unos bajos costes operativos. Es ahora cuando ha llegado el momento de hacernos

la pregunta que justifica la existencia de este trabajo: ¿Volverán a ponerse en producción los yacimientos de metales preciosos del sudeste de España en un futuro próximo?

Como se puede ver en ejemplos reales de ventajas en costes, existen minas como Yanacocha en Perú, donde es rentable la explotación de un metal precioso (en este caso el oro, pero el ejemplo es extrapolable a otros metales). Uno de los datos más destacables de Yanacocha es el del volumen de material que mueve diariamente y que es de aproximadamente 500.000 toneladas (150.000 de estéril y 350.000 de mineral). Esta impresionante cantidad de material tratado diariamente ha hecho que se consiga uno de los costes operativos más bajos del mundo y que la ley de corte sea inferior a 1 gramo de oro por tonelada. Sin entrar en detalles de laboreo y de tratamiento metalúrgico, ya tenemos el factor determinante de rentabilidad en Yanacocha, que no es otro que el volumen de material tratado. Debido a esto se ha comenzado a utilizar el concepto "gigantismo" para sintetizar en una sola palabra todas las características que reúne una mina de estas características, pero de las que podemos encontrar decenas de ejemplos similares alrededor del mundo. Todo debe ser "gigante": los camiones, las cargadoras, las cortas, el tonelaje de explosivos utilizados, el volumen de reactivos consumidos, etcétera.

En los yacimientos del sudeste de España siempre se ha trabajado con leyes auríferas muy superiores al gramo por tonelada, como por ejemplo en Rodalquilar (*figura 2*), donde Adaro trataba casi 200.000 toneladas de mineral al año, con unas leyes medias de 4 gramos de oro por tonelada. Pero en el sudeste español no se dan los volúmenes suficientes de mineral aurífero o argentífero para pensar tan solo en acercarse levemente al gigantismo de las actuales explotaciones mineras de metales preciosos.

Volviendo al ejemplo de Rodalquilar, en los momentos más optimistas en la investigación de la Sierra del Cabo de Gata, por parte de la compañía estatal Adaro, se llegó a insinuar la existencia de 75 millones de toneladas de mineral aurífero (que finalmente quedaron solo en cuatro). Con este volumen optimista de 75 millones de toneladas de mineral aurífero y explotándolo al ritmo de nuestro ejemplo de Yanacocha, Rodalquilar tendría mineral para tratar durante poco más de 200 días, espacio de tiempo claramente insuficiente para rentabilizar una inversión del gigantismo de las actuales minas en funcionamiento. Además se debe tener en cuenta que la mayoría de estas minas gigantes se encuentran localizadas en países donde la legislación medioambiental no es tan restrictiva como las legislaciones medioambientales existentes en Europa, que provocan unas grandes barreras económicas de salida debido al gasto necesario que se debe hacer en el momento de cerrar

MATRIZ ESTRATÉGICA ORGÁNICA

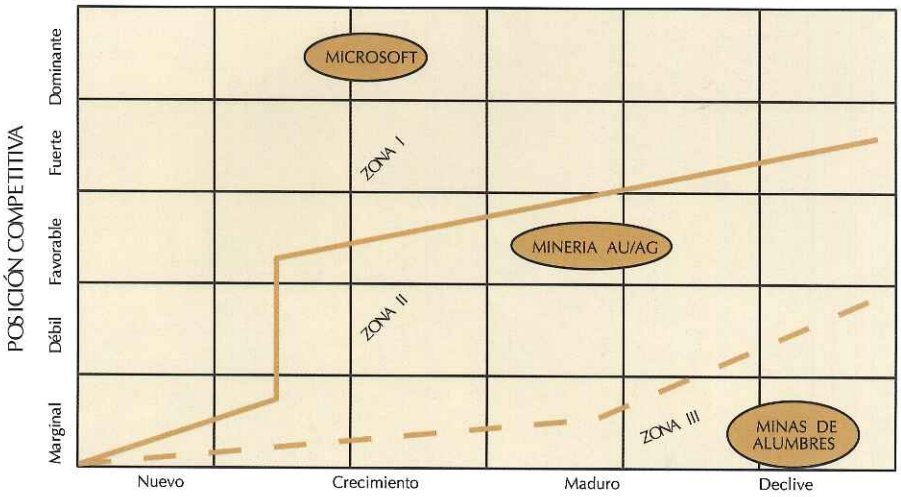


Figura 3. Una industria dominante y en crecimiento, como la industria informática representada por Microsoft, es un ejemplo donde se debe potenciar su desarrollo e invertir. Una industria marginal y en declive como la minería medieval de los alumbres, es una industria que se debe de abandonar y no invertir. El caso intermedio estaría bien representado por un tipo de industria como la minería de los metales preciosos, que en función de la posición competitiva en que sea capaz de colocarse, se deberá potenciar e invertir en ella o bien deberá de ser abandonada y no invertir en ella.

Tabla 3. VENTAJAS COMPETITIVAS

Estrategias para industriass maduras

• Segmentación y selección de clientes	(ejemplo en locomoción: Harley-Davidson)
• Búsqueda de la diferenciación	(ejemplo en escritura: Mont-Blanc)
• Ventaja en costes	(ejemplo en minería: mina Yanacocha)

Estrategias para la industria madura de la minería

- No existe posibilidad de segmentación
- No existe posibilidad de selección de clientes
- No existe posibilidad de obtenerse ventajas por diferenciación respecto al producto
- Existe la posibilidad de búsqueda de la diferenciación en los costes operativos
- Para obtener ventajas competitivas importantes en los costes, se tiende al gigantismo en las explotaciones mineras

Estrategias parar lograr ventajas competitivas para una industria con una baja tasa de crecimiento en los últimos años (ejemplo: industria madura de la minería).



Figura 4. Cantera aurífera del cerro del Cinto en los yacimientos de Rodalquilar. En la pared se pueden apreciar como son cortadas algunas galerías de interior. Este es el segundo tipo de criadero de Rodalquilar, representado por una tipología epitermal de alta sulfuración plasmada en diques de varios metros de potencia como el que se observa en la imagen. En el cerro del Cinto existen siete diques de este tipo que en su conjunto fueron cubicados en 4.000.000 de toneladas de mineral aurífero con leyes que rondaban los 4 gramos de oro por tonelada. Este volumen de material esta claramente por debajo y fuera del alcance de un mina del tipo del gigantismo actual.

Los yacimientos de metales preciosos del sudeste de España difícilmente serán rentables, independientemente de los logros que se alcancen en los campos de la investigación geológica, minera y metalúrgica

la mina y restaurar medioambientalmente lo que establezca la ley.

CONCLUSIONES

De esta manera llegamos a la conclusión de que en el actual contexto económico mundial, los yacimientos de metales preciosos del sudeste de España difícilmente serán rentables, independientemente de los logros que se alcancen en los campos de la investigación geológica, minera y metalúrgica. En el pasado no existían conceptos como: rentabilidad, amortización, costes, cuenta de resultados, balance de situación, etcétera. Pesaba muchísimo más la necesidad de obtener oro y plata como medio indispensable para lograr poder y hegemonía (contexto monetario metálico) que el hecho de hacerlo en unas determinadas condiciones de bajos costes (contexto monetario fiduciario). Si al antiguo contexto monetario metálico le unimos las ricas leyes que existían en los yacimientos de metales preciosos del sudeste peninsular, obtendremos como resultado el hecho de que se hallan explotado casi en continuidad durante los últimos 5.500 años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

– HERNÁNDEZ ORTIZ, F. (2003). Rodalquilar: Geología, Minería, Metalurgia y Patrimonio Minero. Tesis Doctoral dirigida por D. Octavio Puche Riart. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

Estudio informativo de la Radial 1: un itinerario geológico didáctico

La campaña de sondeos del Estudio Informativo de la autopista de peaje Radial I, alternativa a la nacional N-I, ha constituido un raro privilegio de asociar a un proyecto de Ingeniería Geológica el interés de un Itinerario Geológico Didáctico, que deseamos compartir en esta nuestra revista colegial. Esta oportunidad ha venido de la mano de nuestros colegas Ramón Roldán y Jesús Rubio, a quienes en estas líneas, manifiesto mi agradecimiento

Ignacio Piedra Morales
Geólogo

Por el norte, la provincia de Madrid se extiende hasta una larga distancia, ya en la sierra y, a diferencia de las demás radiales, la amplitud de las distintas alternativas de trazado estudiadas ha permitido reconocer una interesante variedad de entornos litológicos y estratigráficos, desde las rocas cristalinas paleozoicas del Sistema Central y las calizas mesozoicas del área de Torrelaguna, hasta buena parte de la secuencia de sedimentación terciaria y cuaternaria de la Cuenca del Tajo.

En su nivel de Estudio Informativo, el proyecto de la Radial I contempla varias alternativas que, partiendo de la M-40, al norte de la ciudad de Madrid, terminan pasado el puerto de Somosierra, discurriendo aproximadamente en paralelo a la actual N-I o, alternativamente, desviándose cerca de El Molar hacia el Este y pasando junto a Torrelaguna y El Berrueco, o partiendo a lo largo de la carretera de Colmenar, y pasando junto a Guadalix y Valdemanco, se vuelven a unir al trazado anterior en Lozoyuela o en Buitrago.

Grandes geólogos han estudiado durante décadas, los distintos aspectos científicos de cuanto hemos tenido oportunidad de recorrer; algunos de ellos nuestros mentores universitarios de la Complutense madrileña, con quienes, ya hace muchas lluvias, salíamos de prácticas, por estos mismos parajes y



Figura 1. "Pliegue Zaleski", Km 48 de la N-I. Migmatitas correspondientes al macizo de San Pedro (Venturada).

afloramientos... Venga al caso ese famoso "pliegue Zaleski", salvado por la decidida acción de, entre otros, nuestro maestro Paco Anguita, cuando desdoblaron la N-I.

Esta era parada obligada en primero de carrera, pero dudo que el ritmo actual de los tiempos y sobre todo de los coches y camiones, permita que ningún geólogo más se ilustre con ese magnífico pliegue acostado en las migmatitas de Venturada. A mí, desde luego, me resultó difícil hacer la fotografía (*figura 1*) que acompaño... aunque valió la pena.

Y de entre todos los estudios y documentos que han venido estos días a la mesa de mi despacho, perdónenme los puristas, mencionaré un pequeño libro del que seguro que muchos se acuerdan: "Excursiones Geológicas por la Región Central de España", de Fernando Meléndez y María José Morillo-Velarde, en el que en su primer capítulo precisamente se describía un itinerario muy parecido al estudiado y aquí ilustrado...

EL ZÓCALO HERCÍNICO

Pero vayamos por orden, en su camino desde las alturas, allá en el dominio de las formaciones rocosas hercínicas, los trazados estudiados nos han permitido reconocer granitos, gneises y migmatitas, micacitas, pizarras y esquistos, pegmatitas y pórfidos, cuarcitas, ... una variedad de rocas que sin ser tan abrumadora, claro, como la de la reciente Feria de la Piedra (año 2004), sí incluye algunos tipos tan dignos de estar en ella, como los que allí vimos... y para ejemplo, las granodioritas de El Berrueco (*figura 2*), Valdemanco, Bustarviejo...

Los granitos y los gneises son genéricamente las rocas más abundantes a lo largo del recorrido, predominando estos últimos, junto a otras rocas metamórficas, en la mayor parte del itinerario, desde la divisoria en Somosierra, por el valle del Lozoya y el macizo de San Pedro, hasta que se alcanzan las áreas de sedimentación terciaria: ya en el entorno de El Molar y de Tres Cantos.



Figura 2. Cantera de granodiorita "Granito Blanco Aurora", en El Berrueco.



Figura 3. Gneis glandular, con fenocristales orientados de feldespato, englobados por la foliación. Navalafuente.



Figura 4. Sondeo realizado para el Estudio Informativo de la Radial I, en el término de Horcajo de la Sierra.

GNEISES Y ROCAS METAMÓRFICAS

La extensa formación metamórfica que se desarrolla al norte y noroeste de la provincia madrileña está formada principalmente por gneises de distintas variedades estructurales, características de un metamorfismo regional profundo: gneises glandulares y migmatitas, los cuales han sufrido, en mayor o menor grado, procesos de granitización y deformación. Entre ambos tipos de gneises existen variedades intermedias que impiden el establecimiento de límites bien definidos. Frecuentemente, en los gneises glandulares destacan grandes fenoblastos de feldespato alcalino sobre el conjunto de la roca.
Las migmatitas tienen por su parte textura embrechítica, caracterizada por la alternancia de capas claras cuarzo-feldespáticas y oscuras micáceas, o textura nebulítica, en la que la foliación y los porfiroblastos apenas tienen desarrollo.
Algunos ejemplos muy vistosos de gneises glandulares los hemos podido observar junto a Navalafuente (*figura 3*), o en la carretera

Los granitos y los gneises son genéricamente las rocas más abundantes a lo largo del recorrido, predominando estos últimos, junto a otras rocas metamórficas

de Torrelaguna a La Cabrera, mientras que el más paradigmático ejemplo de migmatitas se encuentra en el ya mencionado "Pliegue Zaleski", en Venturada. Otros tipos rocosos minoritarios de gneises aplíticos y granitoides se encuentran intercalados entre los anteriores, habiéndose reconocido en la perforación de sondeos (*figura 4*).

A lo largo de la carretera de El Berrueco a Torrelaguna es posible observar una interesante secuencia en la que, pasados granitos y gneises, se encuentra una potente formación ordovícica muy verticalizada de pizarras bien foliadas y cuarcitas, estas últimas encontradas también en la zona de El Vellón, la cual representa una antigua serie marina de sedimentación pelítica en la que se intercalaron episodios de sedimentación detrítica. Ya en la bajada a la segunda población, se encuentra el contacto con el Cretácico.

El paisaje dominante en la zona de afloramiento del zócalo paleozoico emana de su condición de espacio montañoso, en cuyos suelos, y favorecidos por la climatología, se asientan bosques frondosos que esconden rincones de bucólica belleza. Al tiempo, la mano del hombre ha generado entornos urbanos tradicionales entre los que destaca Buitrago del Lozoya (*figura 5*), cuyas murallas y castillo medievales están construidos con los gneises sobre los que se asienta.

PLUTONES GRANÍTICOS

Los granitos por su parte están principalmente vinculados al Plutón de la Cabrera, el cual constituye, por su mayor dureza, una isla que sobresale entre los materiales metamórficos que lo circundan y con los que se encuentra en contacto intrusivo. Al apelativo general de granitos le corresponden en realidad una variedad de rocas entre las que se encuentran granodioritas, adamellitas y granitos calcoalcalinos, cuyos tránsitos progresivos impiden, al igual que ocurre con los distintos tipos de gneises, distinguirlos sobre el terreno.

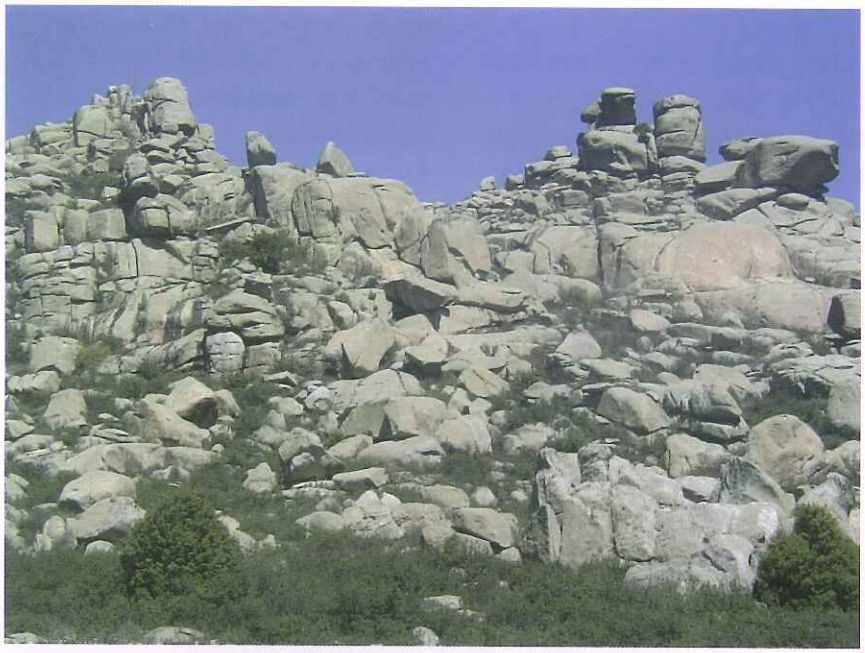


Figura 5. Buitrago, junto al río Lozoya. Arquitectura tradicional de mampostería con los gneises locales.

La génesis del magma granítico es cortical superficial, mediante procesos de anatexia, y su emplazamiento es contemporáneo con el metamorfismo regional de grado medio que experimentaron las rocas sedimentarias encajantes, sometidas al mismo tiempo a un proceso de "granitización" sobreimpuesto y también regional que modificó el grado del metamorfismo. Todo esto en un periodo comprendido entre 310 y 270 millones de años.

Desde lejos, la airosa silueta de la sierra de La Cabrera (*figura 6*), aserrada contra el cielo, refleja la dureza de las rocas graníticas que impide otra erosión que no sea a favor de las fracturas y diaclasas, y que de cerca se traduce en sus canchos y berrocales y piedras caballeras, algunas en milagroso equilibrio, entre los que no es difícil encontrar cristales hexagonales de cuarzo provenientes de los diques que intruyen en el macizo.

