



Ilustre Colegio
Oficial
de Geólogos

Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • Nº 42 • SEGUNDO SEMESTRE DE 2012



- **CENA DE NAVIDAD 2012**
- **HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES (II)**
- **ROCAS ORNAMENTALES DEL PAÍS VASCO Y NAVARRA (I)**
- **LAS INUNDACIONES: LA INCORRECTA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO**



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
CALENDARIO PREVISTO 2013

CURSOS PRESENCIALES

05
MAR

Especialista calidad de balasto

11
MAR

Modelización geológica en 3D

03
JUN

Calidad y protección del subsuelo

17
JUN

Ensayos de bombeo

Herramientas ciclo hidrológico

14
OCT

ArcGis

Ingeniería geológica de túneles

11
NOV

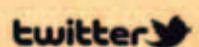
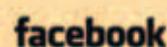
ESCUELA DE GEOLOGÍA PROFESIONAL

c/ Raquel Meller, 7 | MADRID

Colegiados, colegiados desempleados y poseedores de carné joven del Colegio Oficial de Geólogos tienen importantes deducciones en el coste de matrícula de cada curso. Interesados preguntar en la secretaría de cursos fcamacho@icog.es o en el Telf.: 915 532 403

27
NOV

PARA MÁS INFORMACIÓN WWW.ICOG.ES





Tierra y
Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN
GEOLÓGICA
Nº 42 • SEGUNDO SEMESTRE DE 2012

Edita:

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

ADMINISTRACIÓN Y REDACCIÓN

RAQUEL MELLER, 7. 28027 MADRID
TEL.: (34) 91 553 24 03

COMITÉ EDITORIAL

EDITOR PRINCIPAL: J. L. BARRERA MORATE

COMITÉ DE REDACCION

JESÚS MARTÍNEZ FRÍAS. *Dr. En CC. Geológicas.
Investigador Científico del CSIC*

PEDRO PÉREZ DEL CAMPO. *Geólogo. Subdirector
de Medio Ambiente. Dirección de Estrategia
y Desarrollo. Adif*

JUAN GARCÍA PORTERO. *Geólogo*

AMELIA CALONGE GARCÍA. *Dra. en CC. Geológicas.
Presidenta AEPECT*

RAFAEL PÉREZ ARENAS. *Dr. Ingeniero
de Caminos. Consultor*

JUAN RAMÓN VIDAL ROMANI. *Dr. en CC. Geológicas.
Catedrático de la Universidad de La Coruña*

RUBÉN ESTEBAN. *Investigador del IER - Consejería
de Educación y Cultura. Gobierno de La Rioja*

SECRETARÍA

ÁUREO CABALLERO

www.icog.es icog@icog.es

WEBMASTER: ENRIQUE PAMPLIEGA

DISEÑO

CYAN, PROYECTOS EDITORIALES, S.A.
www.cyan.es cyan@cyan.es

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.

PORTADA

COMPOSICIÓN: ENRIQUE PAMPLIEGA
FOTO: JORGOS PHOTOS

Sumario

- 2 • EDITORIAL
- 3 • CENA DE NAVIDAD 2012
- 8 • HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES (II)
- 25 • ROCAS ORNAMENTALES DEL PAÍS VASCO Y NAVARRA (I)
- 34 • CISNES NEGROS: EL RETO DE LO DESCONOCIDO
- 37 • LAS INUNDACIONES: LA INCORRECTA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y EL INFRADIMENSIONAMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS
- 45 • LA TORMENTOSA RELACIÓN DE MENOSPrecio CULTURAL, CIENTÍFICO, TÉCNICO Y GEOTÉCNICO ENTRE ESPAÑA Y SU PATRIMONIO HISTÓRICO
- 58 • EL PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA COMUNIDAD DE MADRID
- 63 • SEGOVIA: MUCHO MÁS QUE ACUEDUCTO Y COCHINILLO... PURA GEOLOGÍA
- 70 • PRESENTACIÓN DE LA COLECCIÓN 'PLANETA TIERRA'
- 72 • LA COLEGIADA AMELIA CALONGE, NUEVA DECANA DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN DE LA UAH
- 74 • GRACIAS, JOSÉ MARÍA HERRERO
- 76 • III CONGRESO "VERSOS'12. VERTEDEROS Y SOSTENIBILIDAD"
- 79 • EMILIO ELÍZAGA MUÑOZ, IN MEMÓRIAM (1992-2012)
- 84 • EL ICOG EN LA XII SEMANA DE LA CIENCIA
- 85 • XVIII PREMIO SAN VIATOR DE INVESTIGACIÓN
- 87 • PROFESOR DR. EMILE DEN TEX (1918-2012)
- 89 • EL GEÓLOGO JORGE CIVIS, NOMBRADO NUEVO DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
- 90 • RECENSIONES



Editorial Debates e interrogantes

Muchos debates están afectando actualmente a las actividades de los geólogos. Parece que cada vez somos más visibles en esta sociedad española que ha considerado a la geología como cosa de los naturalistas del siglo XIX, y ha sido incapaz de valorar el conocimiento geológico como una actividad fundamental del desarrollo económico y social. En esta creencia trasnochada están, prácticamente, todos los partidos políticos sin exclusión. Se ve que la cultura geológica de la sociedad es más que ínfima; es casi nula. Mucha de la culpa está en los diversos planes de estudios de enseñanza secundaria que considera a la geología como una asignatura menor; así tuvimos que decirselo al ministerio durante la elaboración de la LOMCE. Se entiende ahora por qué los administradores públicos confunden un licenciado en CC. Geológicas con otro en CC. Ambientales.

Pero volviendo a los debates actuales, señalemos los de mayor impacto. Por un lado está el trascendente anteproyecto de ley de Servicios Profesionales; por otro, la tan traída y llevada exploración de gas por la técnica de fracturación hidráulica (*fracking*) y, por último, la participación geológica en las crisis sísmicas que afecta a Jaén y Navarra.

El anteproyecto de ley de Servicios Profesionales, que se quiere aprobar en el presente semestre del 2013 el ICOG, junto al resto de colegios de Ciencias, lo tiene claro: la colegiación tiene que ser un requisito para ejercer las profesiones que afectan a los derechos de los ciudadanos. Siguiendo con la argumentación, el Colegio manifiesta que la revisión de la colegiación, estableciéndola como obligatoria para unos y voluntaria para otros, rompería un modelo de ejercicio de calidad, basado en el control independiente e imparcial. La propuesta que está considerando el Ministerio de Economía, plantea un modelo basado en la libertad de acceso y ejercicio de las profesiones con una lista de excepciones. Pero... ¿cuáles son las excepciones para el ministerio? Para el ICOG, la justificación de la colegiación necesaria para ejercer abarca a más profesiones que las recogidas en el borrador del anteproyecto. Al amparo de las modificaciones que sufrió el borrador en el Senado, se recalca aun más que la actividad geológica supone una "garantía de la prestación de servicios de interés general o de servicios públicos, la preservación del medio ambiente o la conservación y administración del patrimonio de las personas", como dice la enmienda aprobada.

En cuanto al siempre impreciso concepto de "reserva de actividad", el Colegio lo tiene también claro. Considera que "independientemente de a qué profesión se atribuyan en exclusiva o de forma compartida determinadas actuaciones profesionales, su capacitación y competencia han de ser comprobadas". Aquí entra de lleno el lema del ICOG: "la competencia para el competente". Es decir, no basta con el título académico para ejercer, hay que demostrar la valía profesional con una certificación. No nos inventamos nada, el modelo anglosajón ya lo tiene inventado desde hace años. Para quien quiera ampliar estos conceptos, pueden consultar el número 141 de la revista *Profesiones* editada por Unión Profesional.

Otro debate muy de actualidad es el de la fracturación hidráulica (*fracking*) y su impacto ambiental. Mucho se ha escrito ya en el poco tiempo que lleva el tema en boca de todos. El ICOG es el primer defensor del medio ambiente, pero también es el que apoya el desarrollo de los recursos energéticos en un país, como el nuestro, que es deficitario en dichos recursos. Por tanto, no se opone a la exploración, investigación y aprovechamiento de recursos energéticos con utilización de esta técnica; sólo exige que se respeten dos condiciones: un estricto cumplimiento de la normativa legal (medioambiental y de cualquier otro tipo) que sea de aplicación, y que se encuentre actualmente vigente y/o que en el futuro sea aprobada, y que se utilice escrupulosamente los más altos estándares y las mejores prácticas de la industria de exploración y producción de hidrocarburos, basados en la muy dilatada experiencia que, con respecto al empleo de la fracturación hidráulica, ya existe. El Colegio considera que los emplazamientos de estos proyectos de investigación y/o explotación tienen que construirse en condiciones de "vertido cero", evitando cualquier tipo de derrame contaminante a la superficie del terreno y/o a los cauces fluviales. Igualmente, y como no podía ser menos, los trabajos de perforación, entubado, cementación, estimulación y cualesquiera otras labores relacionadas que se desarrollen en el interior del pozo, se tienen que realizar de forma que se garantice la integridad del pozo y la no afectación a los acuíferos que hayan sido atravesados por el sondeo.

Si los poderes públicos consideran que el actual marco regulatorio no es suficiente para regular de forma adecuada el empleo de la fracturación hidráulica, el ICOG, como siempre ha hecho, se pone a disposición de las Administraciones con competencias en la materia para asesorar en la realización de dicha normativa, especialmente en los aspectos que tengan relación con el conocimiento del subsuelo.