Entre las alternativas del trazado de la Radial I que se han estudiado en el marco del Estudio Informativo, resulta singular la posibilidad de cruzar la Sierra de La Cabrera, emboquillando en Valdemanco (*figura 7*), mediante un largo túnel excavado en granodioritas sanas, de tono gris azulado y grano medio, y ocasionalmente fino, aplítico. La salida del túnel se situaría en el valle de Lozoyuela, unos tres kilómetros más lejos. La escasa generación de suelos en el granito apenas da cobijo a una vegetación de pequeñas encinas y enebros, y jarales frecuentemente aferrados a las grietas húmedas de la roca, en la más abrupta ladera sur, mientras que en las navas y hondonadas de la ladera norte crecen algunos pinares. Más allá de la propia sierra, el batolito granítico sustenta robledales y fresnedas, ya en el entorno de El Berrueco (*figura 8*) y Siete Iglesias.







Arriba: figura 6. Paisaje de berrocal y piedras caballeras en el plutón de La Cabrera.
Centro: figura 7. Valdemanco, tradicional cuna de canteros, al pie de la sierra de La Cabrera y del pico Mondalindo.
Abajo: figura 8. Como Buitrago es al gneis, El Berrueco es al granito. Al fondo, el pantano de El Atazar.

EL MESOZOICO

Un nuevo dominio geológico de edad cretácica sustituye al hercínico hasta ahora descrito, en tránsito hacia el Terciario, y en el que los recorridos alternativos estudiados se adentran brevemente junto a Soto del Real, o más francamente, en Torrelaguna.

Estos depósitos solamente son visibles en pequeñas franjas adosadas al bloque hercínico, rápidamente ocultas bajo los depósitos terciarios y cuaternarios de la Cuenca del Tajo. A lo largo de toda la región, el Cretácico es muy homogéneo en cuanto a la naturaleza y disposición de sus capas, siendo especialmente ilustrativa la serie que puede observarse en los afloramientos que se encuentran en la bajada desde El Berrueco, junto a Torrelaguna (*figura 9*), y en donde ya hace más de un siglo y medio Casiano de Prado estudiaba la geología de la provincia de Madrid.

Progresivamente se identifica una base detrítica continental, arenosa y arcillosa, de escasa potencia, la cual equivale a la formación Utrillas albense, discordante sobre pizarras muy verticalizadas de edad Ordovícico. Sigue una serie marina alternante de margas y dolomías cenomanenses, en disposición monoclinal, con una potencia importante. Se trata de calizas margosas, muy tableadas, dolomías brechoides y dolomías micríticas y cristalinas, en bancos potentes.

Al noroeste de Torrelaguna, el pequeño valle del arroyo San Vicente conjuga un singular interés morfoestructural, en el que las capas de dolomías cretácicas, replegadas en sinclinal y anticlinal por el cabalgamiento alpídico de los gneises glandulares, se encuentran verticalizadas, resaltando con notable contraste sus niveles más duros en el relieve (*figura 10*).

LA CUENCA DE MADRID

Pertenecientes a la Cuenca del Tajo, los terrenos recorridos por las distintas alternativas pasan a estar integrados por



Figura 9. Dolomías cenomanenses en la bajada a Torrelaguna, desde El Berrueco, dispuestas en bancos de buzamiento SO.

Figura 10. Costillar de dolomías y margas alternantes, en el valle del arroyo San Vicente, en Torrelaguna.



Figura 11. Testigo de la facies de conglomerados paleógenos. Canto de gneis en matriz terrosa rojiza. Venturada.





Figura 12. Arcosas miocenas en un talud en San Agustín de Guadalix. El depósito de arenas, con algunas gravas, muestra laminación cruzada.



Figura 13. Río Guadalix junto a Santo Domingo.

A diferencia del Neógeno, muy extenso, el Paleógeno solamente tiene notable representación en el amplio valle que se extiende entre Venturada y Torrelaguna

sedimentos de edad terciaria y cuaternaria, a partir del contacto rectilíneo, discordante tanto sobre el substrato hercínico como sobre el mesozoico, que extendiéndose por delante de la Sierra de Guadarrama pasa por las localidades de El Molar y Tres Cantos. A diferencia del Neógeno, muy extenso, el Paleógeno solamente tiene notable representación en el amplio valle que se extiende entre Venturada y Torrelaguna, limitado al sur por el macizo gneisico deSan Pedro.

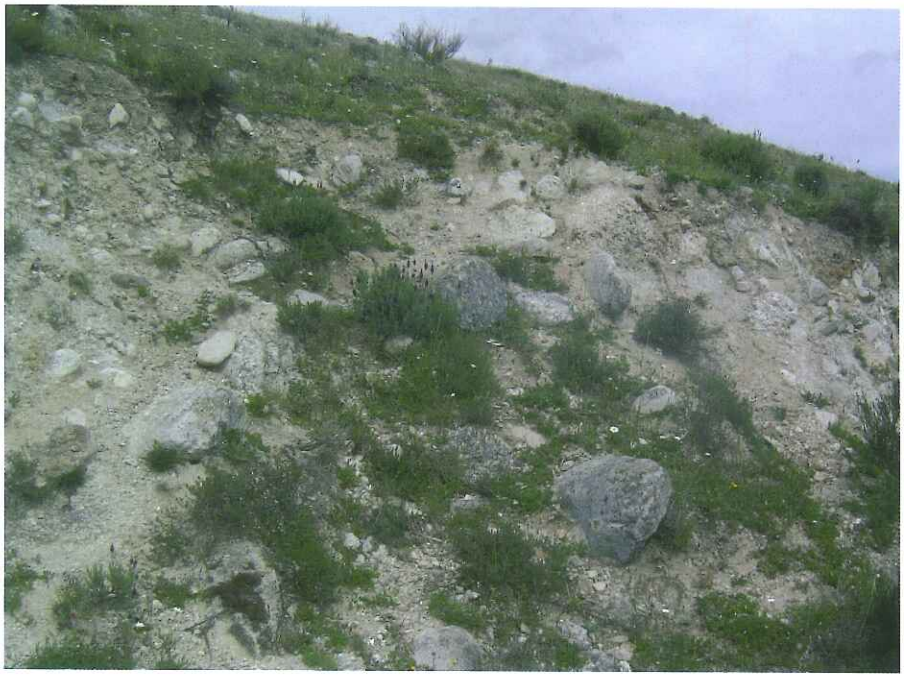


Figura 14. Talud excavado en un cono de deyección cuaternario, con bloques polimícticos y matriz arenosa. El Molar.

La unidad cenozoica se inicia con los depósitos detríticos oligocenos de génesis endorreica, alimentada por abanicos aluviales del borde de la cuenca, de los que son característicos los conglomerados de cantos polimícticos, a veces de considerable tamaño, más o menos rodados y empastados en tierras arcillosas rojas cementadas, muy visibles en los desmontes de la autovía N-I frente al pueblo de Venturada (*figura 11*).

Los depósitos neógenos, arcósicos (*figura 12*), igualmente generados en ambientes sedimentarios de abanicos aluviales surcados por una red divagante de canales entrelazados de alta energía, ocupan una extensa llanura al pie del Sistema Central y son a su vez discordantes sobre el Paleógeno. Su peculiar granulometría en la que los niveles más groseros prograden sobre los más finos refleja un aumento en la energía de deposición del medio, a medida que se levantaba la Sierra de Guadarrama. Al tiempo, en los momentos de desbordamiento, se producía la sedimentación de limos y arcillas.

La llanura miocena ocupa una parte importante de los trazados estudiados, enlazando las elevaciones montañosas con la Fosa del Tajo. Desde su arranque, marcado por una ruptura de las pendientes, hasta las estribaciones urbanas de Madrid, configura un paisaje alomado y cerealista, degradado por la incisión fluvial (*figura 13*), a algunos de cuyos cursos, los más importantes, se le asocian diversos depósitos cuaternarios fluviales: terrazas, aluvial, que alcanzan cierta entidad.

Otros depósitos cuaternarios a lo largo del itinerario son los que generan los modelados gravitacionales: glacis, conos de deyección (*figura 14*), pequeñas cubetas endorreicas y, sobre todo cerca ya de la ciudad, rellenos y vertidos antrópicos.

Nuestra Sede Colegial asediada

Un reflejo de la importante actividad económica que se está desarrollado en la Comunidad Autónoma de Madrid y en la propia capital, ha tenido un claro exponente en las puertas de nuestra Sede Central del ICOG. En un año se ha remodelado la Glorieta de Cuatro Caminos, avenida de Reina Victoria y Raimundo Fernández Villaverde, se ha demolido y edificado un edificio en el antiguo mercado de San Antonio, frente a nosotros, y se ha construido un importante hotel en nuestra misma acera dos números de calle más abajo.

En nuestro entorno visual y al pie de nuestra sede, se ha desmontado el paso superior sobre la glorieta de Cuatro Caminos y sustituido por un importante túnel urbano que cruza entre tres líneas de metro y varias galerías de servicios; todas ellas en funcionamiento durante su construcción. Dicho túnel se ha realizado en un plazo record, sin incidentes y cumpliendo escrupulosamente los plazos previstos para sus obras. Todo un record.

El mercado de San Antonio se ha demolido, manteniendo sus características fachadas neomudéjares de ladrillo con decorados cerámicos, y el edificio del antiguo Cine Metropolitano, que se había transformado en un restaurante de bodas y banquetes, el Edificio Windsor, ha sido sustituido por el hotel de cuatro estrellas Jardín Metropolitano.

En este pequeño artículo presentamos una secuencia fotográfica de los trabajos constructivos. La obra principal "el túnel" que sustituye al paso superior de la avenida, lógicamente no se ve, pero sí las obras y actividad que ha generado en superficie. Un aspecto poco conocido por no ser directamente visible desde la calle es la galería de salida a la superficie en este punto de las cocheras del metro de Madrid.

La secuencia de los acontecimientos es:

- 27/11/03. El paso superior de Cuatro Caminos está en funcionamiento. En el mercado de San Antonio (a la derecha) se ha realizado su vaciado e instalado la grúa torre para la construcción del nuevo edificio. Se puede ver al fondo la torre Picaso y, en el borde izquierdo, el edificio de la sede del Colegio. En el centro abajo la salida a la superficie del Metro de Madrid a la zona de antiguas naves de mantenimiento.




23-02-2004


01-04-2004


03-05-2004


25-05-2004


09-08-2004


28-10-2004





- 23/02/04. Se inicia el vaciado del terraplén del paso superior. En la finca casi colindante con la del Colegio se ha realizado el vaciado del solar y se realizan trabajos de hormigonado de micropilotes. La estructura del antiguo mercado tiene ya cuatro plantas.
- 01/04/04. Progresan las cimentaciones del hotel, crece la estructura del antiguo mercado y del paso superior solo queda el estribo de la Avenida de Reina Victoria.
- 03/05/04. Ha desaparecido por completo el paso superior sobre la glorieta de Cuatro Caminos. Se inicia la construcción de las pantallas del túnel. La estructura del edificio del antiguo mercado esta casi terminada.
- 25/05/04. Los trabajos en superficie de construcción de las pantallas del túnel originan una concentración de maquinaria pesada importante en el bulevar central de la avenida. Puede observarse la dimensión de las maquinas y altura de las armaduras en relación a nuestro edificio.
- 09/08/04. El hotel crece, rellenando su espacio. El edificio del antiguo mercado progresa tras sus redes y se trabaja en el interior del túnel, tras casi finalizar los trabajos en superficie.
- 28/10/04. Todo avanza. El tráfico en la superficie, y bajo ella, no se ha interrumpido en ningún momento.
- 27/12/04. Tras tanto movimiento parece que las cosas se terminaran algún día.
- 15/03/05. Todo se ha mejorado y mucho. Parece que siempre fue así.

Carlos Manera Bassa
José Ignacio Gallego García

Ficheros de datos del ICOG

BOE núm 143, Jueves 16 de junio de 2005

Acuerdo de la Junta de Gobierno del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos por el que se aprueba la creación de ficheros de datos de carácter personal para el ejercicio de funciones públicas

La existencia de ficheros de datos de carácter personal y los avances tecnológicos, singularmente los informáticos, suponen posibilidades de intromisión en el ámbito de la privacidad e intimidad, así como de limitación y vulneración del derecho de autodisposición de las informaciones que son relevantes para cada persona. Por ello el ordenamiento jurídico reconoce derechos en este campo y establece mecanismos para su garantía. La Constitución Española, en su artículo 18, reconoce como derecho fundamental el derecho al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen, y establece que la "ley limitará el uso de la informática para garantizar el honor y la intimidad personal y familiar de los ciudadanos y el pleno ejercicio de sus derechos". El Tribunal Constitucional, interpretando este artículo, ha declarado en su jurisprudencia, especialmente en su sentencia 292/2000, que el mismo protege el derecho fundamental a la protección de datos de carácter personal, otorgándole sustantividad propia. Derecho que la doctrina ha denominado como "derecho a la autodeterminación informativa" o "derecho a la autodisposición de las informaciones personales" y, que, cuando se refiere al tratamiento automatizado de datos, incluyen en el concepto más amplio de "libertad informática".

La Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal establece un conjunto de medidas para garantizar y proteger aquel derecho fundamental.

Por su parte, los Colegios Profesionales son Corporaciones de Derecho Público, con personalidad jurídica propia y plena capacidad para el cumplimiento de sus fines, que, respecto de determinadas materias, ejercen potestades o funciones públicas. Según viene interpretando la Agencia Española de Protección de Datos la normativa vigente, los ficheros con datos de carácter personal creadospara el ejercicio de esas potestades públicas se encuentran sometidas al régimen de los ficheros de titularidad pública contenido en los artículos 20 y siguientes de la Ley Orgánica.

El normal funcionamiento de la actividad colegial impone la aplicación de técnicas informáticas a los ficheros del Colegio, haciéndose preciso la creación de determinados ficheros.

La creación de ficheros automatizados es una competencia incardinable en las funciones de dirección y administración del Colegio, cuyo ejercicio, conforme al artículo 47 de los Estatutos del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos aprobados por Real Decreto 1378/2001, de 7 de diciembre, corresponde a la Junta de Gobierno. La creación de ficheros que se va a acordar se ajustará a los términos y condiciones fijados para los ficheros de titularidad pública, tanto en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD), como en el Real Decreto 1332/1994, vigente de conformidad con la Disposición Transitoria Tercera de la LOPD, y determinará la supresión de la inscripción del fichero inscrito en la Agencia Española de Protección de Datos denominado "Geólogos 97" que, hasta ahora, servía para las finalidades y usos de los que se crean.

Por todo ello, la Junta de Gobierno -consciente de la importancia capital de la protección de datos para la salvaguarda de la dignidad e intimidad de las personas, en general, y de sus colegiados, en particular, y del cumplimiento de la legislación vigente- en virtud de las mencionadas normas aplicables y en uso de las facultades atribuidas por el artículo 6 de la Ley 2/1974, de Colegios Profesionales en relación con el artículo 47 de los Estatutos del Colegio, acuerda:

Primero.-*Creación de ficheros*: Crear los ficheros automatizados de datos de carácter personal para el ejercicio de funciones públicas denominados "Base de Datos de Colegiados", "Registro de Geólogos Peritos" y "Base de Datos de Visados", conforme con las especificaciones contenidas en los anexos I, II y III del presente Acuerdo.

Segundo.-*Medidas de seguridad*: Los ficheros que mediante el presente Acuerdo se crean cumplirán las medidas de seguridad establecidas en el Real Decreto 994/1999, de 11 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Medidas de Seguridad de los Ficheros Automatizados que Contengan Datos de Carácter Personal, y, en su caso, se adaptarán a las medidas que pudieran establecer sucesivas normas aplicables protectoras de datos de carácter personal.

Tercero.-*Publicaciones*: De conformidad con lo previsto en el artículo 20.1 de la Ley 15/1999, este Acuerdo se publicará en el Boletín Oficial del Estado. Asimismo, de conformidad con el artículo 67 de los Estatutos del Colegio, se publicará en el Boletín Informativo del Colegio.

Cuarto.-*Registro en la Agencia Española de Protección de Datos*: Una vez efectuada la publicación a la que se refiere el apartado anterior, se notificará a la Agencia Española de Protección de Datos la creación de los ficheros mediante el oportuno registro de los modelos normalizados de declaración de ficheros.

Quinto.-*Entrada en vigor*: El presente Acuerdo entrará en vigor el día siguiente de su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

Disposición transitoria

Una vez publicado este Acuerdo en el Boletín Oficial del Estado y una vez que conste el registro de los nuevos ficheros de titularidad pública se procederá a la supresión del fichero inscrito en la Agencia Española de Protección de Datos como fichero privado denominado "Geólogos 97".

En Madrid, a 20 de septiembre.-La Junta de Gobierno del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.

Anexo I

Base de Datos de Colegiados

1. Finalidad del fichero y usos previstos: Registro de colegiados para el cumplimiento de las funciones colegiales legal y estatutariamente atribuidas al Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. Gestión de las relaciones con los colegiados.
2. Personas o colectivos sobre los que se pretenda obtener datos de carácter personal o que resulten obligados a suministrarlos: Colegiados del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
3. Procedimiento de recogida de los datos de carácter personal: Formularios. Transmisión electrónica de datos/internet.
4. Estructura básica de ficheros y descripción de los tipos de datos de carácter personal:
   Datos de carácter identificativo: DNI/NIF. Nombre y apellidos. Dirección (postal, electrónica). Teléfono. Número de colegiado.
   Datos de características personales: Fecha de nacimiento. Sexo.
   Datos académicos y profesionales: Formación, titulaciones. Pertenencia a Colegios Profesionales. Condición de Perito.
   Datos de detalle de empleo: Puestos de trabajo. Inclusión en la bolsa de empleo.
   Datos económicos-financieros: Datos bancarios.
5. Cesiones y transferencias: No previstas.
6. Órgano responsable: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
7. Servicio o unidad ante el que pueden ejercitarse los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición: Secretaría del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
8. Nivel y medidas de seguridad: Las medidas de seguridad correspondientes al nivel básico, de acuerdo con lo contemplado en el Real Decreto 994/1994, de 11 de junio.