Y hablando del subsuelo, no debemos olvidarnos de las crisis sísmicas que sufren la provincia de Jaén y la Comunidad de Navarra. La sismicidad se concentra en dos puntos donde no es habitual esta peligrosidad. La población está asustada, y con razón. Si recurrimos a los mapas geológicos para buscar las causas de los mismos, vemos que no hay datos neotectónicos; ¿por qué? se pregunta uno. Pues, sencillamente, porque la geología está sin actualizar y cuando se realizaron los mapas geológicos se consideraba que los terremotos les ocurrían a otros; es como si el cupo de terremotos lo tuviéramos cubierto en España con el terremoto de Lisboa, de 1755. En el caso de Navarra se comprueba que la causa son los deslizamientos provocados por la lluvia. En Jaén, la falla que pasa por Torreperogil y Sabiote es invisible en los mapas geológicos. El debate está abierto. Hay que actualizar la geología de muchas zonas españolas, empezando por aquellas que tienen algún grado de peligrosidad de riesgos naturales. ¿Quién pone el dinero? De ello podríamos hablar largo y tendido, pero esperemos que mientras tanto no ocurra alguna desgracia en ninguno de estos dos puntos, o, por qué no, en la isla de El Hierro.

Cena de Navidad 2012

La tarde noche del 19 de diciembre, a las 20:00 horas, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos celebró su tradicional cena de Navidad. Al igual que el año pasado, por motivos de mayor proximidad y sentido más caluroso entre los asistentes, y también por motivos de austeridad, el cóctel-cena tuvo lugar en la propia sede del Colegio, en la calle Raquel Meller de Madrid. No por ello perdió encanto y calor; es más, para muchos de los asistentes, la celebración en la sede colegial les pareció mejor que la frialdad, a veces, de un salón público con las mesas ya preparadas. Entre colegiados, invitados y distinguidos, el número de asistentes fue de noventa y dos personas. A media tarde, se ultimaban los preparativos finales del evento.

TEXTO | Manuel Recio. Europa Press.

FOTOGRAFÍAS | Irina Taramacca, ICOG.

Invitado de honor y asistentes

Como invitado de honor estuvo Amador Elena, director general del IGN, que vino en sustitución de la ministra de Fomento, Ana Pastor, quien por circunstancia de agenda de última hora no pudo acudir.

A su llegada fue recibido por el presidente del ICOG, Luis Suárez, que le invitó a pasar a su despacho. Allí se fotografió con la Comisión Permanente del Colegio (*figura 1*) y firmó en el libro de honor (*figura 2*).

Entre los asistentes destacados estaban, Gonzalo Echagüe, presidente del Colegio Oficial de Físicos y presidente de la Fundación CONAMA, Antonio Zapardiel, decano-presidente del Consejo General de colegios de Químicos, el director general del IGME, Jorge Civis, Amelia Calonge, decana de la Facultad de Ciencias de Alcalá de Henares, colegiada de honor y presidente de la AEPECT, Salvador Ordóñez Delgado, exrector de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Agustín Pieren Pidal, vicedecano de Postgrado y Relaciones Institucionales de la UCM, Luis González de Vallejo, catedrático de la UCM. Igualmente, también estaban presentes: Luis López Ruiz, director general de Desarrollo Estratégico y Relaciones Internacionales de Adif, Gonzalo Muzquiz, secretario técnico de UP, Nuria Salom, secretaria de Unión Interprofesional de Madrid. Una visión de la sala y sus asistentes se ve en las *figuras 3 y 4*.

La Junta Directiva del ICOG se encontraba casi al completo, el presidente, Luis Suárez, el vicepresidente, José Luis Barrera, Cristina Sapalski, vicepresidenta 2ª, y el secretario general, Manuel Regueiro. También estaban el presidente de Geólogos del Mundo, Ángel Carbayo, la vicepresidenta de la Federación Europea de Geólogos y vocal del ICOG, Nieves Sánchez Guitián, la jefa de Secretaría, Fátima Camacho, el responsable de Administración y Calidad, Enrique Pampliega, y otros trabajadores y colegiados del ICOG.

Algunas delegaciones del ICOG estuvieron en el acto. Entre ellas se encontraban la del País Vasco, representada por su presidente Miguel



Figura 1. De izquierda a derecha: José Luis Barrera, Manuel Regueiro, Amador Elena y Luis Suárez.

Ángel Gómez, la de Cataluña, representada por su presidente, Joan Escuer, y su secretario Ramón Pérez Mir, y la de Asturias, representada por el nuevo presidente, Olegario Alonso. También asistió el nuevo delegado de Castilla y León, Álvaro Rodríguez.

El acto oficial dio comienzo con las palabras de bienvenida de José Luis Barrera (*figura 5*) a los presentes y disculpando a la ministra Ana Pastor por su ausencia. A continuación tomó la palabra, el presidente del Colegio, Luis Suárez.

Intervención de Luis Suárez

El presidente del ICOG (*figura 6*), después de agradecer la presencia de los invitados, inició su discurso hablando de la Ley de Servicios Profesionales, haciendo hincapié en la naturaleza de los colegios como entidades útiles para los ciudadanos. Suárez habló de colegiación obligatoria y de que las atribuciones profesionales fueran



Figura 2. Amador Elena firmando en el libro de honor.



Figura 3. Vista de los asistentes a la cena.



Figura 4. Vista de los asistentes a la cena.



Figura 5. José Luis Barrera presentando el acto.



Figura 6. Luis Suárez durante su intervención.



Figura 7. Cristina Sapalski presentando los títulos profesionales.

compartidas para que los ciudadanos tuvieran una mejor relación coste-beneficio.

Al mismo tiempo, quiso recordar uno de los lemas del Colegio: “la geología al servicio de los ciudadanos”. Por ello, el Colegio ha impulsado el visado telemático y los servicios online. Asimismo, el Colegio ha colaborado con iniciativas como el Geolodía, la Olimpiada de Geología y las acciones llevadas a cabo por el impulso de la asignatura de Geología en bachillerato dentro del anteproyecto de la LOMCE. El presidente también se refirió a que es preferible una geología preventiva que curativa, en relación con los riesgos naturales en España.

En relación con la situación laboral de la profesión, Luis Suárez quiso recordar las iniciativas que se han llevado a cabo desde el Colegio para favorecer el trabajo, destacando el Plan de Empleo que ha sido presentado al Ministerio y a varias

comunidades autónomas. “El Colegio tiene como principal directriz estratégica la lucha contra el desempleo”. En esa línea, Suárez considera justo que se racionalice el sector público empresarial. Para ello es necesaria una reforma en profundidad de las Relaciones de Puestos de Trabajo (RPT) para que sea más democrática y elimine las preeminencias corporativas que aun persisten en España y que se contraponen al principio de competitividad. El presidente recordó que el Colegio de Geólogos nunca pide atribuciones exclusivas sino servir mejor a los ciudadanos.

Por último, uno de los aspectos más importantes para el Colegio es la prevención de riesgos naturales en España. Por eso, desde la institución se ha creado un Observatorio de los Riesgos Naturales en la Ordenación del Territorio, un proyecto piloto la prevención de esos riesgos en cada municipio.

Eurogeólogos, peritos y títulos profesionales

Al acabar el discurso del presidente, Barrera dio la palabra a la vicepresidenta segunda, Cristina Sapalski (figura 7), y al secretario general, Manuel Regueiro, para proceder al acto de entrega de los títulos profesionales. Ambos recordaron que el Colegio de Geólogos es el primer colegio en emitir el título de Geólogo Europeo de la Federación Europea de Geólogos.

La relación de nuevos Eurogeólogos del año 2012 es:

- Joan Escuer Solé (1876) (figura 8).
- Eduardo Chicharro Fernández (6359) (figura 9).
- David Gómez Vivo (6701) (figura 10).
- Sergio Navarro Alonso (4551); recogido por Manuel Regueiro (figura 11).
- Martín Pérez Roca (6066) (figura 12).



Figura 8. Joan Escuer Solé recogiendo su título.



Figura 9. Eduardo Chicharro Fernández recogiendo su título.



Figura 10. David Gómez Vivo recogiendo su título.



Figura 12. Martín Pérez Roca recogiendo su título.



Figura 11. Manuel Regueiro recogiendo el título de Sergio Navarro Alonso.

- José Ángel Rodríguez Freire (4277).
- José A. Berrio Fernández-Caballero (6901).
- Emilio José Hernández Iglesias (3771).
- José M^a Piney Bedia (5528).
- Alessandro Marsili (6755).
- Rodrigo Guillén Martínez (3949).
- Diego Martín Gómez (6942).
- M^a Teresa Sanz Alvear (5478).
- César Cambeses Torres (5660).
- Carmelo Gómez Domínguez (699 ICOGA).

La relación de nuevos peritos del año 2012 es:

- José Ángel Rodríguez Fereire (4277).
- Joan Escuer Solé (1876).
- José A. Berrio Fernández-Caballero (6901).
- María Teresa Sanz Alvear (5478).

La relación de los nuevos títulos profesionales del año 2012 es:

- José Ángel Rodríguez Freire (4277). Título Profesional Especialista en Ingeniería Geológica.
- Joan Escuer Solé (1876). Título Profesional Especialista en Consultoría Geológica.
- Martín Pérez Roca (6066). Título Profesional Especialista en Geología Ambiental.
- José A. Berrio Fernández-Caballero (6901). Título Profesional Especialista en Ingeniería Geológica.
- Emilio José Hernández Iglesias (3771). Título Profesional Especialista en Geotécnica.
- José M^a Piney Bedia (5528). Título Profesional Especialista en Ingeniería Geológica.
- David Gómez Vivo (6701). Título Profesional Especialista en Recursos Minerales.