Anexo II

Registro de Geólogos Peritos

1. Finalidad del fichero y usos previstos del mismo: Registro de colegiados que voluntariamente se inscriben en los listados de Peritos para realizar peritaciones en procedimientos judiciales.
2. Personas o colectivos sobre los que se pretenda obtener datos de carácter personal: Colegiados del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
3. Procedimiento de recogida de los datos de carácter personal: Formularios. Transmisión electrónica de datos/internet.
4. Estructura básica de ficheros y descripción de los tipos de datos de carácter personal:
   Datos de carácter identificativo: DNI/NIF. Nombre y apellidos. Dirección (postal, electrónica). Teléfono. Número de colegiado. Provincia.
   Datos académicos y profesionales: Especialidad. Referencia a los requisitos de acceso.
5. Cesiones y transferencias: No previstas.
6. Órgano responsable: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
7. Servicio o unidad ante el que pueden ejercitarse los derechos de acceso, rectificación, cancelación, y oposición: Secretaría del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
8. Nivel y medidas de seguridad: Las medidas de seguridad correspondientes al nivel básico, de acuerdo con lo contemplado en el Real Decreto 994/1999, de 11 de junio.

Anexo III

Base de Datos de Visados

1. Finalidad del fichero y usos previstos del mismo: Gestión de la función estatutaria del Colegio de visado de trabajos profesionales. Gestión de cobros.
2. Personas o colectivos sobre los que se pretenda obtener datos de carácter personal o que resulten obligados a suministrarlos: Colegiados del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
3. Procedimiento de recogida de los datos de carácter personal: Entrevista personal. Formularios. Transmisión electrónica de datos/internet.
4. Estructura básica del fichero y descripción de los tipos de datos de carácter personal:
   Datos de carácter identificativo: DNI/NIF. Nombre y apellidos. Dirección (postal, electrónica). Número de colegiado.
   Datos académicos y profesionales: Pertenencia a Colegios Profesionales.
   Datos económicos-financieros: Presupuesto del trabajo a visar. Importe del visado.
   Datos de transacciones: Servicios suministrados por el afectado.
5. Cesiones y transferencias: No previstas.
6. Órgano responsable: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
7. Servicio o unidad ante el que pueden ejercitarse los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición: Secretaría del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
8. Nivel y medidas de seguridad: Las medidas de seguridad correspondientes al nivel básico, de acuerdo con lo contemplado en el Real Decreto 994/1999, de 11 de junio.

Madrid, 20 de septiembre de 2004.-El Secretario General del ICOG, Manuel Regueiro y González-Barros.- 33.447.

Una visión ampliada de la teoría de placas tectónicas

Las ideas que a continuación se exponen, son el resultado de una pregunta muy simple, y es si la deriva actual de la placa Árabe, no podría ser una consecuencia directa de la colisión de las placas India y Euroasiática. Los desplazamientos de la placa India, antes de la colisión, y los de las placas Árabe y Euroasiática después de ella, son perfectamente compatibles con dicho supuesto. Lo mismo sucede respecto a la sucesión temporal de los acontecimientos

Octavio Apalategui Isasa
Geólogo. Universidad de Extremadura

Con estas premisas se intentó ver si este mecanismo, que no obedece a los esquemas pasivos de la teoría de la Tectónica de Placas, podría extrapolarse a algún otro punto, y si dicha teoría no podría explicarse como una sucesión de acontecimientos derivados unos de otros, debido a la transmisión de inercia en los procesos de colisión.
La conclusión alcanzada, como más adelante se expone, es que la colisión de la placas India y Euroasiática es una singularidad que condiciona la evolución geológica posterior de su entorno próximo. En el resto del planeta, las estructuras funcionan según los esquemas pasivos de la teoría de la Tectónica de Placas.

Para abordar el trabajo se analizó primero el desplazamiento de las placas, que proponemos que se producen por la suma de dos movimientos elelmentales y simultáneos de dirección N-O y E-O. Estos movimientos, dan lugar a márgenes de placas de esa misma dirección, y están originados a su vez, por dos fuerzas simultáneas y perpendiculares, derivadas ambas del movimiento de rotación de la Tierra que son: a) las fuerzas tangenciales (fuerzas Eötvös), y b) las fuerzas motivadas por la deriva hacia el oeste de la litosfera respecto al manto (westdrift).

La exposición del trabajo, se aborda discriminando entre los procesos geodinámicos normales o pasivos, y los no pasivos.

ANTECEDENTES

Es relativamente reciente la idea de que los continentes se mueven, y si bien esta fué expuesta con claridad a mediados del siglo XIX por Snider (1858), no es hasta principios del siglo XX que se difunde y acepta la teoría de la "Deriva de los Continentes". Cabe destacar al respecto los trabajos de A. Wegener, y en concreto su libro "El origen de los Continentes y los Océanos" (1915-1929), que tuvo gran aceptación, y fue motivo de muchas discusiones y controversias, como la planteada por el geofísico H. Jeffreys, que argumentaba la imposibilidad de movimientos de masas rocosas sólidas.

Trabajos posteriores como los realizados por Fisher et al. (1955) sobre las fosas del Pacífico, y otros sobre la estructura de la Tierra, como el de Anderson (1962) sobre la capa plástica del manto terrestre, así como el de Vine (1966) sobre la teoría de la expansión de los fondos oceánicos, han proporcionado los datos necesarios para la propuesta de una teoría convincente que explica la deriva de los continentes, su cinemática y mecanismos, que se conoce como teoría de las "Placas Tectónicas", la cual ha alcanzado gran difusión y aceptación.

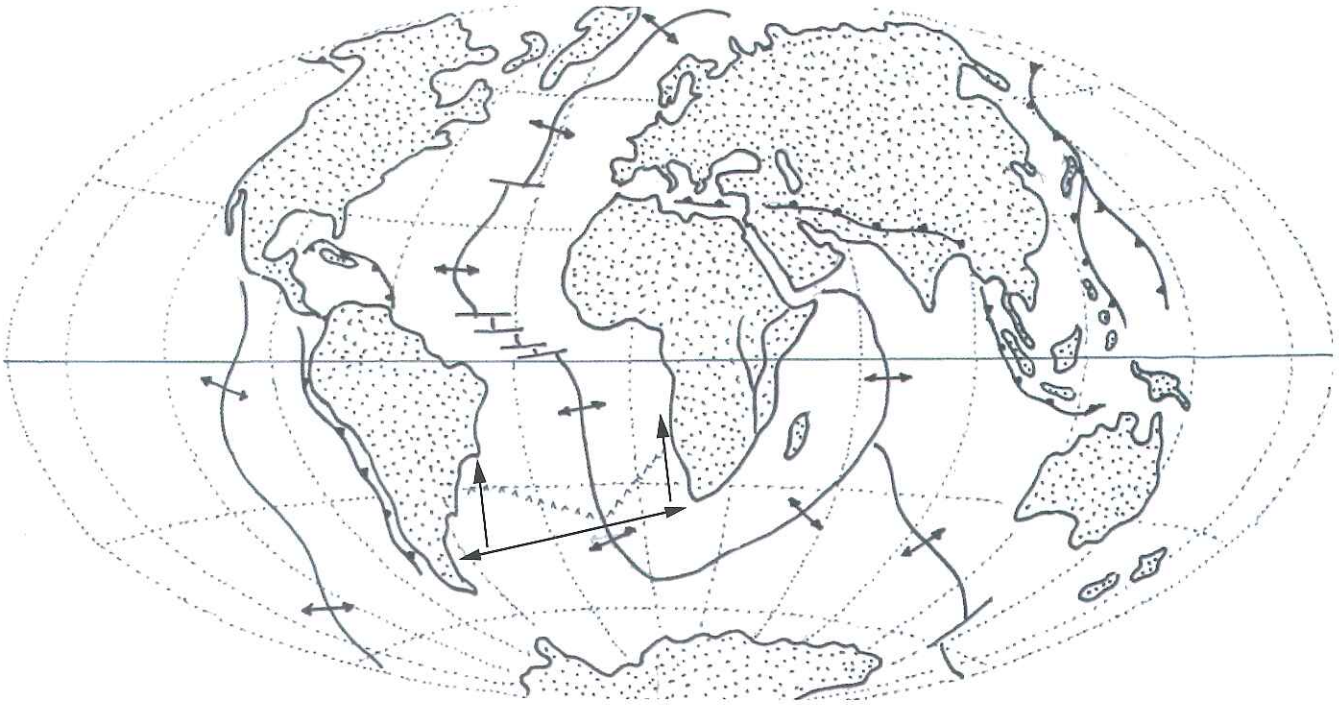


Figura 1. Mapa en el que se señalan las principales dorsales, cadenas y rift actuales.

Según la teoría de las Placas Tectónicas, la corteza terrestre está formada por un mosaico de placas rígidas, compuesta cada una de ellas por masas continentales y oceánicas que se mueven unas respecto a otras. Los bordes o márgenes de placas son zonas tectónicamente activas, y se dividen en: a) márgenes destructivos (una placa se sumerge bajo la otra y se desliza hacia el manto), b) márgenes constructivos (una placa se separa respecto a la adyacente, y el hueco se rellena por material basáltico procedente del manto) y c) márgenes transformantes (una placa se desliza respecto a la adyacente). Los continentes se desplazan de forma solidaria y pasiva junto a trozos de cortezas oceánicas de una misma placa, y dichos desplazamientos sólo son un reflejo de los procesos de destrucción o construcción de corteza oceánica en los límites entre placas.

La teoría de las Placas Tectónicas justifica la mayoría de los procesos geológicos que se observan a escala de la corteza terrestre, y de ahí su éxito. Existen, no obstante, alguno de ellos, que no se explican bien, y en este sentido cabe destacar la hipótesis planteada por Molnar y Tapponnier (1975) respecto a la colisión de las placas India y Euroasiática,

Los continentes se desplazan de forma solidaria y pasiva junto a trozos de cortezas oceánicas de una misma placa y dichos desplazamientos sólo son un reflejo de los procesos de destrucción o construcción de corteza oceánica en los límites entre placas

que interpretan como una autentica incrustación de la primera en la segunda, que formaría la cordillera de los Himalayas, y la elevación de la meseta del Tibet. Esta hipótesis ha sido comentada por Miyashiro et al. (1982) en su libro Orògeny, donde llama la atención de sus implicaciones sobre la teoría de las Placas Tectónicas, ya que no obedece a los esquemas pasivos propuestos. Tampoco existe acuerdo respecto al origen de las fuerzas que dan lugar a la deriva continental, en principio se supuso que era debido a corrientes de convección en el manto (Elsasser, 1969), posteriormente Forsyth and Uyeda (1975) proponen que son originadas por las fuerzas de gravedad desarrolladas en los límites de placas (ridge push y slab pull). Muchos otros autores han propuesto que la deriva continental está provocada por el movimiento de rotación de la Tierra (Wegener, 1915, Bostrom, 1971, Nelson and Temple, 1972, Uyeda and Kanamori, 1979, Ogniben, 1985, etc).

PROCESOS GEODINÁMICOS NORMALES O PASIVOS

Si se mira un mapa en el que se representan los grandes rasgos de la corteza litosférica

actual, (*figura 1*), y con la excepción ya apuntada del área del océano Indico, se observa que los límites actuales entre placas no se distribuyen al azar. Las grandes dorsales oceánicas (atlántica, pacífica), y las zonas de rift, se orientan con dirección preferente N-S, sobre todo en las zonas próximas al Ecuador terrestre, y cambian su dirección cuando se acercan a los polos. Lo mismo sucede con muchas cadenas de subducción (Andes, Centroamericana, etc.), y con muchos arcos insulares (Kuriles- Aleutianas, Japón, Mariana, Tonga, etc.). En contraste con esta posición se observa un conjunto de estructuras de orientación E-O, próximas al Ecuador terrestre, entre las que destacan los arcos de las Antillas y Java-Nuevas Hébridas, y el conjunto de cadenas del borde sur de la placa Eurasiática. En síntesis, y a grandes rasgos, se puede decir que existen dos grandes grupos de límites de placas, el primero de dirección N-S, que desarrolla márgenes constructivos y destructivos (solo cadenas de subducción), el segundo es de orientación E-O, y se caracteriza por el desarrollo exclusivo de márgenes destructivos de placas.

Límites de placas de dirección E-O

Los límites de placas de dirección E-O corresponden a un conjunto de cadenas, y arcos de isla con esa dirección, situadas todas ellas próximas al Ecuador terrestre, si bien ligeramente desplazadas hacia el norte. Estas estructuras posiblemente se formen como consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra, el cual provoca un estado de esfuerzo que se traduce en una tendencia de cualquier punto de la Tierra a desplazarse hacia el Ecuador (Eötvós 1913). Las fuerzas tangenciales son contrarias en ambos hemisferios, son máximas en latitudes de 45°, y decrecen de forma gradual hacia los Polos y el Ecuador, donde su valor es cero. Estas fuerzas son las propuestas por Wegener en la teoría de la Deriva Continental, y provocan un desplazamiento de las placas litosféricas hacia el Ecuador terrestre, que se resuelve mediante la formación de márgenes destructivos (arcos insulares y cadenas de subducción y colisión) de dirección E-O, próximas al Ecuador. Así se justificaría la formación de algunas de las estructuras actuales más llamativas, como es el arco de las Antillas, producido por el encuentro entre las placas de América del Norte y Sur, o las cadenas alpinas Mediterráneas, originadas igualmente por el choque entre las placas Africana y Eurasiática.

Una placa litosférica cuyo centro de masa se situara próxima a los polos, no estaría afectada por estas fuerzas y tendería a permanecer en esa posición, además en los bordes de dicha placa, solo podrían desarrollarse márgenes constructivos, ya que cualquier placa adyacente tendería a desplazarse hacia el Ecuador. Este sería el caso de la placa de la Antártida, que se ha mantenido prácticamente fija, sin variar su posición en los últimos 200 m.a. y que además no desarrolla fosas en sus límites.

Los límites de placas de dirección E-O, están sistemáticamente desplazados hacia el norte, unos 20° en el caso del arco de las Antillas, y unos 30° o más en el caso de las cadenas del borde sur de la placa Euroasiática.

Los valores calculados para la fuerza Eötvös según el modelo clásico de Epstein (1920), para una masa aislada flotando en condiciones de equilibrio, se consideran insuficientes como para superar las fuerzas de roce entre la litosfera y la astenosfera. Sin embargo los nuevos cálculos obtenidos por Geodecke and Ni (1991) utilizando un modelo de una litosfera esferoidal oblata en condiciones de no equilibrio, son cuatro veces superiores a los anteriormente calculados. Al margen de estas consideraciones, y como ya hemos apuntado, estas no son las únicas fuerzas que actúan en los desplazamientos de las placas, sino que actúan otras fuerzas que se componen con ellas, que habría que tener en cuenta a la hora de hacer los cálculos.

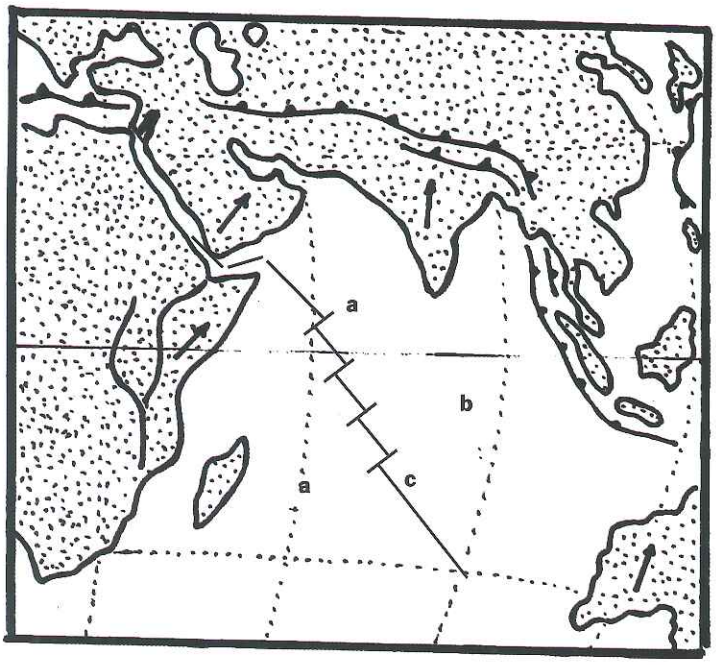


Figura 2. Mapa del sur de Asia, Africa oriental y océano Indico: a) Meseta Chacos-Laccadive, b) Cordillera de Bengala, c) Dorsal índica.

Límites de placas de dirección N-S

Los límites de placas de dirección N-S, corresponden, como ya se ha comentado, a márgenes constructivos y destructivos (cadenas de tipo andino), que funcionan de forma pasiva, y que cambian su dirección en las proximidades de los polos. Estas estructuras se forman como consecuencia de la deriva de la litosfera respecto al manto (westdraif) producida por la rotación de la Tierra (Le Pichon, 1968), que se manifiesta por un retardo de la primera, que según Smith and Lewis (1999) es del orden de 5 cms/año, valor este congruente con los desplazamientos asociados a los límites de placas de dirección N-S. Esta fuerza también

explica el que las velocidades de las placas sean mayores en el Ecuador (Salomón et al 1975), y así mismo el efecto Nail (Doglioni 1990) que tiene en cuenta las características distintivas de los márgenes destructivos, según que el bloque que subduce se incline a favor o en contra de la deriva, como sucede actualmente en ambos márgenes del océano Pacífico.

Algunas de las estructuras N-S más representativas son las dorsales Atlántica y Pacifica, la cordillera Andina, los arcos de Japón y Mariana etc.

Los desplazamientos N-S y E-O se dan de forma simultánea, y es la causa por la que los movimientos de las placas son frecuentemente oblicuos a sus límites. Buen ejemplo de lo comentado es la separación de las placas africana y sudamericana, que no sólo se desplazan en dirección normal a la dorsal Atlántica, ambas sufren un desplazamiento hacia el norte, más acusado en la primera de ellas, que se reconoce por la traza del foco térmico de Walvis (ver *figura 1*). El desplazamiento hacia el norte de dichas placas se debe a la acción de las fuerzas Eötvös. Más difícil de explicar es por qué la placa africana lo hace más rápido que la sudamericana, y sospechamos que se debe a sus interacciones con las placas adyacentes, y en concreto con el desplazamiento de la placa India hacia el norte.

Los desplazamientos de las placas en sentido N-S, tienden a aglutinar las masas continentales hacia el Ecuador, y en gran medida deben ser los responsables de la formación de los supercontinentes de Rodinia Pannotia y Pangea, hace 1000, 500 y 250 M. a.

PROCESOS GEODINÁMICOS NO PASIVOS

Como ya se indicó, en torno al océano Indico se desarrollan un conjunto de estructuras que escapan a los esquemas hasta ahora expuestos, y que conviene considerarlos aparte. De ellas la mas representativas son la cordillera del Himalaya, y la Dorsal Índica (*figura 2.*)

La formación de la cordillera del Himalaya se inicia hace unos 50 M.a. por la colisión según una dirección próxima a N-S de la placa India con la Eurasiática, y después de un recorrido de la primera de unos 5.000 kilómetros a través del área ocupada actualmente por el océano Índico. El choque de ambas placas es muy complejo y dura hasta el Plioceno (Treolar and Platt, 1980), época en que se produce el acople definitivo entre la placa India y el bloque Afgano.

La apertura del golfo de Adén y del mar Rojo como un océano en formación, se inicia hace unos 25 M.a. (Omar *et al,*. 1989) como consecuencia del desplazamiento de la península arábiga respecto a África en dirección NE, con unas tasas de desplazamiento en los últimos tiempos de 2cm/año (Vita-Finzi, 2001). Esta estructura se inicia con un rift cuyas primeras manifestaciones magmáticas, en la meseta Etíope y en el triángulo de Afar, son de hace 43 M.a. (Kampunzu and Mohr, 1991).

El rift walley africano es una estructura extensiva con dos ramas, ambas de dirección próxima a N-S, que se inicia hace unos 30 M.a. en el rift oriental (rift keniano), y hace unos 15 M.a. en el occidental (rift de Tanganica), (Kampunzu and Mohr, 1991.)

El estudio geológico del fondo del océano Índico, (Mac Kenzie and Sclater, 1973), proporciona datos de inestimable valor, que permite plantear un esquema evolutivo de él, y relacionarlos con los de su entorno continental próximo. Los datos obtenidos permiten distinguir dos etapas claramente diferenciadas en la evolución del océano Índico. La primera se inicia hace 75 M.a. cuando la placa india se separa de la placa antártida y comienza a moverse hacia el norte favorecida por dos fallas transformantes actualmente inactivas (Meseta Chagos-Laccadive, y Cordillera de Bengala) con una velocidad que aumentó de forma progresiva, hasta alcanzar valores de 17 cms/año entre los paralelos 50° y 10° de latitud sur. Hace unos 55 M.a., cuando la placa India se encontraba a unos 10° de latitud S, se produce una relentización drástica en su movimiento de deriva hacia el norte.

El estudio geológico del fondo del océano Indico proporciona datos de inestimable valor, que permite plantear un esquema evolutivo de él, y relacionarlos con los de su entorno continental próximo

Hace unos 35 M.a. y hasta la actualidad (segunda etapa) se reconoce una nueva situación geodinámica en el océano Indico, que se caracteriza por el desarrollo de la nueva dorsal Indica que corta a las antiguas fallas transformantes con un ángulo de unos 40º, dando lugar a la formación de nuevo fondo oceánico, que se expande con dirección noreste suroeste, y con velocidades de 2 a 4 cms/año.

Los datos hasta ahora expuestos permiten plantear el siguiente esquema evolutivo para el océano Indico y su entorno continental. La placa India, una vez desgajada del continente Antártico, comienza su movimiento de deriva hacia el norte, y con el tiempo va adquiriendo mayor velocidad. Hace unos 55 M.a., cuando la placa India se encontraba cerca del Ecuador, colisiona con la placa Euroasiática, iniciándose así la formación de los Himalayas, y provocando una ralentización de su deriva hacia el norte. El choque se produjo con transmisión de inercia, de forma que el nuevo continente formado por la aglutinación de los anteriores, deriva a partir de este momento hacia el noreste a velocidades más lentas, dando lugar al desarrollo, hace unos 35 M.a., de la nueva dorsal índica y al mar Rojo. Después, se iniciaría el rift africano, primero el rift oriental (el mas próximo al Himalaya), y después el occidental.

Si lo que postulamos es cierto, y si realmente la apertura del mar Rojo, la nueva dorsal índica, y las estructuras extensivas que se observan en África Oriental, son una respuesta directa a la colisión de las placas India y Eurasiática, estaríamos ante una serie de procesos que no se explican según los mecanismos "pasivos" propuestos en la teoría de las Placas Tectónicas, ya que exige una transmisión de inercia desde las plac India, a la resultante de la colisión entre ella y la placa Eurasiática. Una colisión con estas características la llamamos "colisión no pasiva".

Según lo expuesto, la formación de nueva corteza oceánica en el océano Índico y en el mar Rojo, no sería la causa, sino un efecto de la deriva de los continentes, cuya misión sería la de cerrar y cicatrizar una estructura previa. Se justifica así, el que el ascenso magmático en el mar Rojo sea posterior al estiramiento de la corteza (Moretti and Chénet 1978)

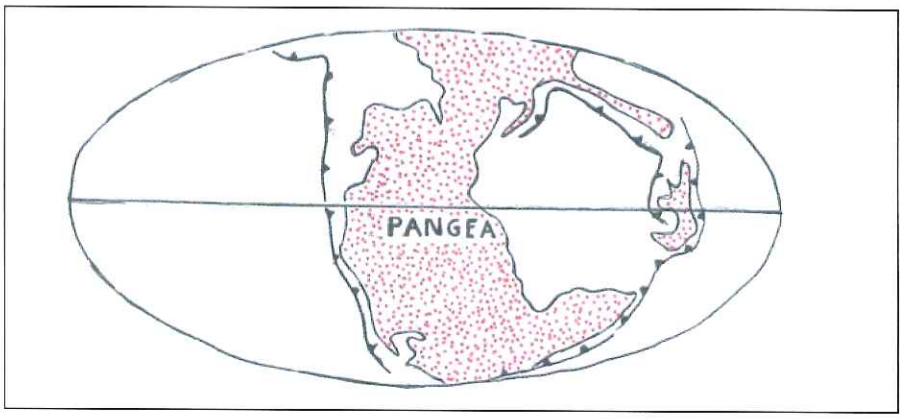


Figura 3. Posición de las masas continentales en el Triásico (237 M.a.) según Scotese. En rojo se señalan los continentes.

El proceso de colisión no pasiva que acabamos de proponer, habría que enmarcarlo dentro de los desplazamientos N-S, y por tanto originado por las fuerzas Eötvös, como lo sugiere por otra parte el que la placa India alcanzara sus mayores tasas de velocidad cuando se encontraba a 45º de latitud sur, punto en el que son máximas dichas fuerzas. Sin embargo, es difícil justificar desplazamientos corticales con velocidades como las que alcanzó la placa India, a no ser que intervenga algún otro mecanismo complementario. Sugerimos para ello las fuerzas centrífugas derivadas del movimiento de rotación de la Tierra, las cuales aumentan hacia el Ecuador, y tienden a mantener flotando la litosfera sobre el manto, disminuyendo así las fuerzas de roce, y favoreciendo el deslizamiento entre ellos. En definitiva, y para el caso de la colisión de las placas India y Euroasiática, pensamos que funciona el esquema planteado en su día por Wegener.

El proceso de colisión no pasiva descrito, interfiere y altera los procesos geodinámicos normales. Así por ejemplo, el desplazamiento conjunto de las placas Euroasiática e India hacia el noreste, es una anomalía, pues todas las estructuras extensivas en las proximidades del Ecuador, tienen dirección N-S, y se expanden con trayectorias próximas a E-O. De hecho, el movimiento conjunto de dichas placas, se opone a las fuerzas Eötvös, que tienden a acercarla al Ecuador terrestre, lo que previsiblemente derivará con el tiempo en el cierre de la dorsal índica. No sucede lo mismo con el Rift africano, que tiene una orientación N-S, compatible con los procesos geodinámicos normales, y que debe desarrollarse sin problemas en el futuro. Posiblemente el efecto más importante del proceso de colisión no pasiva descrito, sea el actual desequilibrio en la distribución de las masas continentales (situadas preferentemente en el hemisferio norte), y del desplazamiento hacia el norte de los límites de placas de dirección E-O.

DISCUSIÓN

Hemos planteado, que las placas se mueven como consecuencia de dos fuerzas perpendiculares de direcciones N-S y E-O provocadas ambas por la rotación de la Tierra. Las fuerzas Eötvös, tienden como ya hemos indicado, a aglutinar las masas continentales en las proximidades del Ecuador que, en un estado evolucionado, formarían una especie de anillo circular en dicha posición, en la que se llegaría a una situación de bloqueo geodinámico. La única forma de escapar de esta situación es por cambios en la posición de los polos de rotación de la Tierra que, de producirse, daría lugar

a una nueva situación geodinámica. A partir de este momento la litosfera se fragmentaría dando lugar a nuevas placas, que se moverían de forma distinta, y las masas continentales iniciarían un movimiento de deriva hacia el nuevo Ecuador, dando lugar a un nuevo ciclo geodinámico y geológico.

Una situación como la descrita, pensamos que se dio en el Triásico, momento en el que las masas continentales configuraban un único supercontinente, conocido como Pangea, (figura 3) que definía un anillo circular con una orientación próxima a la de los meridianos actuales (Scotese, 2002). A partir del Jurásico Inferior, y como consecuencia posiblemente de un cambio en la posición de los polos de rotación de la Tierra, empieza la rotura y disgregación del Pangea. Las nuevas placas formadas, pasan primero por un periodo de rotura, después otro de deriva, y posteriormente, las masas continentales se reencuentran dando lugar a las cadenas alpinas. Es muy posible que toda la evolución de la Era paleozoica responda a un esquema similar. Se parte de un único supercontinente en el precambrico superior, conocido como Pannotia. Durante el Paleozoico inferior, se produce su rotura y la formación de las nuevas placas, le sigue después otro de deriva, y en el Paleozoico superior, se produce la aglutinación de las distintas masas continentales en el supercontinente de Pangea, dando lugar a una serie de cadenas de esa edad.

Los desplazamientos de los polos, se acepta que pueden haber jugado un papel importante en los movimientos de placas antes del Mesozoico, actualmente los ejemplos más convincentes son los de la Luna y Marte, Schulz (1986).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, D. (1962). La capa plastica del manto terrestre. En Deriva Continental y Tectónica de placas Selección del Sciencific American en Editorial Blume. 32-40.
- BOSTROM, R.C. (1971). Westward displacement of the litosphere. Nature, 234, 356-538.
- DEWEY, F. (1972). Placas testónicas. En Deriva Continental y Tectónica de Placas. Selección del Scientific American. 180- 194.
- DOGLIONI, C. (1990). The global tectonic pattern. Geodynamics 12, 21-38.
- ELSASSER, W. M. (1969). Conveccion and stress propagation in the upper mantle, in the application of Modern Physics to the Earth and Planetary Interiors, edited by S. K. Runcorn, 223-246. Interscience. New York.
- EÖTVÖS, R. (1913). Verhandlungen der 17. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung, part 1, p 111.
- EPSTEIN, P.S. (1920). Uber die Polflucht der 17. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung, part 1, p 111.
- FISHER, R. Y REVELLE, R. (1955). Las fosas del Pacífico. En Deriva Continental y Tectónica de Placas. Selección del Scientific American. Pag 10-16.
- FORSYTH, D. and UYEDA, S. (1975). On the relative importance of the driving forces of plate motion. Geophysical Journal of the Royal Astronomica Society, 43, 163-200.
- GEODECKE, G.H. and NI, J.F. (1991). Eötvös force on the lithosphere Tectonophysics 187, 251-257.
- KAMPUNZU, A.B. and MOHR, P. (1991). Magmatic Evolution and petrogenesis in the East African Rift system. In A. B.Kampunzu and R.T. Lubala (eds). Magmatism in Extensional Structural Setting. The Phanerozoic African Plate. Springer Verlag. Berlin. 85-136.
- LE PICHON, X. (1968). Sea flor spreading and continental drift J. Geophys. Res. 73:12. 3661-3697.
- MCKENZIE, D. P. and SCLATER, J. G. (1973). La evolución del oceano Indico.En Deriva Continental y tectónica de placas. Traducción del Scientific American en Editorial Blume. 195-205.
- MIYASHIRO, A., AKI, K. and SENGORA, M.C. (1982). Orogeny. Willey. Chichester. 242.
- MOLNAR, P. and TAPPONNIER, P. (1975). Cenozoic tectonics of Asia. Effects of a continental collision. Science. v. 189. 419-426.
- MORETTI, I. and CHÉNET, P. Y. (1987). The evolution of the Suez rift: a combination of stretching and secondary convection. Tectonophysics, 133: 229-234.
- NELSON, T.H. and TEMPLE, P.G. (1972). Mainstream mantle convection: A geologic analysis of plate motion. Amer Ass. Petrol. Geol. Bull. 56: 226-246.
- OGNIBEN, L. (1985) Relazione sul modello geodinamico conservativo dalla regione italiana. ENEA Roma 1-357.
- OMAR, G.I., STECLER, M.S., BUCK, W.R. and KOHN, B.P. (1989). Fission-track analysis of basament apatites at the western margin of the Gulf of Suez rift, evidence for synchroneity of uplift and subsidence. Earth Planet. Sci. Lett. 94, 316-328.
- ROMERT, L., FISHER y ROGER REVELLE. (1955). Las fosas del Pacífico.En Deriva Continental y Tectónica de Placas. Selección del Scientific American en Editorial Blume. 10-17.
- SCOTESE, PALEOMAP PROYECT.
- SCHULTZ, P.H, (1986). La migrazione dei poli su Marte. La Scienze 211:3.
- SMITH, A.D. and LEWIS, C. (1999). Diferential rotation of lithosphere and mantle and the driving forces of plate tectonic. Geodynamics 28, 97-116.
- SOLOMON, S.C., SLEEP, N.H. and RICHARDSON, R.M. (1975). On the driving plate tectonics: Inferences from absolute plate velocities and intraplate stress. Geophys. J.R. Astron. Soc. 42, 769-801.
- STANLEY, S.M. (1998). Earth System History. W.H.Freeman. San Francisco. 615 pp.
- TREOLAR, P.J. and PLATT, C.N. (1980). Tectonics of the Himalayan collision betwen the Indio Plate and the Afghan Block: a synthesis.....
- UYEDA, S. and KANAMORI. H. (1979). Back-arc opening and the mode of subduction. J. Geophys. Res 84: B3, 1049-1061.
- VINE. F.I. (1966). Spreading of the ocean floor: new evidence. Science vol. 154. num. 3755, 1405-1415.
- VITA-FINZI, C. (2001). Neotectonics at the Arabian plate margins. J. of Str. Geology 23, 521-530.
- WEGENER, A. (1915). Die Entstehung der Kontinenter und der Ozeae. Samml Vieweg. 23 1-94 Braunschweig.

Un nuevo paradigma geológico
la geobiología

En los últimos 20 años se ha desarrollado un nuevo corpus de conocimientos geológicos referidos a la interacción de la vida microbiana con los procesos geológicos. La participación microbiana ya era reconocida en la formación de algunos tipos característicos de sedimentos desde finales del siglo XIX, pero nunca se imaginó que su importancia en los procesos exógenos podría ser del calibre que ahora parece vislumbrarse

Juan Carlos Mirre Gavalda
Geólogo

Tal como lo vemos hoy, la vida bacteriana, —presente sobre el planeta desde hace al menos 3.500 millones de años—, no solo parece ser la clave del origen de todas las rocas sedimentarias no detríticas, sino también de los procesos de erosión y meteorización. Incluso tenga mucho que ver con mecanismos puramente endógenos. Estamos a las puertas de un nuevo Paradigma Geológico: la vida formadora de rocas, la vida constructora de montañas.

INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

Los geólogos sabemos que una parte importante de los majestuosos macizos alpinos se han formado como resultado de la acción biológica de unos pequeños organismos: los corales y toda su biota asociada. Los arrecifes coralinos actuales son la demostración mas evidente de la poderosa fuerza constructora de la vida. También son muy conocidos los miles de metros de sedimentos acumulados en distintas zonas de nuestro planeta y en distintas épocas geológicas, resultantes de los cadáveres de prolíficas colonias de diatomeas, radiolarios y muchos otros microorganismos.

Por otra parte, nuestra actual civilización se fundamenta en la explotación de grandes reservas de origen biológico: carbón, petróleo y gas. Sin estos recursos nuestra supervivencia estaría seriamente amenazada y desde luego, nuestra forma de vida sería forzosamente distinta.

Sin embargo, si revisamos los planes de estudios de las Ciencias Geológicas en las Universidades de todo el mundo, encontramos solo una fracción mínima de enseñanzas dedicadas a los organismos vivos y en su gran mayoría solo en relación con temas de la Paleontología.

Para un geólogo, piedras, minerales y organismos vivos son cosas casi opuestas: el mundo orgánico y su antítesis: el mundo inorgánico. Nos movemos con megaconceptos: grandes fuerzas tectónicas, altas presiones, altas temperaturas, movimientos en masa. Allí no caben los seres centimétricos ni milimétricos, menos aún las bacterias y las microbacterias: no son visibles con los usuales microscopios petrográficos.