Figura 13. Manuel Regueiro presentando las distinciones.

- M^º Teresa Sanz Alvear (5478). Título Profesional Especialista en Geotécnia.
- Felix Quiralte López (979). Título Profesional Especialista en Ingeniería Geológica.
- Sergio Navarro Alonso (4551). Título Profesional Especialista en Ingeniería Geológica.

Distinciones

Después de la entrega de los títulos, el secretario del Colegio, Manuel Regueiro (figura 13), leyó el acta en que se nombraba Colegiado de Honor a Juan Ramón Vidal Romaní, un profesional dedicado toda su vida a la investigación geológica en Galicia (figura 14). Tras sus palabras de agradecimiento (figura 15), se procedió a la clausura del acto a cargo de Amador Elena, director general de Instituto Geográfico Nacional.

Intervención de Amador Elena

Elena (figura 16), tras agradecer la presencia de todos los asistentes, destacó la labor de los profesionales de la geología en construcciones y vías públicas, trabajando de manera muy directa con el Ministerio de Fomento. También resaltó la labor de los estudios geotécnicos del terreno como paso previo fundamental. “En los tiempos de crisis actuales es básico reducir los costes de las obras evitando los astronómicos reformados de proyecto”, indicó. En ese sentido habló del desafío que han supuesto las obras del tren de alta velocidad debido a la peculiar orografía de España. Uno de los anuncios más importantes de la noche tenía relación con la revisión de la normativa sismo-resistente por parte del Ministerio de Fomento, dentro de una de sus prioridades.

Con las palabras del director del IGN se dio por concluido el acto oficial. A continuación se ofreció a todos los asistentes un ágape variado de degustaciones culinarias para poder acompañar charlas, conversaciones, sonrisas, reencuentros e incluso hasta contactos profesionales, como siempre en un ambiente distendido y amable (figuras 17 a 22).

Alrededor de las 22:00 horas, el evento tocaba a su fin. Los asistentes iban despidiéndose de manera escalonada. Todos salieron agradecidos. Hasta el año que viene.



Figura 14. Juan Ramón Vidal recogiendo su distinción de Colegiado de Honor.



Figura 15. Juan Ramón Vidal agradeciendo la distinción.



Figura 16. Amador Elena durante su intervención a los asistentes.



Figura 17. De izquierda a derecha: Alfredo Comendador, Luis Ángel García Borrego y Álvaro Rodríguez Zapata.



Figura 18. De izquierda a derecha: Miguel Campos y Salvador Ordóñez.



Figura 19. De izquierda a derecha: M^a Ángeles García del Cura y Carmen Andrade.



Figura 20. De izquierda a derecha: Rabel Pérez Arenas, Luis González de Vallejo y Jesús Rodríguez Santiago.



Figura 21. De izquierda a derecha: José Luis González, Valeriano Perianes, Carlos Duch, Luis López y Mariano Santiso.



Figura 22. De izquierda a derecha: Roberto Rodríguez, Ricardo García, Miguel Campos, Manuel Regueiro y Jorge Civis.

Hidrocarburos no convencionales (II)

Conceptos básicos, historia, potencialidad y situación actual

La segunda parte de este artículo se centra en la descripción del método auxiliar habitualmente empleado en la extracción de hidrocarburos no convencionales (especialmente en la producción de *shale gas*, *shale oil* y *tight gas*), la denominada fracturación hidráulica (*hydraulic fracturing* o *fracking*). Es una técnica que se utiliza para fracturar la roca reservorio no convencional con objeto de crear permeabilidad artificial que permita aumentar los volúmenes de hidrocarburos que puedan fluir al pozo desde el almacén no convencional. Por su propia naturaleza, estos tipos de reservorios presentan valores de permeabilidad muy bajos. Se describen los aspectos básicos de esta técnica y se analizan determinados tópicos que con respecto al uso de la fracturación hidráulica están creando una cierta polémica en los medios de comunicación y en algunos sectores de la sociedad.

TEXTO | Juan García Portero, geólogo. Colegiado nº 573 del ICOG, responsable de exploración en la Sociedad de Hidrocarburos de Euskadi (SHESA).

Palabras clave

Hidrocarburos no convencionales, perforación, fracturación hidráulica, hydraulic fracturing, fracking, estimulación, aditivos, flowback, microsismicidad, huella superficial.

Las rocas compactas (*tight*) y las rocas generadoras (*oil shale* y *gas shale*) que contienen hidrocarburos son reservorios no convencionales. Estas rocas almacén no convencionales, que albergan hidrocarburos no convencionales, se caracterizan por poseer valores de permeabilidad muy bajos, menores que 0'1mD (miliDarcy).

Valores de permeabilidad tan pequeños no permiten que, una vez que se perfora el reservorio, fluyan volúmenes importantes de hidrocarburo de la roca almacén al pozo. En consecuencia, las recuperaciones por pozo en este tipo de reservorios estarían condenadas a ser siempre, o casi siempre, sub-económicas, a menos que, de alguna forma, se aumenten los valores de permeabilidad de la roca reservorio. Esto se consigue estimulando, fracturando artificialmente la roca: es el proceso conocido como fracturación hidráulica, *hydraulic fracturing* o *fracking*. Se aumenta la permeabilidad de la roca, se permite que fluyan al pozo parte de los hidrocarburos en ella contenidos, incrementando así los volúmenes de hidrocarburos que pueden recuperarse.

El proceso de perforación y de fracturación hidráulica de un pozo para exploración-producción de hidrocarburos

El proceso de fracturación hidráulica es completamente independiente del de perforación del pozo, y necesariamente posterior. La fracturación

hidráulica se realiza siempre una vez que el pozo está ya terminado y completado.

Con objeto de entender cómo se realizan ambos procesos, lo mejor, lo más didáctico, es describir cada uno de ellos por separado, en orden cronológico, tal y como acontecen en la exploración-producción de hidrocarburos no convencionales.

En cualquier caso, el lector debe tener presente que existen otras formas de diseñar, construir y fracturar (estimular) un pozo para exploración-explotación de hidrocarburos. La que se resume a continuación puede considerarse una manera habitual de proceder. Asimismo, debe tenerse en cuenta que los procesos de perforación y de fracturación conllevan otras muchas operaciones no descritas en el presente artículo.

Perforación

Normalmente, los objetivos para exploración-producción de hidrocarburos, tanto los convencionales como los no convencionales, se encuentran mucho más profundos que los acuíferos que contienen aguas meteóricas (suelen ser relativamente someros) o incluso se encuentran en columnas estratigráficas donde no hay acuíferos.

Los acuíferos explotables, ya sea para consumo humano, regadío, etc., contienen aguas meteóricas, aguas dulces, y están en conexión con la superficie, lo que posibilita su recarga.

Los hidrocarburos se encuentran habitualmente albergados en rocas que no tienen conexión con la superficie, lo que permite que en ellas se hayan podido preservar tanto el agua de formación como los posibles hidrocarburos generados y/o almacenados durante su evolución geológica (*véase figura 1A*). Si las rocas que contienen los hidrocarburos estuvieran conectadas con la superficie, a poca que fuese su permeabilidad, los hidrocarburos escaparían y los que permaneciesen serían alterados, oxidados y biodegradados por la acción microbiana. En la mencionada figura se esquematiza esta disposición teórica, pero ciertamente habitual, antes del comienzo de una perforación. Las profundidades anotadas son meramente orientativas y evidentemente pueden variar en márgenes amplios, pero igualmente responden a una situación que puede considerarse frecuente en la realidad. La mayor parte de los objetivos que hoy en día se exploran para hidrocarburos se sitúan a profundidades mayores de 3.000 m; el establecer el contacto entre las aguas meteóricas y las aguas connatas a unos 1.000 m es también una situación perfectamente factible.

Comienza el proceso de perforación con objeto de alcanzar el reservorio. En la perforación de pozos para exploración-producción de hidrocarburos, ya sean convencionales o no convencionales, siempre se aíslan los niveles superiores mediante la instalación de una o varias

secciones de entubados (*casings*; el superior se denomina *casing de superficie*, el siguiente *casing intermedio*) y cementando el espacio anular, el espacio entre la roca perforada y la tubería (véase figura 1B). Los diámetros de perforación y de entubación que se indican en estas figuras representan solamente una posible opción. Se puede construir un pozo utilizando otros diámetros menores, si el objetivo estuviese más somero, o mayores, si fuese necesario emplear más fases en la perforación del pozo. En cualquier caso, si la perforación de una fase se realiza con el diámetro indicado en las figuras, el diámetro que corresponde a su entubación suele ser también el anotado en ellas.

En el caso de existir un acuífero en la columna a perforar, se dedica una fase o sección de perforación y entubado-cementación exclusivamente para proteger el acuífero. Desde ese momento, antes de continuar la perforación, el acuífero se encontrará ya protegido por un lecho de cemento y una tubería (véase figura 1C). No siempre es necesario realizar esta operación puesto que hay situaciones, columnas de pozos, en las que no se atraviesa ningún acuífero de entidad.

Después de haber atravesado y aislado el acuífero, se continúa la perforación hasta llegar cerca del techo del reservorio, del objetivo exploratorio. Se puede emplear una o dos fases de perforación, dependiendo de la distancia que haya que salvar desde la base de la anterior entubación hasta la profundidad que se desee alcanzar: si es muy grande o el pozo presenta algún problema de perforación, será necesario emplear dos fases; si no es grande y/o la perforación discurre sin problemas, se puede alcanzar el techo del reservorio utilizando una sola fase. En la figura 1D se ha representado el caso en el que es necesario emplear dos fases de perforación, y dos entubaciones-cementaciones, para alcanzar el techo del reservorio.

Se entuba(n) y cementa(n) esta(s) nueva(s) fase(s), quedando así, antes de perforar el objetivo, toda la columna perforada aislada del pozo (véase figura 1D). Obsérvese que, en caso de haber empleado una sola fase para perforar desde la base del acuífero al techo del reservorio, el acuífero estaría protegido ya por dos capas de cemento y dos tuberías; mientras que en el caso de haber empleado dos fases para perforar desde la base del acuífero al techo del reservorio, el acuífero estaría entonces protegido por tres capas de cemento y tres tuberías; es el caso representado en la mencionada figura 1D. Una vez realizadas todas estas operaciones, se está en disposición de perforar el reservorio, la roca almacén que contiene los hidrocarburos, sin que dicha operación afecte, ni sea afectada, por la columna de materiales previamente perforada.

Después de haber perforado la parte del pozo donde se encuentra la formación reservorio, se entuba y se cementa. La operación suele realizarse utilizando una tubería colgada de revestimiento (*liner de producción*) y cementando el espacio anular, espacio entre la pared de la formación productora y el *liner*, desde el fondo del pozo hasta el colgador (*liner hanger*). Desde el colgador hasta la superficie se instala una tubería de producción (*production casing*) cuyo espacio anular, espacio entre la anterior tubería de revestimiento y la propia tubería de producción se llena normalmente de una salmuera estable y densa (véase figura 1E). El interior del pozo queda igualmente colmatado de agua y salmuera.

Así, toda la columna perforada, incluida la zona de la que luego se producirá, queda completamente sellada, totalmente aislada, del pozo creado; en algunos tramos, los más superficiales, por hasta tres tuberías y tres cuerpos de cemento. En el tramo más profundo, generalmente donde se localiza el almacén a explotar, normalmente con una tubería de revestimiento y una cementación.

A lo largo del proceso de perforación, y una vez finalizado éste, se emplean herramientas específicas para comprobar la idoneidad de los trabajos de entubación y cementación, la estanqueidad del pozo y, en general, la integridad de todos los elementos empleados. El conocimiento y los medios técnicos disponibles hoy en día hacen que este tipo de operaciones sean rutinarias y obligatorias en todos los programas de trabajo. La buena praxis en la realización de estas operaciones garantiza taxativamente que no se pueda producir contaminación desde el pozo a los acuíferos y/o a cualquier otro nivel

Si las rocas que contienen los hidrocarburos estuvieran conectadas con la superficie, a poca que fuese su permeabilidad, los hidrocarburos escaparían y los que permaneciesen serían alterados, oxidados y biodegradados por la acción microbiana

cortado en el sondeo, ni por los fluidos de perforación, ni por los fluidos de fracturación, ni por los hidrocarburos que se produzcan.

Si el pozo es positivo, desde que termina la perforación hasta que empieza la producción (pueden pasar años), queda así entubado y cementado en "abandono temporal", con el resto de los elementos de seguridad necesarios instalados; el pozo estará perfectamente sellado. Si el pozo es negativo, se abandona definitivamente, añadiéndole una serie de tapones de cemento, de unos 100 m de potencia cada uno.

Cuando se está listo para comenzar la explotación del reservorio, en un yacimiento convencional, basta con perforar el *liner de producción* y el cemento. Esto se hace usando pequeñas cargas explosivas que agujerean la tubería y el cemento. Las cargas se bajan por el interior del pozo y se disparan usando un cañón específicamente diseñado para estas operaciones. En cada disparo se utilizan normalmente 2-3 kg de explosivo, repartidos entre todas las cargas. En un yacimiento convencional, el hidrocarburo (gas y/o petróleo) fluiría libremente a través de las perforaciones (suelen tener diámetros de 2 o 3 cm). Sólo a través de las perforaciones, el resto del pozo queda perpetuamente aislado de las formaciones geológicas (véase figura 1F).

Estimulación mediante fracturación hidráulica

En un yacimiento no convencional, se perfora igualmente el *liner de producción* y el cemento (utilizando el mismo tipo de cargas explosivas, la misma tecnología), pero antes de producir hay que estimular (fracturar) la formación reservorio porque el gas (el hidrocarburo en general), debido a los bajos o muy bajos valores de permeabilidad de la roca almacén, no sería capaz de fluir por sí mismo en volúmenes suficientes para hacer rentable su extracción.

La fracturación hidráulica se realiza inyectando un fluido a presión (véase figura 1G). La presión a la que se inyecta el fluido deberá ser mayor que la presión de rotura de la formación para que el fluido consiga romper, crear microfracturas, en la roca. Se volverá sobre este aspecto en el siguiente epígrafe.

Una vez estimulada (fracturada) la roca almacén, la forma de producir es similar a la de un yacimiento convencional. El hidrocarburo fluye solamente a través de las perforaciones, el resto del pozo permanece completamente aislado de las formaciones geológicas.

La fracturación hidráulica o 'fracking'

Antecedentes y consideraciones previas

Como primer acercamiento al concepto de fracturación hidráulica o *fracking* conviene aclarar que, aunque pudiera resultar novedoso para