De forma excepcional, un reducido grupo de geólogos se dedica a estudiar la acción destructiva de bacterias, algas y hongos sobre las venerables piedras esculpidas en nuestras catedrales o en los mármoles de la Acrópolis. Otros pocos, dedicados a la edafología, reconocen la importancia de la acción bacteriana sobre los procesos de meteorización.

Ya en 1967, Erhart planteó la importancia de los procesos edáficos en la generación de distintos tipos de rocas sedimentarias. Pero aún en la actualidad, los textos de enseñanza de Geológicas en la educación secundaria, se limitan a señalar que los agentes de meteorización y erosión de los macizos rocosos son la acción mecánica y a la disolución química, sin mencionar el importante papel que juegan los organismos vivos.

Las bacterias pasean por nuestro Planeta desde hace 3.500 millones de años (edad de las cianobacterias fotosintetizadoras y productoras de oxígeno más antiguas que se conocen actualmente) y probablemente algunas de esas especies están todavía con nosotros (Schopf, 2002). Se trata pues de supervivientes muchísimo más antiguos que los dinosaurios y muchísimo más importantes que ellos como activos agentes geológicos. Y sin embargo, de las bacterias poco se habla, menos se escribe y nunca se las nomina para la entrega de algún Oscar cinematográfico.

LA INSPIRACION ROMANA

Corría el año 1979, cuando el geólogo Robert Folk buscaba una buena excusa para prolongar su permanencia en Italia, fue entonces cuando tuvo una inspiración providencial: estudiar los travertinos de Tivoli. Así fue como ese año y en compañía de otro experto en depósitos termales, volvió a Italia para estudiarlos. Todo el mundo relacionaba la formación de los depósitos travertínicos con la precipitación de carbonato cálcico por la desgasificación del CO^2 contenido en aguas termales ricas en bicarbonatos. Un típico ejemplo del origen QUIMICO de este tipo de calizas. Pero Folk no estaba tan convencido y descubrió que muchos rasgos de estas rocas indicaban su origen se debía más bien a la acción de bacterias sulfurosas. En 1988 Folk volvió a Italia para estudiar los travertinos de Viterbo (aragoníticos) y a su regreso a la Universidad de Texas inició el estudio de sus muestras, pero esta vez utilizando un microscopio electrónico de x100.000 aumentos.

Para su sorpresa, este gran aumento reveló que, —aparte de las estructuras de bacterias calcificadas de tamaño "normal"—, en todas las muestras aparecían estructuras globosas de claro origen orgánico y de 0,25m a 0,05m de diámetro, por aquel entonces tamaños de bacterias casi desconocidas por los microbiólogos.

Desde entonces Folk y sus colaboradores extendieron su búsqueda a todo tipo de calizas y luego a otros materiales, tales como muestras de azufre nativo y sulfuros, encontrando nanobacterias en casi todas ellas. En 1992 y en ocasión de un congreso científico, Folk y sus colaboradores presentaron los resultados de sus investigaciones, con una abundante colección de microfotografías, siendo recibido con gran frialdad por sus colegas (Folk, 1992). Pero no se desanimó, siguió estudiando cientos de rocas y acumulando evidencias que muestran la presencia de estas estructuras orgánicas en rocas de



Figura 1. Mycoplasma genitalium bacteria parásita considerada hasta hace pocos años como el organismo mas simple capaz de replicarse y de las mas pequeñas que se conocen, con un diámetro (eje) de 0,2m. (Mundo Cientifico Nº 219 - 2000).

distintos lugares del mundo y edades que van desde las más recientes hasta los 2.000 millones de años de antigüedad. No solo en calizas sino también en chert, ópalo, arcillas y metales corroídos (Folk et al., 1997).

Pero en 1996, esas fotografías llamaron poderosamente la atención a D.S. McKay (1996), del equipo de geólogos de la NASA que se encontraban estudiando el meteorito ALH 84001, procedente de Marte y hallado en la Antártida. Este científico había observado estructuras similares, con diámetros de 0,1 a 0,05µ en algunos de los cortes microscópicos del meteorito y esto permitía concluir sobre la presencia de formas biológicas vivas, en algún momento del pasado marciano. Si bien esta interpretación fue objeto de una fuerte y extensa controversia, aún sin dilucidar.

BACTERIAS: AGENTES GEOLÓGICOS FUNDAMENTALES

En resumen, tanto las bacterias como las nanobacterias deben considerarse como elementos vivos e implicados como importantes agentes en procesos geológicos fundamentales. Estos juegan un papel crucial tanto como catalizadores o aceleradores de reacciones y fenómenos químicos, que sin la presencia de estos no podrían ocurrir, o se harían a unas velocidades tan lentas que, —aún a escala geológica del tiempo—, nunca llegarían a afectar a grandes masas. Las bacterias y nanobacterias son de distribución universal, están activas donde haya agua y a profundidades insospechadas. Su acción geológica es importantísima, ya que sus formas anaeróbicas viven de la energía química resultante de reacciones de oxidación o reducción que ellas provocan. Son por tanto agentes químicos, transforman minerales, cambian el Eh y el pH de un medio, la salinidad, la solubilidad, los componentes gaseosos, transforman sólidos en líquidos y estos en gases y viceversa.

Toda roca, todo mineral es el resultado de un complejo proceso químico y en constante evolución y el medio acuoso es universal y eso es todo lo que necesitan las bacterias para vivir y replicarse: agua y iones. Y es su propio desarrollo el que origina cambios en el medio, cambios que estudiamos con los nombres de: oxidación, reducción, diagénesis, recristalización, neoformación, facies, disolución, precipitación, dolomitización, meteorización, etc.

Solo ilustraremos algunos ejemplos de la acción geológica de los microorganismos que pueden demostrarse en los siguientes procesos geológicos:

Cuadro 1. BACTERIAS Y NANOBACTERIAS

Las bacterias normales tienen tamaños de unas pocas micras, por ejemplo la famosa Escherichia coli tiene 2 a 6µ (glóbulo rojo = 8µ) Una de las bacterias más pequeñas y de enorme abundancia y distribución universal es la Pelagibacter ubique de solo 0,5µ de diámetro.

Se denominan NANOBACTERIAS (nannobacterias según Folk) a las bacterias de diámetro inferior a 0,5µ (hasta 0,05µ). Los virus tiene tamaños similares: entre 0,5 y 0,01µ.

Para separar nanobacterias del plasma donde se encuentran se emplean distintos microfiltros con poros de 0,5µ a 0,1µ de diámetro.

La mayor bacteria conocida, visible a simple vista, alcanza 750µ (0,75mm) de diámetro. Se trata de Thiomargarita namibienus (perla azufrada de Namibia), llena de nódulos blancos de azufre nativo y que utiliza la oxidación del gas SH_2 para obtener energía. (Teske, 2004.)

Erosión y meteorización de rocas

Barker et als. (1998) observaron que la velocidad de disolución de la biotita y la plagioclasa se duplica por la acción de las bacterias adheridas a las superficies cristalinas. Rogers et als. (1998) demostraron el notable incremento de la velocidad de disolución

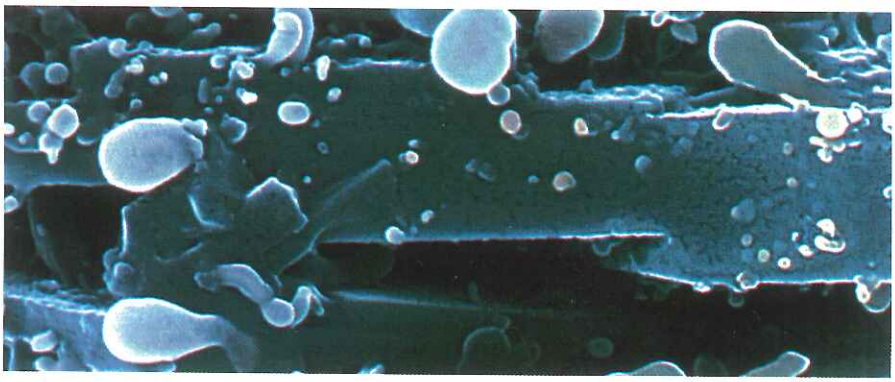


Figura 2. Nanobacterias creciendo encima y entre cristales de caolinita. Las nanobacterias o "nanobios" tienen un diámetro entre 50 y 500 nm (0,05 a 0,5m). Las formas globosas se interpretan como estructuras reproductivas. (Cortesia de Philippa Uwins).

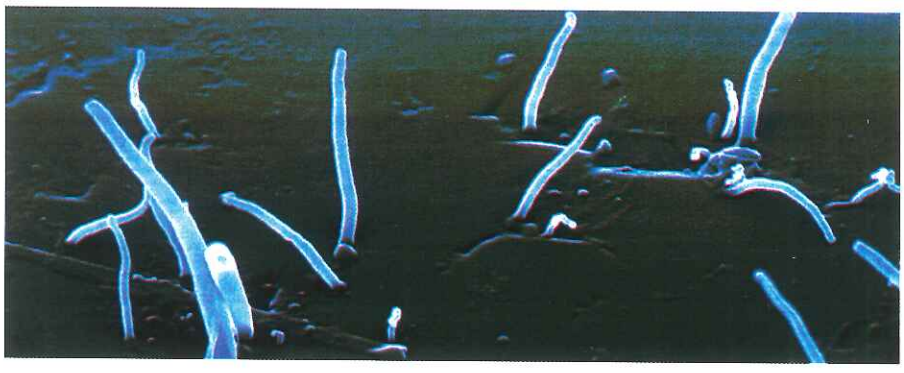


Figura 3. Colonia de nanobacterias o "nanobios" creciendo sobre una superficie de poliestireno de un disco de Petri. (Cortesia de Philippa Uwins).

de los feldespatos por la acción de microorganismos que habitan la región freática, siendo muy importante la presencia de apatito o mineralización fosfática para el desarrollo de la placa bacteriana.

La formación de grutas o cuevas de origen cárstico, hasta ahora consideradas como generadas por la acción disolvente de las calizas por efecto de aguas ricas en CO^2, debe también reconsiderarse en cuanto a su posible biogénesis.

Los trabajos realizados por Engel et als (2004) en las cuevas de Carlsbad (New Mexico, EE.UU.), Lower Kane (Wyoming, EE.UU.) y Frasassi (Italia) demuestran que la corrosión y disolución del carbonato cálcico obedece a la acción del ácido sulfúrico, generado por la oxidación bacteriana de trazas de SH^2, proveniente de emanaciones gaseosas de agua termal.

Formación de sedimentos y rocas calcáreas

Las estructuras ooliticas en las calizas se asocian a formas biológicas desde hace mas de 100 años, si bien Folk et als. (2001) proponen que los oolitos son el resultado de la actividad de nanobacterias. Además de los trabajos de Folk sobre travertinos y calizas, otros investigadores han señalado la importancia de la acción de microorganismos en la precipitación del carbonato cálcico. Por ejemplo, Yates (1998) demostró que la acción del alga verde Nannochloris atomas acelera en varias magnitudes la precipitación del carbonato en ambiente marino. También se han encontrado estructuras muy similares a las nanobacterias en los depósitos calcáreos del Lago Van (el mayor lago alcalino del mundo, —con aguas de pH 8,6—, situado en la región oriental de Turquía).

Brehm et als. (2004) lograron formar oolitas de carbonato cálcico en laboratorio mediante cultivos de diatomeas bentónicas Navicula perminuta, rodeadas de cianobacterias filamentosas del género Phormidium.

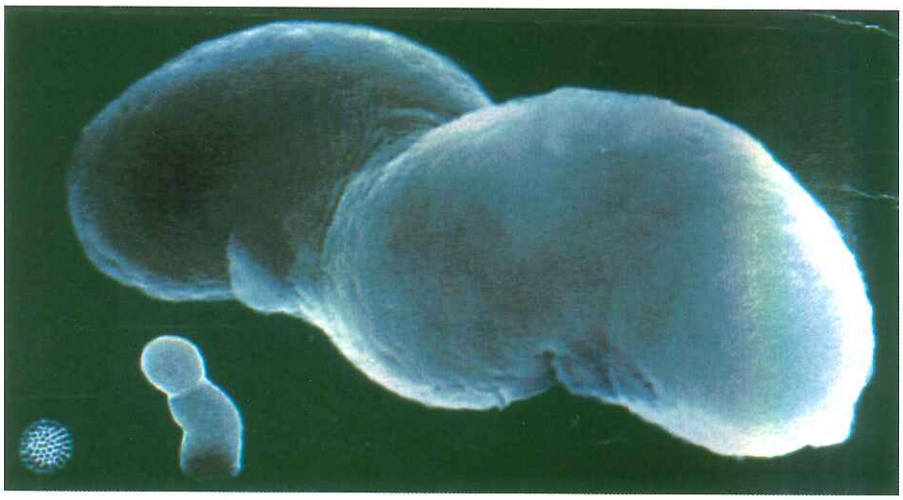


Figura 4. Montaje comparativo para apreciar la diferencia de tamaño entre un virus (el mas pequeño y situado en el ángulo inferior izquierdo), una nanobacteria (tamaño intermedio y a su derecha) y una bacteria media (mayor y ocupando casi toda la foto).

Procesos de dolomitización

Folk (1993) ya había encontrado evidencias de la relación entre nanobacterias y dolomitización. Pero observaciones recientes en ambientes hipersalinos de lagunas costeras en Brasil (Van Lith et als., 2003) y Australia, indican que es la acción de bacterias aneróbicas reductoras de sulfatos (metabolismo por reducción del S), lo que está en relación con el proceso de dolomitización y que este proceso no es posible si las bacterias no están presentes.

Formación, sedimentación y diagénesis de arcillas

Kawano et als. (2001) estudió la meteorización de cenizas volcánicas caídas entre 1914 y 1915 y la formación de alofanos y proto-esmectita por la acción bacteriana a partir de SiO^2 y alumina disueltas en el agua intergranular.
Folk y Lynch mantienen que la compleja organización espacial de tetraedros silíceos y octahedros de alúmina que conforman la base de la estructura cristalina de las arcillas, no puede ser casual y debe ser el resultado

Cuadro 2. EL PLANCTON, EL NANOPLANCTON Y EL PICOPLANCTON

Paralelamente a los hallazgos de Folk, los biólogos que recogían muestras de plancton de los océanos de nuestro planeta, comenzaron a detectar grandes poblaciones de microalgas de un tamaño situado entre las 2µ y 20µ a las que denominaron "nanoplancton". Pero pronto comenzaron a identificar poblaciones aún mas numerosas de microalgas cuyo tamaño se encuentra entre las 2µ y 0,2µ, a las que denominaron "picoplancton". Entre las variadas especies de picoplancton se encuentran los Synechococus y los Prochlorococcus, ambos de 1µ de diámetro, con densísimas poblaciones de entre 10.000 a 100.000 individuos por mililitro de agua de mar. Se calcula que estas cianobacterias son el mayor "pulmón" del planeta ya que su actividad fotosintética produce el 50% del oxígeno atmosférico y retiene un porcentaje similar de CO^2 transformándolo en carbono biosecuestrado. La masa de la población picoplánctonica se dobla cada 24 horas y es pasto de los microorganismos depredadores del nanoplancton y plancton. Pero aparte de estas bacterias fotosintéticas que viven en la zona de luz, —hasta unos 200 metros de profundidad—, existen otras del tipo "archea", cuya presencia no está limitada a las chimeneas submarinas o emanaciones profundas de metano (hidruros de metano), sino que campan a lo largo y ancho de las profundidades batiales y abisales y formando numerosísimas poblaciones, que aumentan día a día a la luz de nuevos hallazgos.

de la acción bacteriana a nivel de nanobios. De hecho muchas muestras de nontronita, saponita y montmorillonitas ferrosas formadas sobre rocas volcánicas alteradas por la acción de aguas termales, contienen nanoestructuras desarrolladas en ambiente anaeróbico.

La acción biológica sobre neoformaciones de filosilicatos se extienda todavía más allá, incluyendo fenómenos diagenéticos considerados actualmente como el resultado del aumento de temperatura y presión sobre los sedimentos (facies de bajo grado metamórfico). Al respecto es interesante destacar el trabajo de Kim et als. (2004) sobre la transformación de smectita en illita a temperatura ambiente y 1 atmósfera de presión, transformación que habitualmente se supone que tiene lugar a 300°-350°C y 100 megapascales de presión. Es importante destacar que esta transformación se utiliza como geotermómetro para delimitar la "ventana térmica" que indica la maduración de la materia orgánica para su evolución a petróleo.

Formación de yacimientos sedimentarios de hierro y manganeso y rocas asociadas

Edwards (2004) realizó una serie de experimentos demostrando la acción de bacterias a grandes profundidades que sobreviven gracias a la transformación de oxido ferroso (Fe +2) en óxido férrico (Fe +3) (por cierto captando también CO^2 disuelto en el agua e incorporándolo a su masa orgánica.

Ehrlich (2002) menciona que el rol de las bacterias en la oxidación del manganeso y su deposición como MnO^2 fue observada por vez primera por Beijerinck en 1913. Ya en 1931, Zappfe detalló claramente el rol de la actividad bacteriana en la formación de menas de manganeso.
Tazaki (2000) relaciona los depósitos de bandas alternantes de sulfuros de hierro y manganeso (banded-iron-formations) en ambiente volcánico-hidrotermal a la acción de membranas microbianas.

Billy et Cailleux (1969) ya habían demostrado que las dendritas de manganeso se originan por la acción de la bacteria "Bacillus cereus" por la oxidación del carbonato en dióxido MnO^2.