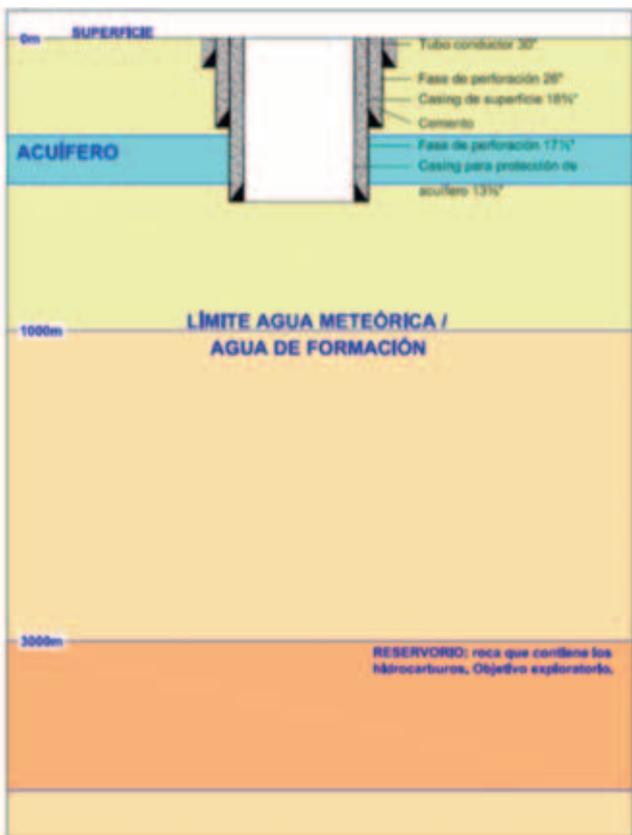
A) SITUACIÓN INICIAL



B) PERFORACIÓN, ENTUBACIÓN Y CEMENTACIÓN DEL TRAMO SUPERIOR



C) PERFORACIÓN, ENTUBACIÓN Y CEMENTACIÓN DEL ACUÍFERO ATRAVESADO



D) PERFORACIÓN, ENTUBACIÓN Y CEMENTACIÓN HASTA FORMACIÓN OBJETIVO

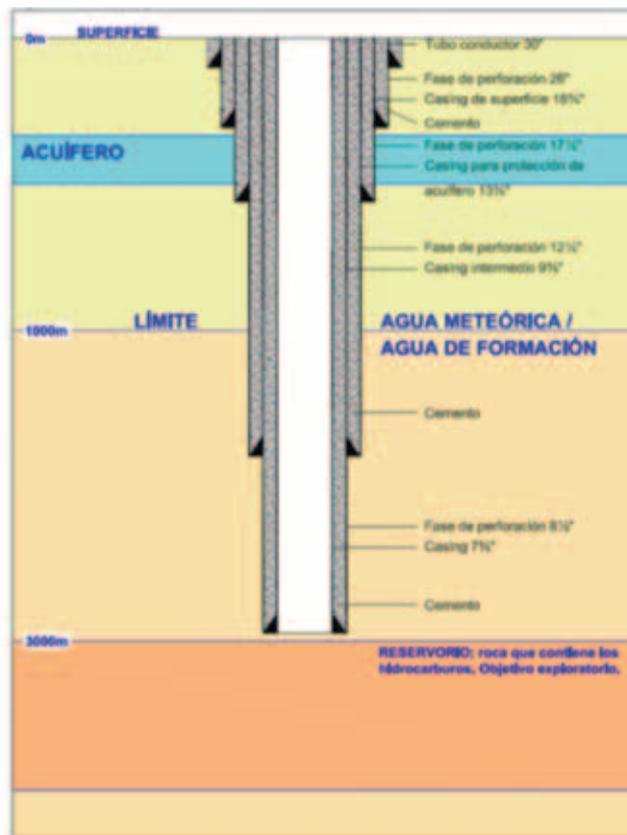
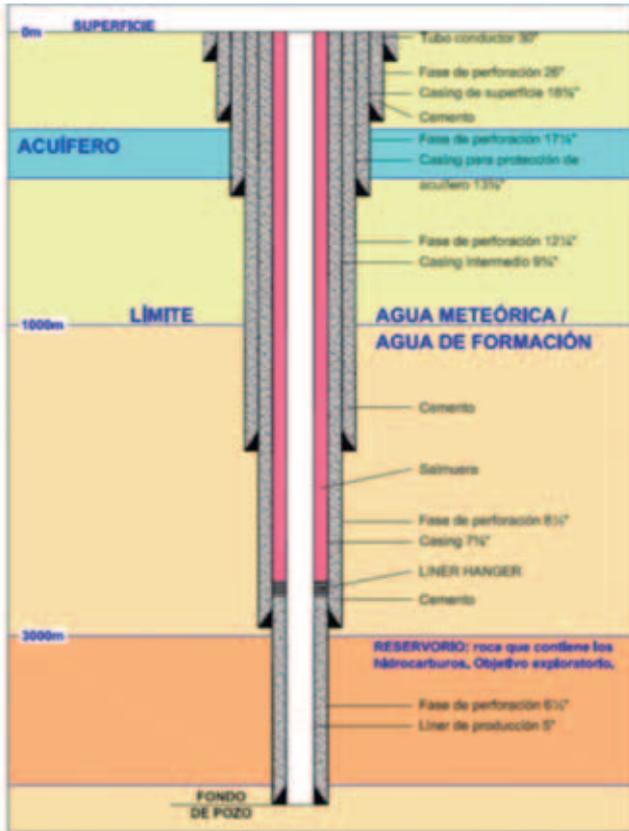
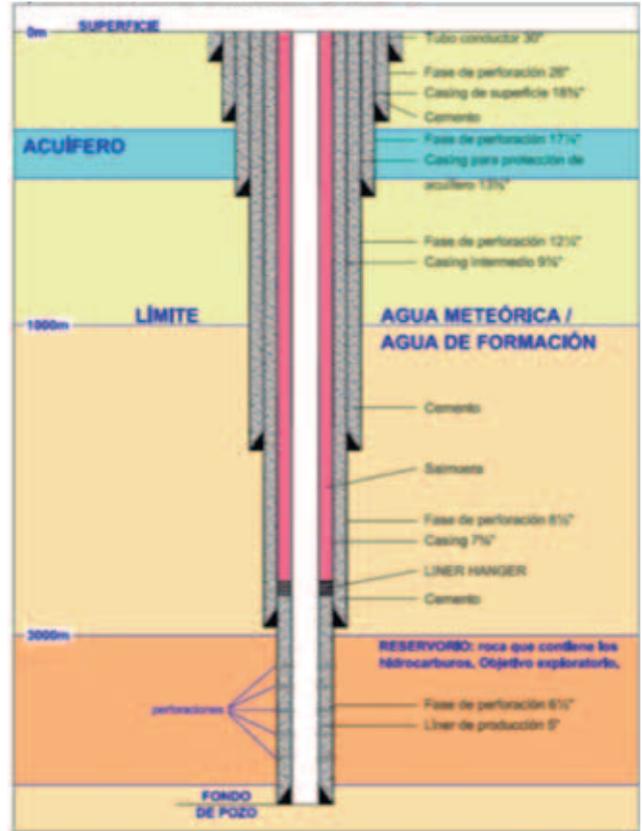


Figura 1. Esquemas explicativos del proceso de perforación, entubación, cementación de un pozo y estimulación de un reservorio no convencional.

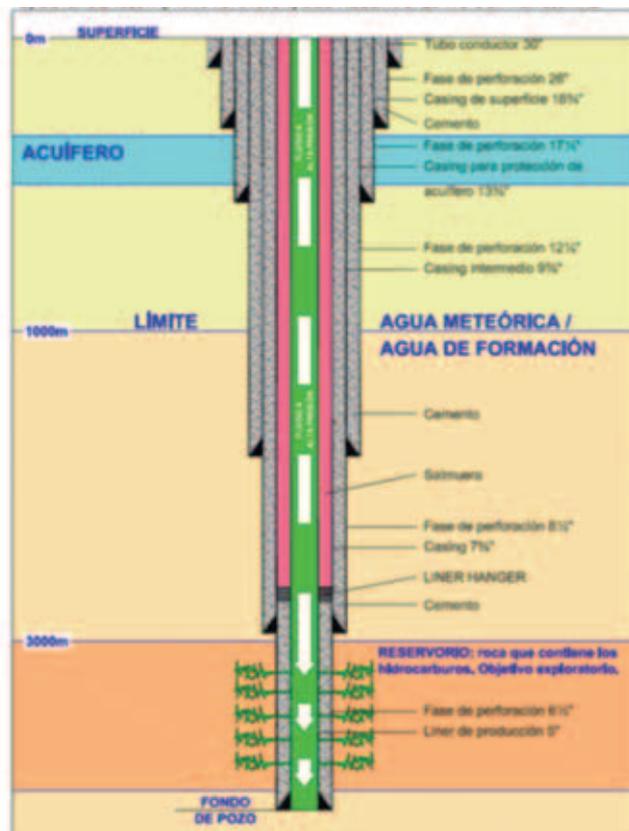
E) PERFORACIÓN, ENTUBACIÓN Y CEMENTACIÓN DE LA FORMACIÓN OBJETIVO



F) PERFORACIONES EN LA TUBERÍA Y EL CEMENTO



G) ESTIMULACIÓN (FRACTURACIÓN) DEL RESERVORIO NO CONVENCIONAL



La buena praxis en la realización de estas operaciones garantiza taxativamente que no se pueda producir contaminación desde el pozo a los acuíferos y/o a cualquier otro nivel cortado en el sondeo, ni por los fluidos de perforación, ni por los fluidos de fracturación, ni por los hidrocarburos que se produzcan

Figura 1. Esquemas explicativos del proceso de perforación, entubación, cementación de un pozo y estimulación de un reservorio no convencional.

muchas personas, incluidos técnicos en ciencias de la Tierra, es una técnica utilizada en todo el mundo desde hace varias décadas, fundamentalmente en pozos para exploración-producción de hidrocarburos.

La primera referencia histórica al empleo de la fracturación hidráulica con objeto de mejorar la producción de hidrocarburos en un pozo data del año 1946; tuvo lugar en el campo Hugoton, Kansas, EEUU.

No obstante, es verdad que el proceso se ha desarrollado espectacularmente desde principios de los años ochenta del pasado siglo, a partir de su empleo específico y masivo en la producción de hidrocarburos no convencionales en los Estados Unidos.

A fecha de hoy, se estima que la técnica ha sido empleada ya en más de un millón de pozos para producción de hidrocarburos, más de cien en Europa en los últimos diez años. Cada año, se realizan unas 35.000 operaciones de *fracking* en todo el mundo; de momento, la mayor parte de ellas, en los Estados Unidos y Canadá.

El volumen de gas no convencional producido hasta la actualidad utilizando la técnica de fracturación hidráulica alcanza los 600 TCF (trillones de pies cúbicos, en sentido anglosajón, nuestros billones; considere el lector que 1 TCF equivale a unos 28.300 MNm³, millones de normal metros cúbicos). La cifra anterior representa, teniendo en cuenta que el consumo anual de gas en España ronda los 1,2 TCF, el consumo español de unos 500 años. Un volumen muy considerable que aumenta año tras año.

En consecuencia, no es una técnica desconocida o novedosa, ni muchísimo menos. Es un proceso habitual en la exploración-producción de hidrocarburos, si bien es verdad que: 1) hasta la fecha, su empleo ha estado casi restringido a los Estados Unidos y Canadá, 2) al igual que muchos otros procedimientos industriales, en los últimos quince o veinte años está experimentando una evolución vertiginosa en cuanto al propio proceso, a los materiales que se utilizan, a la maquinaria empleada, los procedimientos de seguridad, etc.

Concepto

Tan sencillo como crear fracturas, en realidad, lo que se generan son microfracturas en las rocas que contienen los hidrocarburos no convencionales (almacenes no convencionales: rocas que presentan siempre valores de permeabilidad y porosidad muy bajos). Esto se consigue mediante la inyección de un fluido a presión algo mayor que la presión de rotura de la formación.

Objeto

Crear permeabilidad artificial en la roca con el fin de que los hidrocarburos contenidos consigan

En España, las prometedoras expectativas que para hidrocarburos no convencionales presentan algunas de las cuencas geológicas, está atrayendo la atención de un nutrido grupo de empresas exploradoras

fluir, en mayor volumen que antes de realizar la fracturación, de la roca almacén al pozo.

Resultado

Extensión lateral de las microfracturas ya existentes y/o creación de otras nuevas. La red de microfracturas creadas se atenúa a cortas distancias. Suelen tener extensiones del orden de 300 m, tal vez 500 m, a lo largo de los planos de estratificación, y alturas que rondan los 100-300 m, perpendicular a los planos de estratificación. Normalmente no más allá de esas magnitudes.

Esta limitación en la extensión lateral de las microfracturas creadas y/o reabiertas tiene una consecuencia importante puesto que esas distancias marcan el límite externo del volumen de roca al cual se ha conseguido aumentar sus valores de permeabilidad en esa operación de *fracking*. Bien analizado, tiene en realidad dos implicaciones:

- Una claramente negativa: la explotación integral del reservorio necesitará repetir la operación cuantas veces sea necesaria para aumentar la permeabilidad y poder drenar todo el volumen rocoso del almacén no convencional.
- Otra positiva: si las microfracturas no se extienden más allá de unos pocos centenares de metros, 300 m-500 m como máximo, será imposible que el fluido que se inyecte pueda alcanzar otras formaciones geológicas que se encuentren a mayores distancias.

Se volverá sobre estos aspectos más adelante.

La extensión de las fracturas creadas se "visualiza", se cartografía, usando geófonos muy sensibles, normalmente emplazados en pozos cercanos, no más distantes de 500 a

1.600 m del pozo en el que se realiza el *fracking*. Esto es debido a que la señal sísmica producida en el proceso de rotura de la roca es muy débil para poder captarse a mayores distancias, casi nunca en la superficie, a menos que la operación de fracturación hidráulica no sea profunda; normalmente es profunda o muy profunda. Los microsismos generados en la fracturación de la roca se registran en tiempo real, pudiéndose controlar y ajustar así el proceso de *fracking* durante su realización. La representación genera imágenes 3D en donde quedan definidas las fracturas abiertas y su extensión.

El lector puede encontrar una excelente descripción sobre las características de las microfracturas originadas mediante fracturación hidráulica, los factores que controlan su apertura y extensión y otros aspectos de interés en Fisher y Warpinski (2012).

Referencias

Existe ya una amplia bibliografía sobre el empleo de la fracturación hidráulica en la exploración-producción de hidrocarburos no convencionales. El listado de referencias es, en efecto, muy extenso, pero sobre todo es heterogéneo en cuanto a enfoques, aspectos tratados, fines y contenidos. Como una primera, pero veraz y precisa aproximación a la historia de la fracturación hidráulica, a la técnica en sí misma, al empleo de productos químicos, a la forma de proteger los acuíferos, a la legislación de diferentes estados de EE.UU. (el país con mayor experiencia en el tema), así como al acceso a una extensa base de datos de más de veintisiete mil pozos en los que allí se ha realizado *fracking*, se recomienda visitar la página web www.fracfocus.org.

Este sitio web está gestionado por dos agencias gubernamentales interestatales de los Estados Unidos: la Ground Water Protection Council (GWPC) (ver www.gwpc.org), que es la agrupación de las agencias estatales norteamericanas encargadas de la protección y la regulación de los recursos de aguas subterráneas, y la Interstate Oil and Gas Compact Commission, ver www.iogcc.state.ok.us, que es una agencia gubernamental norteamericana, de carácter nacional, cuya misión es velar para que la explotación de los hidrocarburos en los Estados Unidos se realice con las máximas garantías de seguridad, de protección de la salud y del medioambiente.

En España, las prometedoras expectativas que para hidrocarburos no convencionales presentan algunas de las cuencas geológicas, está atrayendo la atención de un nutrido grupo de empresas exploradoras. Comoquiera que los aspectos relacionados con el empleo de la fracturación hidráulica necesitan de una difusión

amplia en la sociedad, realizada de forma rigurosa y con una firme base científica, las principales compañías involucradas en la exploración de hidrocarburos no convencionales han lanzado la Plataforma Shale Gas España (www.shalegasespana.es). En ella, además de las propias compañías, se integran también expertos independientes y académicos especializados en el sector energético. El objetivo de la plataforma es poner a disposición de la sociedad en general información sobre los hidrocarburos no convencionales, en particular sobre el gas no convencional, para responder a las cuestiones que se puedan plantear desde un punto de vista medioambiental, económico, legal, etc. Trata de dar a conocer la moderna e innovadora tecnología en la que se basa la fracturación hidráulica y de promover un diálogo informativo y transparente sobre lo que supondría desarrollar de forma responsable y segura los recursos no convencionales. El lector de este artículo queda amablemente invitado a visitar este foro de encuentro en donde hallará una más amplia información sobre los aspectos aquí tratados y otros relacionados con los hidrocarburos no convencionales.

También puede visitarse el sitio web de la ACIEP, Asociación Española de Compañías de Investigación, Exploración y Producción de Hidrocarburos y Almacenamiento Subterráneo (www.aciep.es). La información que suministra no se centra exclusivamente en la exploración-producción de hidrocarburos no convencionales, pero contiene interesantes noticias y/o enlaces al respecto.

El proceso de fracturación hidráulica

Tal y como ya se ha comentado, la fractura hidráulica se realiza inyectando por el pozo, mediante bombeo desde la superficie, un fluido a presión. Se trata de que dicho fluido entre en la formación almacén, a través de las perforaciones realizadas en la tubería y en el cemento, su única vía de acceso, y cree microfracturas, rompiendo la roca, o abra fracturillas y/o planos de discontinuidad preexistentes (véase *figura 1G*).

La presión a la que se inyecte el fluido tendrá que ser tal que, cuando ese fluido alcance la formación reservorio a estimular, sea capaz de fracturar la roca. Tendrá que ser mayor que la presión de rotura de la formación. La presión de rotura es dependiente de muchos factores (profundidad, tipo de roca, etc.) y se determina con anterioridad a la inyección mediante la realización de los correspondientes tests o ensayos. En cualquier caso, suele implicar presiones de bombeo importantes por lo que normalmente es necesario conectar y hacer funcionar simultáneamente un cierto número de bombas, unidades montadas sobre camiones, en el emplazamiento del pozo.

El fluido suele ser agua prácticamente en el 99,5% de su volumen, con algunos aditivos. Los volúmenes de agua a emplear, a inyectar, varían de unas formaciones a otras y, fundamentalmente, en función del espesor del tramo a estimular. El lector puede considerar que para fracturar un intervalo (*stage*) de unos 100 m de potencia el volumen de agua necesario puede alcanzar los 3.100 m³. Normalmente, el proceso de inyección es rápido, se suele tardar solamente unas cuantas horas (del orden de cinco) en inyectar un volumen de fluido de fracturación como el mencionado.

Parte del fluido inyectado se recupera; este flujo de retorno se denomina *flowback*. Fluye a la superficie cuando comienza la producción del yacimiento, normalmente junto con el hidrocarburo y el agua de formación (si la hubiere) contenidos en el reservorio. Los porcentajes de fluido que se recupera son muy variables, muy dependientes de una formación a otra, y pueden oscilar entre el 11% y el 50%, o incluso superior en algunos casos.

Algunos de los productos químicos que componen los aditivos quedan absorbidos en la formación rocosa, principalmente en la fracción lutítica rica en materia orgánica.

En la *figura 1G* se ha esquematizado la fracturación de una formación reservorio que se estimula de una sola vez. Esto suele ser habitual si la potencia de esa formación es pequeña, digamos menor de un centenar de metros.

Si la potencia fuese grande, o si el pozo discurriese a lo largo de una cierta distancia paralelo al techo y muro de la formación (véase *figura 5*), lo normal es realizar el proceso de fracturación en varias etapas, procediéndose entonces de la forma representada en la *figura 2*. En esta figura se ha ilustrado la fracturación de una formación almacén en cinco etapas de *fracking* sucesivas, cada una de ellas puede tener 100 m de espesor, o una cifra similar, entendiéndose a modo orientativo. Se comienza fracturando el intervalo inferior, perforándolo con las cargas explosivas ya mencionadas e inyectando el volumen de fluido necesario; una vez finalizada la fracturación, se aísla el intervalo colocando un tapón sellador (*plug*) que impide que los fluidos que la formación pudiera aportar al pozo fluyan hacia la superficie. A continuación se fractura el intervalo siguiente, procediendo de idéntica forma y aislándolo igualmente de la porción superior del pozo instalando otro tapón, similar al anterior (véase *figura 2*). Así, uno por uno hasta finalizar la estimulación de todas las etapas previstas. En el presente ejemplo son cinco, pero pudieran ser más. El tramo superior queda igualmente sellado hacia arriba, hasta el momento en que se desee poner en producción, lo mismo ocurriría si éste fuese el único intervalo fracturado (véase

figura 1G). El sondeo estaría estimulado pero todavía no podrían fluir hidrocarburos hasta la superficie puesto que los fluidos aportados por la formación al pozo estarían confinados por los diferentes tapones instalados. Cuando todo esté listo para comenzar la producción, o las pruebas de producción previas a la explotación comercial del yacimiento, basta con perforar los tapones y dejar que el hidrocarburo fluya.

Gama de aditivos empleados

Los aditivos se emplean con objeto de que los trabajos de estimulación (fracturación) resulten lo más efectivos posible en su finalidad de aumentar la permeabilidad de la roca, y mantenerla por encima de sus valores iniciales.

Se utilizan siempre en muy bajas proporciones y en números muy reducidos, pocos, muy pocos de ellos en cada pozo, contrariamente a lo que habitualmente se pregona desde determinados foros. Su uso varía de unas formaciones, tipos de rocas, a otras. Genéricamente los que más ampliamente suelen emplearse son:

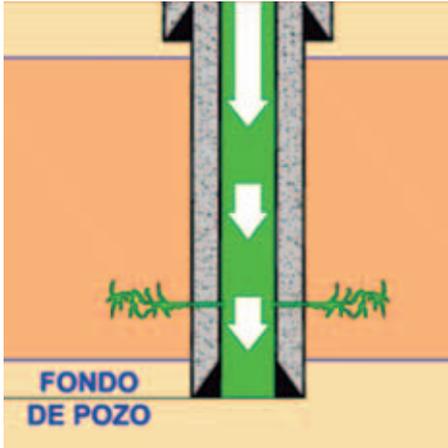
- Ácido clorhídrico.
- Bactericida.
- Reductor de la fricción.

El *ácido clorhídrico* es similar al que se emplea en pozos para agua con objeto de aumentar su permeabilidad. En las operaciones de *fracking* se utiliza como agente limpiador del pozo: para eliminar posibles residuos de carbonato generados durante la perforación e impedir la precipitación de óxidos de hierro. La concentración suele ser del 15% y, siguiendo con el ejemplo dado que utiliza 3.100 m³ de agua, el volumen de ácido a añadir puede oscilar entre 5 y 6 m³.