Formación de muchos de los yacimientos metálicos considerados como "sinergeticos"

Muchas bacterias reducen los metales a un estado de oxidación inferior, al tiempo que otras reducen sulfatos produciendo SH^2 como mecanismos metabólicos para producir energía vital. Tales reacciones generan como subproducto, tanto sulfuros metálicos como metales nativos.

Fallick et als. (2001) señalan la importancia de la acción bacteriana en el caso del yacimiento de Pb-Zn de Navan en Irlanda. Lovley (2001) demostró la reducción bacteriana de oro nativo por la acción de extremófilos que lo extraen de una disolución de cloruro de oro, un tipo de proceso que podría explicar las diseminaciones de oro en yacimientos del tipo Witwatersrand o Carlin.

Labrenz et als. (2000) han encontrado en la mina abandonada de Pb-Zn de Piquette (Tennyson, Wisconsin, EE.UU.) biofilms formados por una compleja comunidad de microorganismos y partículas esféricas de blenda y wurzita de solo 0,2 a 0,5µ de diámetro. Estos cristales de SZn se forman por la acción de bacterias reductoras de sulfatos en presencia de 1 ppm de Zn en disolución.

El enriquecimiento secundario de calcocita en los yacimientos de tipo "porphyry copper" es vital para su aprovechamiento económico. La formación del "blanket" se expone en los tratados de Geología Económica como el resultado de la lixiviación del cobre en la zona superior oxidada y su precipitación por debajo del nivel freático en una zona reductora (presencia de pirita) y reemplazando los sulfuros primarios. Sin embargo Sillitoe et als. (1996) observaron numerosas muestras de calcocita (de varios yacimientos chilenos de "cobre porfírico") al microscopio electrónico y todas ellas mostraban abundantes formas bacteriformes en la interfase de reemplazo sobre los sulfuros hipogénicos. Tales estructuras, de 0,2µ a 0,5µ de diámetro, se interpretaron como nanobacterias fosilizadas y mineralizadas que promovieron la fijación del cobre movilizado.

Gémesis de yacimientos de carbón, rocas bituminosas e hidrocarburos

La generación de hidrocarburos líquidos y gaseosos y de acumulaciones de materia orgánica predominantemente sólida de distintos tipos (turbas, lignitos, hullas, pizarras bituminosas, etc.) es algo reconocido desde hace algo mas de un siglo (sin descartar por ello la posibilidad de la generación de petróleo abiogénico). Sin embargo quedan todavía muchísimas incógnitas por resolver en cuanto a los mecanismos de la acción bacteriana y la discutible necesidad de la "ventana térmica" para que los compuestos orgánicos "maduren" en hidrocarburos.

La importancia de la acción bacteriana está dramáticamente demostrada en los gigantescos depósitos de shungita de la región del Lago Onega en el NW de Rusia. Este yacimiento ocupa una superficie de 9.000 km^2 y su reserva de carbón se calcula en 250.000 millones de toneladas (el actual consumo mundial de carbón es de 4.300 millones de toneladas/año, lo que significa que esta reserva de shungita podría abastecer de carbón a todo el mundo durante 58 años) La shungita es un material formado por 98% de carbono, negro y no cristalino, el carbono forma estructuras moleculares de "fullerenos" (C_{60}) de 0,01µ de diámetro. Tal depósito, formado hace 2.000 millones de años se interpreta como el resultado de la acumulación de materia orgánica bacteriana por transformación de cianobacterias (Zhmur, 2002) y Melezhik & Fallick (2000).

Michaelis et als. (2002) describen las masivas colonias microbianas en el fondo del Mar Negro (región del cañón del río Dnieper, cercana a Odessa), entre 50 y 400 metros de profundidad. Asociadas a emanaciones

submarinas de metano (de origen biológico), estas grandes masas bacterianas anaerobias del grupo de las Desulfosarcinas y Desulfococcus, metabolizan el metano, al tiempo que construyen arrecifes calcáreos de calcita y aragonitas fibrosas (hasta 14% Mg), que pueden alcanzar hasta 4 metros de altura, mediante su acción sulfato reductora, tal como de forma simplificada indica la fórmula:

$$CH_4 + SO_4Ca \rightarrow CO_3Ca + SH_2 + H_2O$$

La actuación de bacterias sulfato-reductoras similares en paleoambientes lacustres alcalinos, podría explicar la génesis de los grandes depósitos de trona o natrón asociados a pizarras bituminosas del tipo de Green River (EE.UU.) o Beypazari (Turquía). En ambos casos abunda la materia orgánica y las "pizarras" son calcilutitas.

¿POR QUÉ UN NUEVO PARADIGMA GEOLÓGICO?

PARADIGMA se define como una teoría o idea ejemplar que domina en el seno de una comunidad científica. Pasados paradigmas recientes en Geología fueron: la Deriva de los Continentes y la Tectónica de Placas, el Desarrollo de los Geosinclinales, la Tectónica Alpina, las Radiodataciones y entre los paradigmas antiguos: la Estructura Cristalina, la Escala del Tiempo Geológico, etc.

Estas ideas tardaron años en ser aceptadas por la comunidad científica desde el momento de su introducción, pero luego sirvieron para impulsar nuevas teorías y para perfeccionar el conocimiento del pasado geológico del Planeta.

Este nuevo paradigma plantea que: "el estudio de los procesos geológicos no está completo si no se incluyen dentro del mismo el resultado de la actuación de la vida o del componente biológico, dentro del conjunto de las fuerzas o factores involucrados en tal proceso".

Es decir, que ya no cabe hablar, por ejemplo, de la meteorización física o química de una roca sin incluir el factor biológico; o sea: el importante y decisivo papel que juegan las bacterias y otros micro-organismos en los procesos de disolución, transformación y neoformación de una roca expuesta a la superficie de la biosfera.

De la misma manera —y con la probable excepción de los depósitos detríticos—, no se puede ignorar el papel clave que desempeñan las bacterias en la génesis de sedimentos y rocas sedimentarias. Esto no solo en las "químicas", como evaporitas, calizas, dolomías, etc., sino también en la transformación y neoformación de minerales arcillosos. Incluso en el caso de rocas detríticas, tal como encontró U. Brehm (2003) en los biofilms bacterianos que cambian las texturas de las partículas de cuarzo por disolución y ecristalización. Respecto al nombre que engloba al conjunto de estudios de las relaciones entre microorganismos y geología, probablemente el mas correcto sea el de "Geobiología" o "Geomicrobiología".

La revista virtual "Virtual Journal of Geobiology" se publica desde el año 2002 (earth.elsevier.com) y la revista "Geobiology"se edita desde el año 2003 por Blackwell Publishing. En su Editorial de lanzamiento su director explica que la Geobiologia explora las relaciones entre la vida y el medio físico y químico de la Tierra.

Pero el término "Geobiología" en España, Francia, Italia se utiliza en un sentido muy diferente: se refiere a la acción de los campos magnéticos, eléctricos y energéticos (líneas de Hartmann y Curry) y otros campos mas esotéricos que científicos.

El término "Geomicrobiología" se emplea muy poco, si bien en el campo estrictamente científico. La revista "Geomicrobiology" se publica desde el año 1984 por la editorial Taylor & Francis Group. El Programa de Geomicrobiología de la Universidad de

Cuadro 3. LOS EXTREMOFILOS

Se denominan así los microorganismos que viven bajo condiciones físicas extremas, por encima de las cuales no es posible que las complejas moléculas orgánicas (proteínas, aminoácidos) puedan mantenerse sin romper sus enlaces. A este grupo pertenecen las quimiobacterias que se alimentan del calor de las chimeneas hidrotermales submarinas, soportando temperaturas algo superiores a los 100ºC (hay bacterias hipertermófilas que sobreviven y se desarrollan en los alrededores de las "chimeneas hidrotermales" a temperaturas de hasta 121ºC). O los que obtienen su energía vital oxidado o reduciendo gases y compuestos químicos a 5.000 metros de profundidad. Bacterias (arqueobacterias) del mismo tipo se han encontrado en muestras de petróleo provenientes de 3.000 metros de profundidad en los yacimientos del Mar de Norte.

Uwins et als. (1998) encontraron bacterias de 1m a 0,02m de diámetro en testigos de sondeos formados por areniscas del Jurásico y Cretácico, correspondientes a profundidades entre 3.400 y 5100 metros bajo la superficie marina. Las areniscas son de baja permeabilidad y con abundante cuarzo secundario (diagenético) y la temperatura "in situ" está entre los 117ºC y 170ºC. Los sondeos se realizaban offshore de Australia occidental.

Actualmente un equipo científico trabaja sobre las ricas y diversas faunas bacterianas que se localizan en las minas de oro del Witwatersrand a mas de 3.000 metros de profundidad (Witwatersrand Deep Microbiological Project) y especialmente en la implicación de estas bacterias con la génesis de la mineralización aurífera.

Takano et als. (2005) han descubierto la existencia de actividad enzimática en testigos de perforación extraídos de una chimenea hidrotermal profunda en el fondo del Pacífico. Los aminoácidos orgánicos determinados provienen de extremófilos microscópicos que habita los fluidos hidrotermales a una temperatura de ¡308ºC!

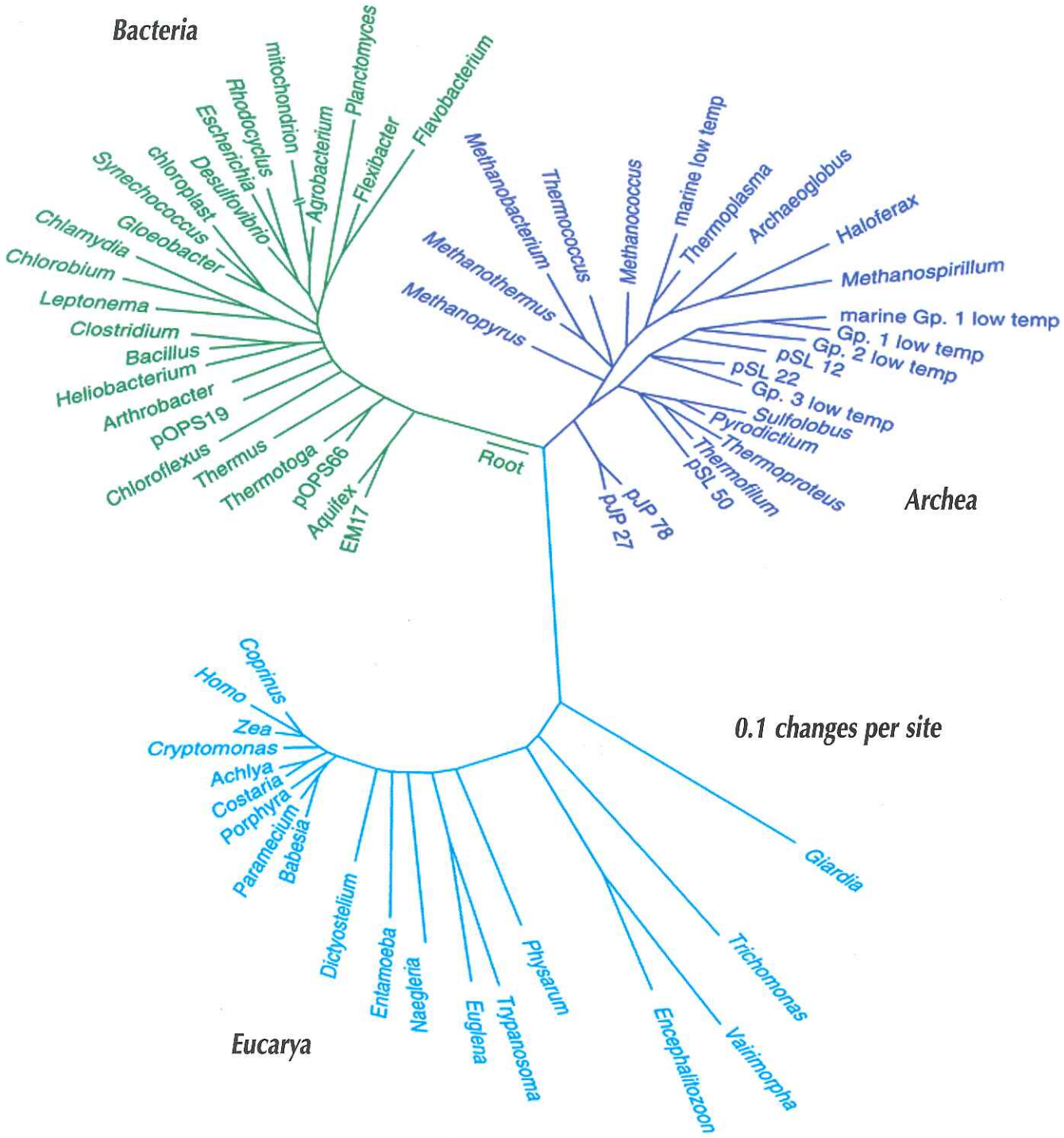


Figura 5. Diagrama del "Arbol de la Vida" de N.R. PACE (1997) donde se puede apreciar nuestra infinitamente pequeña proporción dentro de la enorme biodiversidad. Somos una mota de polvo frente a los millones de toneladas de biomasa.

California, Berkley, se define como: "la investigación dirigida a entender como se conectan los procesos inorgánicos con los biológicos para dar forma a la geoquímica y mineralogía de la superficie de la Tierra". Cabe destacar que la Geological Society of America tiene una División de Geobiologia y Geomicrobiología.

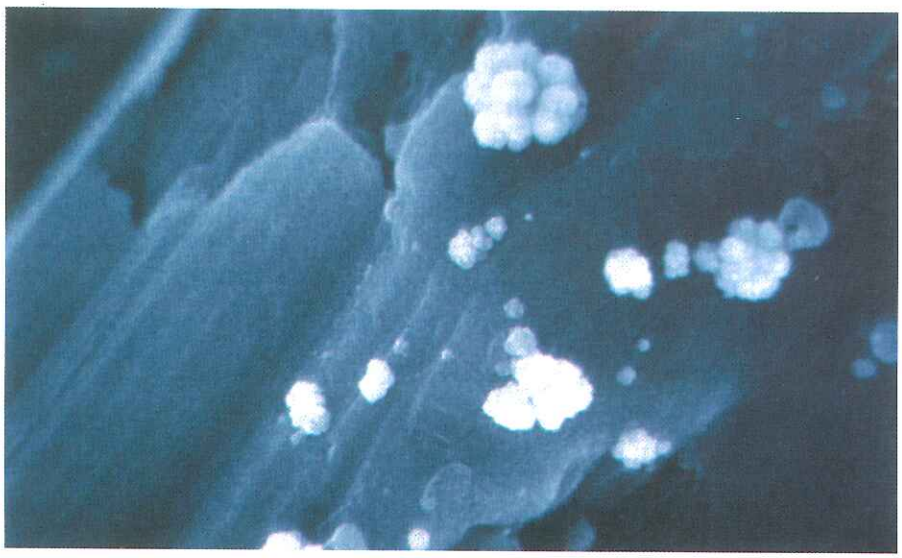


Figura 6. Colonia de Sulfolobus creciendo sobre cristales de molibdenita a 60ºC y pH 1,5-3. La bacteria oxida el sulfuro a sulfato. Bacterias de aproximadamente 0,1m. (Microbiología, Prescott, Harley y Klein - McGraw-Hill . Interamericana).

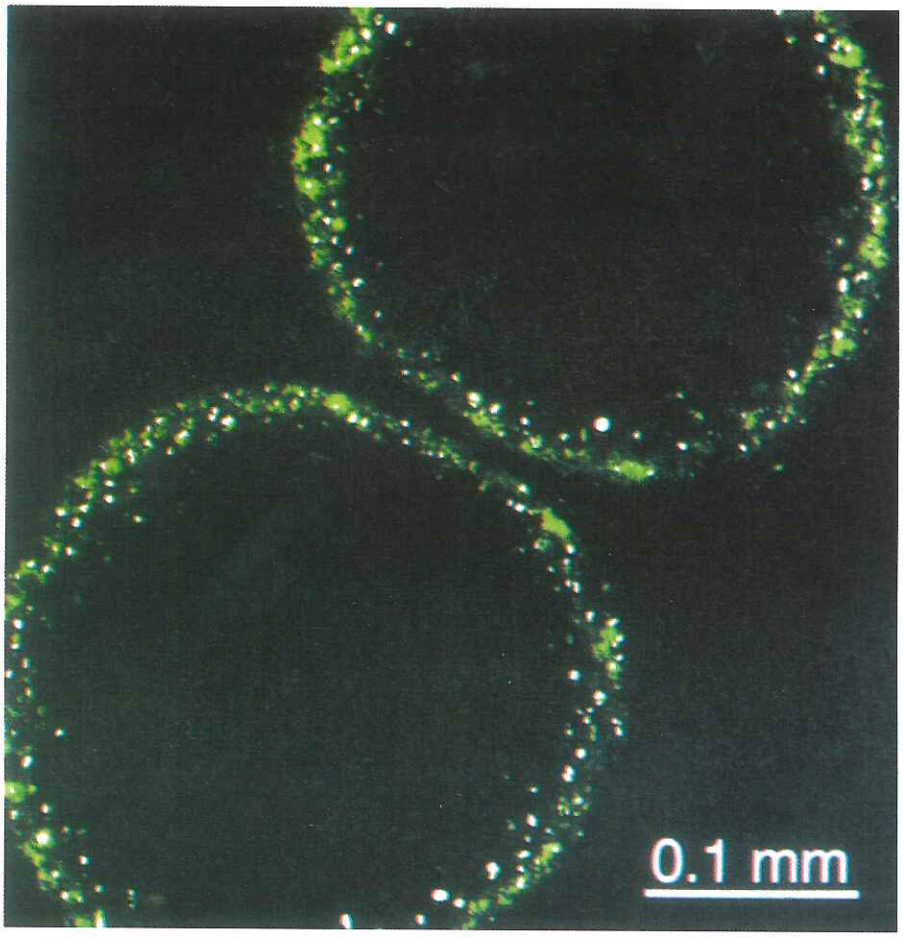


Figura 7. Thiomargarita namibiensis, la bacteria mas grande del planeta. Puede alcanzar hasta 0,75 milímetros de diámetro (100 veces el tamaño de una bacteria media). Su fuente de energía son los sulfuros de los lodos marinos. Los puntos verdoso-amarillentos son vacuolas en el borde de su protoplasma rellenas de pequeños cristales de azufre nativo. (Microbiología, Prescott, Harley y Klein - McGraw-Hill . Interamericana).