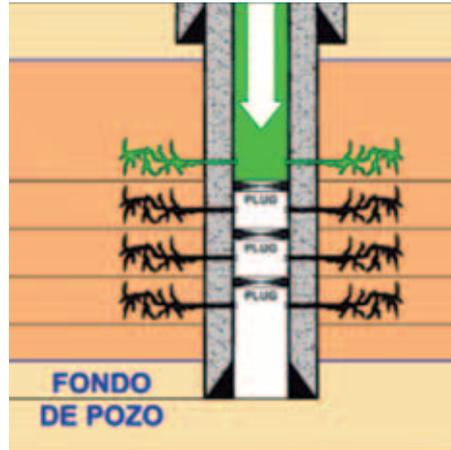
El *bactericida* es biodegradable y tiene por objeto impedir que se desarrollen colonias de bacterias que obturen conductos, en la formación geológica y/o en las instalaciones del pozo. Además, impide que pueda generarse H₂S debido a la reducción bacteriana de sulfatos. Habitualmente se emplea el mismo tipo de productos que en agricultura, en donde se utilizan para evitar la obstrucción, por colonias de bacterias, de las tuberías de regadío. Puede sustituirse, y se está sustituyendo, por luz ultravioleta: antes de inyectarse, se hace pasar el agua por una fuente de rayos ultravioleta, eliminando así las bacterias que contenga. Es un proceso rápido y limpio que también se utiliza actualmente para potabilización del agua, en entornos urbanos. En caso de usarse bactericida, para un volumen de 3.100 m³ de agua a inyectar, la cantidad de este aditivo será de 1,5 m³ aproximadamente.

El *reductor de fricción* tiene como finalidad disminuir las pérdidas de carga producidas por

PRIMER STAGE O ETAPA DE FRACTURACIÓN
Fracturación del primer intervalo

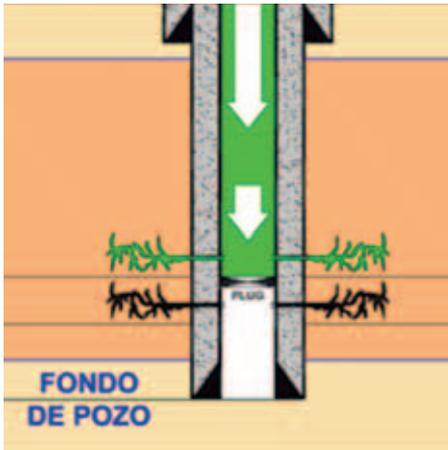


PRIMER STAGE O ETAPA DE FRACTURACIÓN
Fracturación del cuarto intervalo



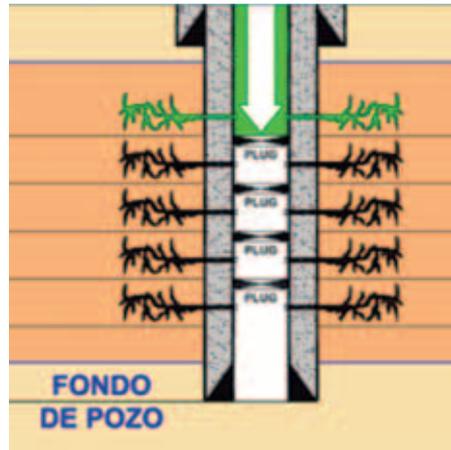
Tercer intervalo
fracturado y aislado
Segundo intervalo
fracturado y aislado
Primer intervalo
fracturado y aislado

SEGUNDO STAGE O ETAPA DE FRACTURACIÓN
Fracturación del segundo intervalo



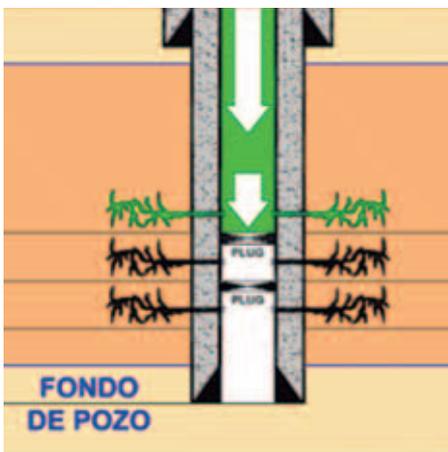
Primer intervalo
fracturado y aislado

QUINTO STAGE O ETAPA DE FRACTURACIÓN
Fracturación del quinto intervalo



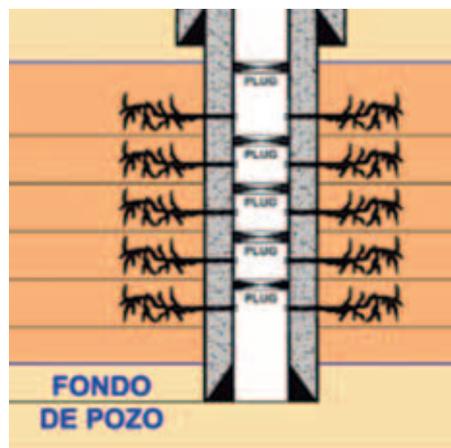
Cuarto intervalo
fracturado y aislado
Tercer intervalo
fracturado y aislado
Segundo intervalo
fracturado y aislado
Primer intervalo
fracturado y aislado

TERCER STAGE O ETAPA DE FRACTURACIÓN
Fracturación del tercer intervalo



Segundo intervalo
fracturado y aislado
Primer intervalo
fracturado y aislado

**FINALIZACIÓN DEL PROCESO
DE FRACTURACIÓN**



Quinto intervalo
fracturado y aislado
Cuarto intervalo
fracturado y aislado
Tercer intervalo
fracturado y aislado
Segundo intervalo
fracturado y aislado
Primer intervalo
fracturado y aislado

Figura 2. Esquema ilustrativo de la fracturación de un reservorio no convencional en varias etapas sucesivas.

la fricción del agua (que se bombea desde la superficie) con los elementos del pozo: tuberías, perforaciones en la tubería y en el cemento, y con la propia formación geológica. Puede utilizarse sulfato amónico, empleado en agricultura como fertilizante, o un destilado ligero de petróleo. Para un volumen de de 3.100 m³ de agua bombeada en una operación de *fracking*, el volumen de reductor a emplear puede variar desde 0,5 m³ a 2 m³.

Para determinadas formaciones, en función de sus composiciones químicas y/o mineralógicas y/o propiedades petrofísicas, puede resultar necesario añadir algún aditivo más, siempre en proporciones muy bajas con respecto al volumen de agua al que se adicionan. En total, en casos particulares, puede alcanzarse la cantidad de diez o doce aditivos.

Todos los aditivos que se emplean en las operaciones de *fracking*, en cualquier país occidental, en cualquier país de nuestro entorno geopolítico, se encuentran definidos, regulados y autorizado su uso por las correspondientes administraciones nacionales. En Europa, los productos que se utilicen deberán estar registrados en el Reglamento REACH (CE) nº 1907/2006 (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias químicas), que es el marco reglamentario de gestión de las sustancias químicas, y utilizarse de acuerdo a las normativas existentes. Se garantiza así que sólo se empleen productos que no afecten negativamente a la salud humana y al medioambiente. De hecho, la mayor parte de los productos químicos utilizados hoy en día en operaciones de *fracking* se emplean también como aditivos en agricultura, cosméticos, industria de los alimentos, etc.

Tal y como se recalca en varios puntos de este artículo, uno de los aspectos más destacables de la fracturación hidráulica es el frenético proceso de I+D+i que está experimentando. Conlleva una constante innovación y una espectacular mejora continuada en la eficiencia del método y en la reducción de su afección medioambiental. En lo relativo al empleo de aditivos, se tiende a la utilización de productos que alcancen la categoría de *food standard*, productos que se empleen igualmente en la industria de los alimentos, obviamente si ningún problema para la salud de las personas. Muy posiblemente, no será necesario que pasen muchos años hasta que se consiga este objetivo.

Adicionalmente se inyecta también arena de sílice o un producto similar. Puede ser arena de cantera, granos de cuarzo, aunque hoy en día también se emplea arena sintética, de material cerámico. Los granos, siempre con tamaños milimétricos, se inyectan en las microfracturas creadas-abiertas en el proceso de *fracking* y evitan que estas se cierren una vez cesa el

bombeo. Se añaden después de haber inyectado el agua a presión. El tamaño de grano, redondez y demás características de la arena a usar depende del tipo de roca. Para un intervalo de 100 m de potencia a estimular (inyectando unos 3.100 m³ de agua), la cifra de 23 toneladas de arena a emplear es más o menos habitual.

Aspectos a debate en relación con el empleo de la fracturación hidráulica

A lo largo de los últimos meses, se han venido registrando algunas noticias y/o comentarios en los medios de comunicación acerca de lo que se afirma son consecuencias indeseables de la puesta en práctica de este método de estimulación. En el tratamiento de algunas de estas noticias, o en opiniones que al respecto se vierten, hay afirmaciones que rozan lo catastrófico y, si se consideran los mensajes que desde algunas organizaciones y/o particulares se transmiten al respecto, la gradación en los calificativos alcanza holgadamente la categoría de lo apocalíptico.

Todo ello hace que el debate, y quizás incluso el interés real de la sociedad, esté abierto. Sin embargo, queda modularlo y dotarlo de la coherencia y veracidad que el tema, que cualquier tema, especialmente si es complejo y altamente especializado como éste, requiere.

Los efectos supuestamente nocivos en relación con la fracturación hidráulica, y sobre los que habitualmente se incide, pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Necesidad de grandes volúmenes de agua.
- Tratamiento de los residuos en el fluido recuperado (*flowback*), presencia de contaminantes en dicho fluido.
- Contaminación de acuíferos.
- Sismicidad inducida.
- Emisión de gases de efecto invernadero.
- Huella superficial.