La Astrobiología va algo mas allá, vinculando la geología con la biología no solo dentro de nuestro planeta sino en todas las posibilidades de vida fuera de la Tierra.

Como ya lo anticipara Vernadsky (1926) al desarrollar el concepto de "Biosfera" de Suess (1875) y mas tarde Lovelock con su idea de "Gaia", este nuevo paradigma debe empapar de forma universal todos los conocimientos geológicos.

Como plantea Pace (1997), el límite entre biosfera y litosfera está perdiendo definición y es cada día mas borroso e indefinido. La acción de las bacterias de metabolismo quimitrófico o litotrófico se está comprobando hasta profundidades de casi *cuatro kilómetros* dentro de la corteza, no solo en la continental, sino también en la oceánica.

Este mismo autor roza la ciencia-ficción cuando plantea que, con las evidencias acumuladas hasta hoy, es posible que la parte mas importante de biomasa del Planeta no sea la que vemos todos los días y de la que formamos parte, sino una biomasa microbiana subterránea, cuya vida se desarrolla sin necesidad de oxígeno ni de luz solar.

Este es el nuevo Paradigma Geológico: la importancia de la acción de la *vida* (microorganismos, bacterias, nanobacterias, líquenes, cianobacterias, etc.) sobre los procesos geológicos. Procesos que no existirían o serían muy distintos de no mediar la acción biológica.

Esta acción biológica puede ejercerse en los medios mas insospechados: a altas temperaturas, a grandes profundidades de la corteza, en ambientes extremadamente ácidos o alcalinos, en ambientes sin luz ni oxígeno, hoy y desde hace al menos 3.500 millones de años.

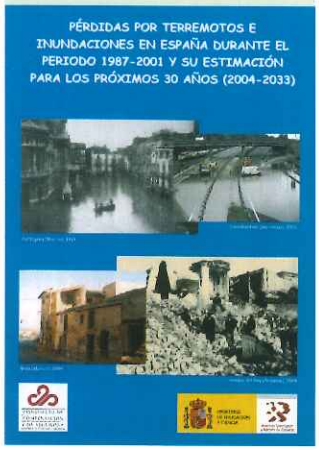
La fe puede mover montañas y los microorganismos pueden construirlas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARKER, W.W., WELCH, S.A., CHU, S. and BANFIELD, J.F., (1998). Experimental observation of the effects of bacteria on aluminosilicate weathering. Amer. Min. 83: 1551-1563.
- BILLY, C. et CAILLEUX, A. (1969). Dendrites de manganèse et bactéries. Sciences Progrès Découverte, nº 3414: 381-385.
- BREHM, U., PALINSKA, K.A., and KRUMBEIN, W.E. (2004) Laboratory cultures of calcifying biomicrospheres generate ooids - A contribution to the origin of oolites. Carnets de Géologie, Maintenon, Letter 2004/03 (CG2004_L03).
- BREHM, U. (2003). In Les bactéries. Dossier coordonné par Ph. Lagny et J.C. Michel. Géochronique, nº 86, juin 2003.
- EDWARDS, K. (2004). In Living Large in Microscopic Nooks. Oceanus. The Online Magazine of Research from Woods Hole Oceanographic Institution, August 27, 2004.
- EHRLICH, H.L. (2002). Geomicrobiology in http://usa2.ebooks.com.
- ENGEL, A.S., STERN, L.A. and BENNETT, P.C. (2004). Microbial contributions to cave formations: new insights to sulphuric acid speleogenesis. Geology, 32(5): 369-372.
- ERHART (1967). La genèse des sols en tant que phénomène géologique, esquisse d'une théorie géologique et géochimique, biostasie et rhexistasie, exemples d'application. Masson et Cie, éditeurs. Paris 1967 (2eme édition).
- FALLICK, A.E., GLEESON, S.A., YARDLEY, B.W.D., BOYCE, A.J. and MUNZ, L.A. (2000). Bacteria were responsible for the magnitude of the world-class hydrothermal base-metal orebody at Navan, Ireland. Econ. Geol., 96, 883-888.
- FOLK, R.L. (1992). Bacteria and nannobacteria revealed in hardgrounds, calcite cements, native sulphur, sulfide minerals and travertines (abstract). Geol. Soc. Amer. Annual Meeting, Program Abstr: pp 104.
- FOLK, R.L. (1993). Dolomite and dwarf bacteria (nannobacteria) (abstract). Geol. Soc. Amer. Annual Meeting, Program Abstracts, A-397.
- FOLK, R.L. and LYNCH, F.L. (1997). The possible role of nannobacteria (dwarf bacteria) in clay mineral diagenesis and the importance of careful sample preparation in high magnification SEM study. Jour. Sed.Research, v. 67: 597-603.
- FOLK, R.L. and LYNCH, F.L. (2001). Organic matter, putative nannobacteria and the formation of ooids and hard grounds. Sedimentology, 48 (2): 215-229.
- KAWANO, M. and TOMITA, K. (2001). Microbial biomineralization in weathered volcanic ash deposit and formation of biogenic minerals by experimental incubation. Amer.Min. 86: 400-410.
- KIM, J., DONG, H., SEABAUGH, J. NEWELL, S.W., and EBERL, D.D. (2004). Role of microbes in the Smectite to Illite reaction. Science vol. 303: 830-832.
- LABRENZ, M., DRUSCHEL, G.K., WELCH, S.A. and BANFIELD, J.F. (2000). Formation of Sphalerite Deposits in Natural Biofilms of Sulphate-Reducing Bacteria. Science, vol 290: 1744-47.
- LOVELOCK, J.E. (1972). Gaia as seen through the atmosphere. Letter to the editors. Atmospheric Environment, pp. 579-580.
- LOVLEY, D. (2001). Goldbugs. The Economist, July 21st, 2001.
- McKAY, D.S., GIBSON, E.K., THOMAS-KEPRTA, K.L., VALI, L.H., ROMANEK, S.C., CLEMETT S.J., CHILLIER, Z.D.F., MAECHLING, C.R. and ZARE, R.N. (1996). Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001. Science 273: 924-926.
- MELEZHIK, V. and FALLICK, A. (2000). Isotopic Evidence for Biological Origin of Shungite, Generation of Petroleum and C13 Depleted Nature of Initial Biomass at 2.0 Ga ago. Goldschmidt 2000 Conference, Oxford in Jour. Confer. Abs., 5, 2: 701. Cambridge Publications.
- MICHAELIS, W., SEIFERT, R., NAUHAUS, K., TRENDE, T., TRIEL, V., BLUMENBERG, M., KNITTEL, K., GIESEKE, A., PETERKNECHT, K., PAPE, T., BOETIUS, A., AMANN, R., BARKER JORGENSEN, B., WIDDEL, F, PECKMANN, J., PIMENOV, N.V. and GULIN, M.B. (2002). Microbial Reefs in the Black Sea Fuelled by Anaerobic Oxidation of Methane. Science 297, 9th August 2002.
- PACE, N. R. (1997). A molecular view of microbial diversity and the biosphere. Science 276: 734-740.
- ROGERS, J.R., BENNETT, P.C. and CHOI, W.J. (1998). Feldspars as a source of nutrients for microorganisms. Amer. Min. 83: 1532-1540.
- SCHOPF, J.W. (2002). The what, when and how of life's beginnings. in J.W. Schopf (Ed.) Life's Origin: The Beginnings of Biological Organization (pp. 1-6) Berkeley, CA (University of California Press).
- SILLITOE, R.H., FOLK, R.L. and SARIC, N. (1996). Bacteria as mediators of copper sulphide enrichment during weathering. Science, 272(5265):1153-55.
- SUESS, E. (1875). The Face of the Earth.
- TAKANO, Y., EDAZAWA, Y., KOBAYASHI, K., URABE, T. and MARUMO, K. (2005). Evidence of sub-vent biosphere Enzimatic activities below 308°C deep sea hydrothermal systems at Suiyo seamount, Izu-Bonin Arc, Western Pacific Ocean. Earth and Planetary Sc.Letters, 229(3-4): 193-203.
- TAZAKI, K. (2000). Formation of banded iron-manganese structures by natural microbial communities. Clays and Clays Minerals, vol 48(5): 511-520.
- TESKE, A. (2004). In Living Large in Microscopic Nooks. Oceanus. The Online Magazine of Research from Woods Hole Oceanographic Institution, August 27, 2004.
- UWINS, P.J.R., WEBB, R.I., and TAYLOR, A.P. (1998). Novel nano-organisms from Australian sandstones. Amer. Min. 83: 1541-1550.
- VAN LITH, Y., WARTHMANN, R., VASCONSELOS, C. and McKENZIE, J. (2003). Sulphate-reducing bacteria induce low-temperature Ca-dolomite and high Mg-calcite formation. Geobiology, 1(1): 71.
- VERNADSKY, V.I. (1926). The Biosphere (English translation 1998) Publ. Copernicus Books, Springer-Verlag, N.York.
- YATES, K.K. and ROBINS, L.L. (1998). Production of carbonate sediments by a unicellular green algae. Amer. Mineral. 83: 1503-1509.
- ZHMUR, S.L., (2002). Shungite rocks of Karelia as a model of carbon hondrites formation. biospace.nw.ru/astrogiology/.

Pérdidas por terremotos e inundaciones

No es muy frecuente que los científicos y técnicos que se dedican al análisis de la peligrosidad y los riesgos geológicos, den un paso adelante y se introduzcan en el cálculo de las consecuencias socio-económicas y la estimación de pérdidas pasadas y futuras asociadas a la ocurrencia de dichos riesgos; y menos en un ámbito espacial que comprende todo un país. Esta escasa tradición en incorporar parámetros propios de la exposición y vulnerabilidad no es consecuencia del desconocimiento de las fuentes de información, ni de falta de pericia en el uso de las herramientas para su análisis, sino más bien de la dificultad y complejidad metodológica que conlleva esta labor.



Sin embargo, los escasos ejemplos en los que científicos y técnicos han realizado estos trabajos, los resultados han sido magníficos, aportando no sólo un ingente volumen de información organizada y útil, sino poniendo en práctica y validando el uso de metodologías de cálculo y estimación pioneras. Es el caso de la obra que pasamos a comentar: "Pérdidas por terremotos e inundaciones en España durante el periodo 1987-2001 y su estimación para los próximos 30 años", editada el pasado año (2004) por el Consorcio de Compensación de Seguros, de la que son autores Mercedes Ferrer, Luis I. González de Vallejo, Juan Carlos García y José Ángel Rodríguez, y que ha sido realizada por el Instituto Geológico y Minero de España en el marco de un convenio específico de colaboración con el Consorcio.

En primer lugar conviene destacar la ingente labor de recopilación, depuración y homogeneización de información que subyace tras este estudio, ya que la elaboración de la base de datos de eventos históricos es una tarea necesaria en el cálculo de pérdidas pretéritas, pero tremendamente ingrata. Largos meses de trabajo quedan maquillados bajo aparentemente simples ficheros informáticos (MS Access) y cifras resumen, que no hacen justicia a la tediosa labor previa. Aquellas personas que se han enfrentado a la elaboración de una base de datos de este tipo en España, combinando y confrontando diferentes fuentes de información, saben bien a qué nos referimos.

Al igual que su precedente, el estudio sobre el "Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España" (IGME, 1987), al que revisa y amplía, utiliza metodologías novedosas, en este caso desarrolladas específicamente en función de los datos históricos disponibles en España sobre las características de los desastres ocurridos y sus efectos económicos. Destacar en este aspecto los ajustes de las distribuciones de las relaciones magnitud-pérdidas y los cálculos de pérdidas a partir de su relación con los pagos efectuados por el Consorcio, en el caso de los terremotos; y las correlaciones entre las pérdidas reales y las cuantías pagadas por el Consorcio, en el caso de las inundaciones, reconociendo que existen diversas poblaciones según sean urbanas, extraurbanas o mixtas. Estas correlaciones hacen que los datos recogidos en las publicaciones anuales de "Estadística de riesgos extraordinarios" del Consorcio sirvan como referencia importante en la estimación de pérdidas económicas ante la falta de datos oficiales de valoración sistemática y unificada.

Por último, es de agradecer que sean especialistas del ámbito de las Ciencias de la Tierra (geólogos), los que aborden sin rubor estudios de tipologías de riesgos que clásicamente han estado a caballo entre lo geológico y lo físico (terremotos), o entre lo meteorológico y lo hidrológico (inundaciones), pareciendo reservado su estudio a otros colectivos profesionales (físicos, ingenieros de caminos, etc.) El desencadenamiento y desarrollo de los fenómenos naturales no conoce de barreras académicas, y las artificiales divisiones entre los profesionales no hacen sino entorpecer un enfoque multi- y pluri-disciplinar de los riesgos naturales. Por ejemplo, las inundaciones no deben ser calificadas como riesgo meteorológico, ni hidrológico, ni geológico... (como si se tratara de compartimentos estancos o parcelas de poder), sino que habrá fuentes de datos, métodos y profesionales de los ámbitos meteorológico, hidrológico y geológico que puedan ser de utilidad para su estudio y prevención.

En definitiva, se trata de una magnífica obra, resultado de un estudio aún más profundo de lo que pudiera parecer por la concisión de lo publicado (98 páginas), que resultará de referencia obligada en cualquier análisis futuro de riesgos en nuestro país, y que podrá servir de base para abordar otros estudios sobre el resto de los fenómenos potencialmente peligrosos (volcanes, movimientos de ladera, colapsos cársticos...). Felicidades a los autores, al IGME y al Consorcio, emplazando a todos ellos para que dentro de tres décadas realicen y financien un estudio comparativo entre las estimaciones realizadas en éste, y las pérdidas reales producidas.

Andrés Díez Herrero
Instituto Geológico y Minero de España

Íntima geometría

Guadalupe Luceño

GEOGRAFÍA DEL SILENCIO

Habitante de los intersticios del vacío, Guadalupe Luceño trabaja sus mandalas con ansia de infinito, en un proceso místico que derrumba el trazado inexacto de las fronteras y explora la morfología profunda de la soledad y su armonía. En este contexto, sus estructuras pictóricas albergan una multiplicidad de voces destinadas a describir un paisaje de colores saturados, de matices desnudos que pugnan por huir de la intemperie a que les aboca el anonimato de la no-expresión.

Es esa pugna, ese movimiento interior/exterior, centro/periferia, realidad/trascendencia quien conforma el paisaje que propone Luceño: existir o ser , radicalmente diferenciados. Y todo ello con la tersura de quien solo sugiere o deja abierta la puerta hacia un insilio absolutamente necesario donde poner en claro el propio devenir. La propuesta es salvífica, porque tal vez crear es otorgar vida y es, al mismo tiempo, un proyecto universalmente íntimo, una teoría sentida y pensada por el cauce que representa la artista, cauce en el que han ido sedimentando todos los materiales que conforman la tradición de la abstracción geométrica. En tal intersección se hace necesario meditar qué silencio, qué pausa, qué armonía recóndita anima su pintura. Quizá sean las formas los indicios tan sólo de otro todo más amplio que conforma el ser mismo, el espacio que habita, aquello que le nutre, su secreta vocación de unidad desatada, sin muros que encarcelen la última belleza que intuyen los trazos, los colores, los puntos de fuga. En este sentido nos habla Ada Salas cuando describe el silencio necesario que rodea –ella concreta en los poemas– a las obras de arte:

"Hablo del blanco que precede al inicio de un texto: ese vacío preñado que antecede al primer verso(...), esa "suspensión" cargada de inminencia con la que iniciamos la





lectura –y la escritura– de un poema: el espacio mental, emocional, en espera. Y hablo también, cómo no, del silencio que sucede al poema, que es donde en verdad éste se realiza"

Extrapolando estas palabras, nos encontramos ante una especial geografía en la que se desarrollan los mandalas de Luceño, un espacio destinado al encuentro entre autora, obra y quien contempla la obra. Ese diálogo necesario supone un peregrinaje a las altísimas fuentes *do mana el agua pura* de la comprensión entre soledades –el individuo– para las que ahora se tiende un puente pictórico y vital.

SINTAXIS DEL MOVIMIENTO

Muy a menudo se habla de modernidad en función de lo audaz de cada propuesta, del atrevimiento que supone cada paso artístico en lo que posee de vertiente funambulesca, de íntimo caminar por el delgado alambre de la creación y su extrema caída hacia la nada o la locura. El movimiento es pues, una función básica de la expresión artística y su especial sintaxis representa el índice de calidad que lo impulsa. Si observamos en detalle las pinturas –pensamientos pictóricos– de Gualupe Luceño de inmediato nos encontramos ante construcciones que revelan el desasosiego, la navegación consciente en un "barco ebrio" donde interior y exterior se solapan como si fueran un cristal finísimo que nos remite la imagen propia íntimamente distorsionada, en un proceso que se podría calificar de descendente.

En sentido gnóstico podríamos referirnos al buceador, a aquel que interroga a su propio yo como método de conocimiento. A medida que profundizamos nuestra propia imagen desaparece hasta fundirse con el todo, con la unidad y las partes. El nexo necesario es aquí el trazado misterioso que anima los diseños que contemplamos, los dibujos de nosotros mismos que sabia y alquímicamente la autora nos desvela. He aquí su sintaxis, labrada a fuerza de interrogación propia, sí, pero también como resultado de la búsqueda de las constantes que forjan al ser humano en cuanto que *homo loquens*.

ESTUDIO SOBRE MURO

La búsqueda abierta de cada mandala traza una trama vital inevitablemente castigada por los acontecimientos temporales que afectan a nuestra percepción. El desgarro actual entre Oriente y Occidente provoca un compromiso



entre artistas que se sienten hermanos y, en este sentido, la autora se une a través de su arte con aquellos cuya voz no termina de entenderse. Siria, referencia fundamental para entender su creación, sirve como punto de partida para el entendimiento espiritual con el mundo musulmán el cual, según algunos de sus más destacados interlocutores, se encuentra en "estado de sitio" debido a la parcial interpretación de sus realidades.

Guadalupe Luceño busca en sus obras la reinterpretación del mensaje universal que trasluce toda obra de arte para desentrañar los gritos de la angustia, el dolor implícito en la separación ficticia que suponen las fronteras o las banderas cuando se discurre sobre lo que nos aproxima, de la sinapsis que subyace en el gesto más ínfimo de acercamiento. Este diálogo se propugna en cada arista, en la cálida caricia que irradia cada uno de sus círculos, o el afilado interrogante de un triángulo cuya base se extiende hacia todos nosotros hasta llegar a una cúspide que coronan los elegidos, los que comprenden finalmente ser la parte que da sentido a un todo exacto, basado en la matemática y la intuición estética de un devenir común.

Así pues, la autora centra sus composiciones en el entendimiento que se expande hasta convertirse en una profunda corriente de pensamiento que nos transporta hacia el terreno de la libertad individual donde cada cual debe escoger su íntima belleza *para aliviar la angustia de este tiempo, para limpiar el lodo de este espacio*, como diría el insigne poeta Mahmud Darwish.

Luis Luna

Pérdidas por inundaciones en España [Réplica]

Respuesta a Ayala-Carcedo, F., Olcina Cantos, J. y Vilaplana, J.M., 2004. Estrategias de mitigación de los riesgos naturales en España (1999-2000). Tierra y Tecnología, 26, 5-12

A través de esta comunicación se da respuesta a Ayala et al. (2004), autores de la publicación epigrafiada, quienes rebaten las estimaciones de pérdidas por inundaciones y deslizamientos en España dadas por González de Vallejo (1988). No podemos constatar las cifras de pérdidas por deslizamientos al no disponerse de datos y criterios objetivos sobre las mismas, pero sí podemos aportar datos sobre las inundaciones, presentándose éstos a continuación.

En primer lugar Ayala et al. (2004) citan a IGME (1987) y a González de Vallejo (1988) como dos trabajos independientes cuando en realidad son el mismo estudio. El primero es el conocido informe realizado por el Instituto Geológico y Minero de España en 1987 sobre el "Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España", en cuya elaboración participó Francisco Javier Ayala Carcedo junto a Luis I. González de Vallejo, citado habitualmente por el primero en diversas publicaciones como Ayala et al. (1987). En el segundo trabajo se publican algunos resultados y aspectos metodológicos del anterior informe en una monografía del IGME. En adelante nos referiremos a ambos trabajos como IGME (1987).

Ayala et al. (2004) calculan unas pérdidas por inundaciones para el período 1990-1999 de 1.261,5 mill. €, con una media de 126,15 mill. €/año, aunque en esta misma publicación dan también cifras de 127,82 mill. €/año para el período 1990-2000. Estas cifras, según indican los autores, son sustancialmente menores que las obtenidas para la proyección a 30 años por González de Vallejo (1988), y que, según Ayala et al. (2004), para el periodo 1990-1999, ascenderían a 4.964,8 mill. €, lo que supone una sobreestimación de casi cuatro veces.

Estas diferencias se deben a los siguientes factores:

- El estudio del IGME (1987) estimó pérdidas para un periodo de 30 años (1987-2016), por lo que no es correcto dividir estas pérdidas entre 3 y asignar esta cantidad al periodo 1990-1999, como hacen Ayala et al. (2004), aunque sí podría considerarse válido estimar pérdidas medias anuales a partir de la cifra global.
- Aún asumiendo este procedimiento, de la cifra global dada por el IGME, la parte proporcional correspondiente a 10 años (1990-1999) sería de 4.180 mill. €, lo que hace que la cifra de 4.964,8 mill. € esté sobrevalorada en un 18,8% (ambas cantidades en euros de 1986).

- Otro error que cometen los autores es comparar cifras en euros de 1986 del estudio del IGME con cifras en euros de 1999 ó 2000: 4.964,8 mill. € (de 1986), 1.261,5 mill. € (de 1999?) y 1.278,2 mill. € (de 2000).

Dado que las cifras no están referenciadas a un mismo valor constante en euros, hemos procedido a unificarlas con respecto a euros de 2002. En las tablas adjuntas se muestran los resultados. Como puede observarse estas cifras (actualizadas según datos del INE) son distintas a las dadas por Ayala et al. (2004), acentuando más aún las diferencias entre las pérdidas de ambas fuentes. Las pérdidas calculadas por Ayala et al. (2004) para el periodo 1990-1999 serían solo un 16% de las estimadas por el IGME (1987), lo que supone una diferencia todavía mayor de la que indican los autores (*tabla 1*).

Por otro lado, Ayala-Carcedo (1999) y Pujadas Ferrer (2002) habían publicado anteriormente, el segundo citando al primero, unas pérdidas anuales por inundaciones en España de 210 mill. € para el periodo 1977-1997, incidiendo también ambos en la sobrevaloración de las cifras del estudio del IGME de 1987. Para justificar esta cantidad, Pujadas Ferrer (2002), indica que "las únicas estadísticas existentes se refieren a las pérdidas aseguradas (no totales) realizadas por el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), que establecen una media de unos 96 mill. € (de 1998 = 109.73 Mill. de euros de 2002) para el periodo 1977-1997". Es a partir de esta cantidad y de la llamada "tasa de aseguramiento" de donde se obtiene la cantidad de 210 mill. €; según Ayala-Carcedo (1994 y 1999) la denominada tasa de aseguramiento sería del 31%, en 1994, y superior al 50%, en 2002, mayor en las zonas expuestas. Las cifras dadas en Ayala-Carcedo (1999) y Ayala-Carcedo et al. (2004) se contradicen, según se muestra en la *tabla 2*.

Ante estas contradicciones, pero sobre todo ante la gran diferencia en las cifras de pérdidas estimadas por el IGME en 1987 (848 mill. € de 2002 como valor medio anual para el periodo 1987-2016) y las calculadas por Ayala et al. en 2004 (136,5 mill. € de 2002 como valor medio anual para el periodo 1990-1999), se exponen a continuación los criterios que han conducido a resultados erróneos de los cálculos de Ayala et al. (2004) de pérdidas por inundaciones en el periodo 1990-1999.

Según indican dichos autores, la evaluación de las pérdidas se realiza a partir de los datos del CCS, actualizando las pérdidas aseguradas a 2000 y estimando los "Índices de aseguramiento" a partir de los datos del INE. No puede tomarse como válida la metodología empleada por Ayala et al. (2004) a partir de los datos proporcionados por el CCS a los que posteriormente se aplica un índice de aseguramiento, por los siguientes motivos:

- Los datos del CCS corresponden a indemnizaciones por pérdidas aseguradas, y solo representan parcialmente las pérdidas reales habidas, por dos motivos: a) la gran mayoría de los seguros no se hacen por el valor real de los bienes, sino por cantidades menores, y b) sólo un porcentaje de los bienes está asegurado.

Tabla 1. PÉRDIDAS POR INUNDACIONES PARA EL PERIODO 1990-1999

	Calculadas Ayala el al., 2004	Previstas IGME, 1987
Total	1.365	8.480
Media anual	136,5	848

Millones de euros de 2002.

Tabla 2.

Autores	Pérdidas medias anuales por inundaciones	"Índice de aseguramiento"
Ayala-Carcedo el al. (2004)	127,82 (mill. € de 2000)	58% en 1995
Ayala-Carcedo (1999)	210 (mill. € de 1999)	31% en 1994
Pujadas Ferrer (2002)		
Pujadas Ferrer (2002)		"superior al 50%" en 2002

Tabla 3. PÉRDIDAS MEDIAS ANUALES POR INUNDACIONES PARA EL PERIODO 1990-1999

Calculadas Ayala el al., 2004	Previstas IGME, 1987	Calculadas IGME, 2003
136,5	848	745

Millones de euros de 2002.

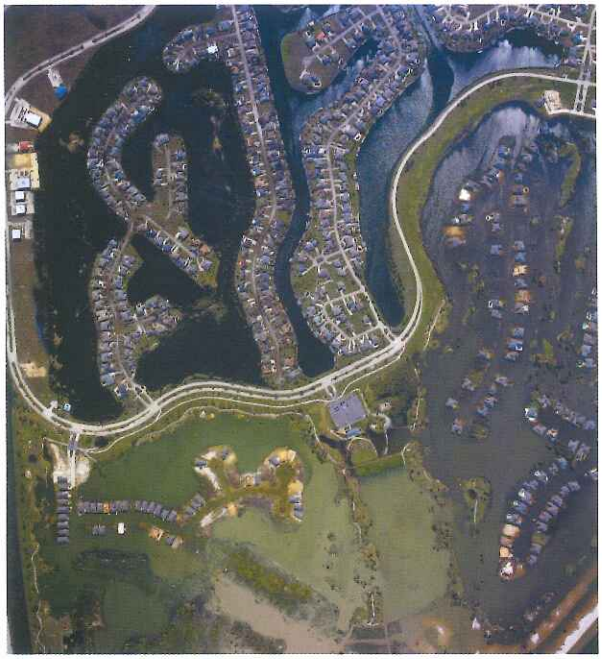


Imagen tomada de la "National Oceanic and Atmosphere Administration. U.S. Government", 2005.

Por tanto, las estimaciones de Ayala et al. (2004) están infravaloradas. Los datos del CCS no pueden tomarse como pérdidas totales, ya que este organismo solamente paga un porcentaje de las mismas, y por tanto, su utilización como valor de perdidas totales (aún reajustadas con índices o datos de porcentaje de aseguramiento) lleva a una clara subestimación de las perdidas totales producidas por inundaciones.

- Con respecto al anteriormente citado punto b), Ayala et al. (2004) tratan de resolverlo mediante la utilización del llamado "índice o tasa de aseguramiento", tomando el valor, según se ha citado anteriormente, del 58% en 1995 (Ayala et al. 2004); aunque en Ayala (1994 y 1999) y Pujadas Ferrer (2002) se dan datos del 31% en 1994 y "superior al 50%" en 2002.

Para valorar la representatividad de este índice, en el que se asan los cálculos, se ha consultado al INE (fuente que citan los autores), al CCS, a la Dirección General de Seguros y al Ministerio de Economía; ninguna de estas instituciones tienen constancia ni conocen la existencia de estos datos ni de este índice.

Por otro lado, en 2003, el IGME finalizó un nuevo estudio "Pérdidas por terremotos e inundaciones en España durante el periodo 1987-2002 y su estimación para los próximos 30 años (2004-2033)" publicado por IGME-CCS en 2004; en este trabajo se han calculado unas pérdidas por inundaciones en España para el periodo 1987-2002 de 11.921 mill. € de 2002 (con un valor medio de 745 mill. €/año). Estas pérdidas han resultado un 12% menores que las previstas en el estudio del IGME de 1987, porcentaje perfectamente asumible dentro del tipo de análisis realizado, mientras que la cifra dada por Ayala et al. (2004) supone solo el 18% de las pérdidas totales calculadas, con una infravaloración de cinco veces sobre el total de pérdidas (*tabla 3*).

En la publicación IGME-CCS (2004) se desarrolla la metodología y el cálculo de perdidas ocurridas entre 1987 y 2002, a partir de una base de datos exhaustiva sobre las perdidas económicas causadas por inundaciones es España (informes municipales y provinciales asociados a reales decretos, noticias de prensa, indemnizaciones pagadas por el CCS, etc.). Este trabajo puede obtenerse solicitándolo al CCS o al IGME. □

Luis I. González Vallejo
Geólogo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA-CARCEDO, F., (1994). "Análisis del impacto socioeconómico de los riesgos naturales en España en el periodo 1990-1992". Protección Civil, mayo 1994, 10-13.
- AYALA-CARCEDO, F., (1999). "Selección racional de estrategias estructurales y no estructurales y de actuaciones públicas y privadas en la mitigación del riesgo de inundaciones en España. Un análisis comparativo. Rev. Real Academia de CC. Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, vol. 93, I, 99-114.
- AYALA-CARCEDO, F., OLCINA CANTOS, J. y VILAPLANA, J.M., (2004). "Estrategias de mitigación de los riesgos naturales en España (1999-2000)". Tierra y Tecnología nº 26, 5-12. Madrid.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L., I. (1988). "La importancia socioeconómica de los riesgos geológicos en España". En Riesgos Geológicos. Ayala Carcedo, Durán Valsero y Peinado Parra Coord. IGME, Madrid. 21-34.
- IGME, (1987). "Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España". Madrid.
- IGME-CCS, (2004). "Pérdidas por terremotos e inundaciones en España durante el periodo 1987-2001 y su estimación para los próximos 30 años (2004-2033)". Consorcio de Compensación de Seguros. Madrid.
- PUJADAS FERRER, J., (2002). "Las inundaciones en España: impacto económico y gestión del riesgo". En: Riesgos Geológicos. Ayala-Carcedo y Olcina Cantos Coord. 879-888. Ariel Ciencia.

ACTA DEL JURADO DEL VII CONCURSO DE FOTOGRAFÍA

EMILIO ELIZAGA

Reunido el Jurado el día 25 de noviembre de 2004 en la Sede del Colegio Oficial de Geólogos en Madrid, formado por:

Luis Suárez Ordóñez	Presidente del ICOG
José Luis Barrera Morate	Vicepresidente 1º del ICOG
Manuel Regueiro y González-Barros	Secretario General del ICOG
Diego Caballo Ardil	Presidente de la ANIGP-TV (Asociación Nacional de Informadores Gráficos de Prensa y Televisión).
Javier Ceballos Aranda	Geólogo. Fotógrafo profesional.

Acuerdan otorgar por unanimidad los siguientes premios:

Categoría COLEGIADOS

1er Premio. Desierto

2º Premio

Título
Morro Baily.
Isla Decepción
Autor
José J.
Martínez-Diez
Lugar
Antártica



3er Premio

Título
Sin título
Autor
Joaquín Souto Soubriel
Lugar
Landmannalaugar/
Laugahraun. Islandia

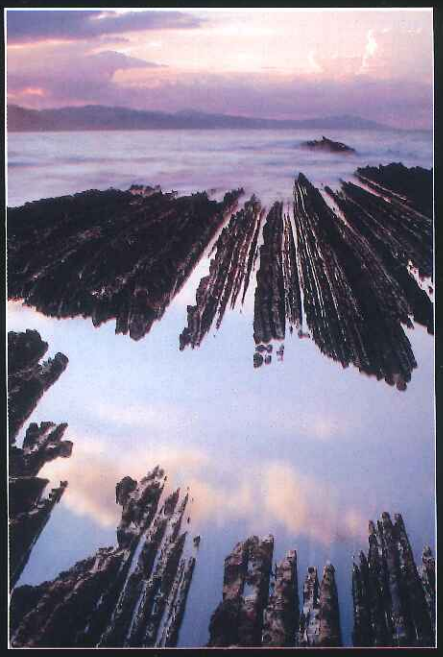


Categoría NO COLEGIADOS

A - 1er Premio.
Título: UTA
Autor: José Torres Tabanera
Lugar: Arches National Park.
UTA. EEUU

B - 2º Premio
Título: Flysh
Autor: Asier Castro de la Fuente
Lugar: Zumaya. Guipúzcoa

C - 3er Premio
Título: Geyser
Autora: María Garrido Gil
Lugar: Islandia. Zona geotermal
de geysir

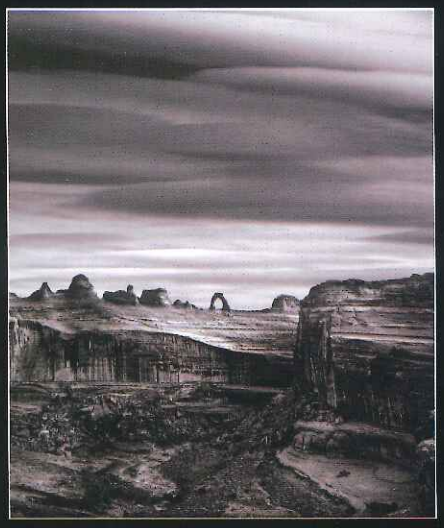


B



C

A



ACCESIT. ***Trabajo del geólogo en imágenes***
Título: Marcando
icnitas
Autora: ***Maite Beistegui San Ildefonso***
Lugar: Fuentesalvo.
Villar del Río. Soria



La opción que más le favorece



Servicios financieros a la medida de cada profesional

Pertenecer al Ilustre Colegio Oficial de Geólogos le ofrece la posibilidad de disfrutar de las ventajas de la oferta financiera de TecnoCredit.

Un conjunto de productos y servicios, concebidos para dar respuesta a sus necesidades personales y profesionales, que se actualizan y mejoran constantemente de acuerdo con la evolución del mercado financiero.

Se beneficiará de **condiciones preferentes** (exención de comisiones, tipos de interés reducidos en préstamos y créditos) con la garantía y solvencia del cuarto grupo bancario español: el **Grupo Banco Sabadell.**

Benefíciese ahora de las condiciones exclusivas del convenio con el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.

Infórmese en el **902 323 222** o en cualquier oficina del Banco Sabadell.

Grupo Banco Sabadell

TecnoCredit
www.tecnocredit.com