Por el volumen de reservas y por la distribución geográfica de esas reservas, los recursos de hidrocarburos no convencionales, especialmente el gas, pueden estar llamados a jugar un papel capital en el futuro energético de la humanidad. Evidentemente, si la extracción de hidrocarburos no convencionales supusiese un riesgo para la salud de las personas y/o para el medio, dicho papel estaría seriamente cuestionado. Por ello, es de capital importancia tener la absoluta certeza de que los aspectos mencionados, o cualquier otro que pueda surgir en relación con la producción de los recursos no convencionales, no representen ningún peligro para la salud humana, ni para el medio ambiente. Veamos cuál es el conocimiento y la situación a fecha de hoy.

El tratamiento en profundidad de cada uno de los mencionados puntos requeriría como mínimo la extensión de este artículo, seguramente mucho más. No obstante, en las siguientes páginas se exponen los aspectos más relevantes de cada uno de estos temas, aportando una visión realista basada en la amplia experiencia que la técnica de fracturación hidráulica ya posee. Adicionalmente, se remite al lector a otras fuentes seleccionadas en donde puede encontrar una más amplia, y científicamente probada, información al respecto.

Necesidades de grandes volúmenes de agua

La fracturación hidráulica emplea volúmenes relativamente importantes de agua. Muchas industrias también: la generación de energía, los regadíos en agricultura, el abastecimiento humano, el uso urbano. En la producción de hidrocarburos no convencionales con uso de fracturación hidráulica, este aspecto es un factor relevante, que debe ser tenido en cuenta, analizando en cada caso la disponibilidad de agua. Merece la pena comentar y poner las cifras en su contexto.

La fracturación hidráulica de un intervalo de unos 100 m de potencia puede requerir de unos 3.100 m³ de agua. Muchas formaciones geológicas, reservorios no convencionales, que se fracturan pueden tener ese rango de potencia, incluso menores. Comoquiera que para la explotación del recurso no convencional se necesita repetir el proceso, desde el mismo emplazamiento, y desde otros, varias veces en la zona, el requerimiento final de agua es elevado. Conviene aclarar que cada operación de *fracking*, cada vez que se emplean esos 3.100 m³ de agua, puede estar separada de la anterior y de la siguiente, días y/o semanas, por lo que la acumulación de dicho volumen puede realizarse a lo largo de un cierto tiempo, implicando entonces caudales relativamente modestos. Adicionalmente, tal y como ya se ha mencionado, siempre hay un fluido de retorno (*flowback*) que se trata y suele ser posible reutilizar en otras próximas operaciones de *fracking*, lo que permite ahorrar un cierto volumen de agua. En consecuencia, el requerimiento no es tan alto; en realidad puede calificarse de relativamente bajo, o al menos asumible en muchas zonas, si se compara con bastantes otras actividades humanas. También es bajo por unidad de energía producida, en comparación con otros sistemas de generación de energía, de producción agrícola, etc.

Aún así, disponer de estos volúmenes esporádicos de agua, aunque repetidos en el tiempo, puede ser un problema en algunas zonas de algunos países, sin duda. Pero a ningún lector de este artículo se le escapará que si la explotación de un recurso no convencional en una zona

estuviera condicionada por la disponibilidad de agua, muchas otras actividades humanas, ya sean industriales, agrícolas, o incluso el propio suministro para consumo de cualquier asentamiento humano de mediano tamaño, estarían también seriamente limitadas y/o excluidas. Téngase en cuenta que, en nuestro entorno socio económico, el consumo de agua por habitante y día ronda los 130 litros; no se incluye en la cifra el consumo industrial, ni el agrícola, ni el riego de jardines, por citar algunos.

Este aspecto puede ser puesto en adecuada perspectiva de una forma mucho más precisa si se analiza la incidencia del volumen de agua utilizado en la industria extractiva en relación con el volumen total de agua consumido en un país. La figura 3, tomada y modificada de www.frackfocus.org, muestra esa comparación para el caso de los Estados Unidos. En USGS (2009) puede encontrarse información adicional al respecto. Obsérvese que en los Estados Unidos, con una muy importante industria minera y donde cada año se perforan miles de pozos y fracturan decenas de miles de etapas (*stages*) para exploración y/o explotación de hidrocarburos, el consumo de agua del conjunto de la industria minera más el de la explotación de hidrocarburos alcanza el 1% del consumo total, solamente el 1%.

En España hay años en los que no se perfora ni un sólo pozo y, tomando la media de los diez últimos años, concretamente de 2000 a 2010, se obtiene la raquítica cifra de 2,1 pozos/año (Minetur, 2011). Por muchas operaciones de *fracking* que pudieran realizarse en un futuro en nuestro país, nunca igualaríamos el volumen de la industria en Estados Unidos, con lo que el consumo de agua a emplear en similares operaciones quedaría, a buen seguro, muy por debajo del mencionado porcentaje.

Finalmente, la reducción del volumen total de agua necesaria a utilizar en el proceso de fracturación hidráulica y la maximización en la

reutilización del agua del *flowback* son dos de las prioridades de los trabajos de I+D+i en curso. En un futuro próximo depararán, con toda certeza, una disminución en los volúmenes de agua necesarios en las operaciones de *fracking*.

Tratamiento de residuos en el fluido recuperado (flowback), presencia de contaminantes en dicho fluido

Tal y como se ha comentado, en las operaciones de fracturación hidráulica se recupera un flujo de retorno que se denomina *flowback*, constituido por restos del fluido inyectado, partículas sólidas de la roca reservorio, mezclado con hidrocarburos del yacimiento e incluso con agua de formación que pudiera acompañar a los hidrocarburos en el reservorio. Es obvio que, tanto el volumen como la composición del fluido de retorno, varían ampliamente de unas formaciones geológicas a otras.

Aunque el volumen del *flowback* suele ser un porcentaje relativamente pequeño del volumen total inyectado, es un subproducto que hay que gestionar de forma correcta. El tratamiento más adecuado de este flujo de retorno dependerá de cada situación, del volumen que retorne y de su composición.

En algunos foros se enfatiza la peligrosidad del proceso de *fracking* alegando que el *flowback* contendrá sustancias contaminantes, metales pesados, e incluso minerales radioactivos. Difícilmente podrá quedar contaminado en ese tipo de elementos químicos si la formación reservorio no los contiene en proporciones elevadas. Los almacenes no convencionales que se tratan con fracturación hidráulica suelen ser:

- Reservorios *tight*, compactos, sin apenas porosidad, normalmente areniscas silíceas, a veces calizas. Suelen ser litologías más o menos puras, las areniscas habitualmente con cementos silíceos, que difícilmente podrán aportar metales contaminantes.
- Carbones (CBM), similar comentario; en cualquier caso, el fluido de retorno puede tener una composición muy parecida a las aguas que se encuentren asociadas a las explotaciones mineras y/o escombreras de carbón; sin dificultades especiales en su tratamiento.
- *Gas shales*, lutitas, limolitas y/o margas ricas en materia orgánica, normalmente con contenidos muy bajos en metales pesados y/o radioactivos.

En cualquier caso, es un aspecto fácilmente detectable con una analítica estándar, tanto de la roca como del fluido de retorno. Y, en general, fácilmente tratable.

Entre las muchas formaciones geológicas de las cuales se producen hidrocarburos no convencionales usando la fracturación hidráulica,

hay uno o dos ejemplos que contienen minerales radioactivos en proporciones anómalas. Estos ejemplos se están tratando de extrapolar como la situación habitual, cuando en realidad no lo es. La mayor parte de las formaciones reservorio no convencionales presentan valores naturales muy bajos, en el rango de trazas, en este tipo de elementos metálicos, por lo que no pueden producir contaminación en el fluido de retorno.

En cualquier caso, la presencia de este flujo de retorno representa un inconveniente obvio, pero también puede encerrar una oportunidad, dependiendo de los casos. En cuanto a la tecnología necesaria para el tratamiento-purificación de este fluido de retorno es similar a la empleada con las aguas residuales de muchas industrias y/o de entornos urbanos. En muchos casos, posiblemente constituya un mayor reto tecnológico el tratamiento de aguas de desecho de algunos procesos industriales que el obtenido en el *flowback* del *fracking*.

Posiblemente, la diferencia mayor, que implica una evidente dificultad, estriba en el hecho que las operaciones de fracturación hidráulica se realizan, por lo general, en lugares más o menos remotos y que, además, van desplazándose de emplazamiento en emplazamiento. Los mayores avances innovadores en relación con el tratamiento de las aguas de retorno en las operaciones de fracturación hidráulica residen:

- La adaptación de los equipos a plataformas móviles que se desplazan a los lugares donde se producen las operaciones.
- La capacidad para tratar grandes caudales con dichas unidades móviles (Greenberg, 2012).

En las explotaciones intensivas de los campos no convencionales, normalmente el agua se trata y se reinyecta en las próximas operaciones de *fracking*, disminuyendo así el volumen total de agua que es necesario tomar de los ríos, fuentes, acuíferos, etc. En estos casos, se suelen construir sistemas centralizados de almacenamiento de agua (en donde se acumula tanto la que proviene del tratamiento del *flowback* como la que pueda obtenerse de otras fuentes de suministro) y de canalizaciones, tuberías de distribución, que reducen significativamente el posible tráfico asociado a su transporte.

En pozos de investigación, aislados en el tiempo, que no tienen una continuidad, otra opción es el tratamiento, siempre en gestor automatizado, como ocurre con las aguas residuales de muchos otros procesos industriales y, en caso de alcanzarse los estándares de pureza requeridos en las correspondientes legislaciones, puede optarse por su vertido a la red fluvial.

CONSUMO DE AGUA: PORCENTAJE POR SECTORES

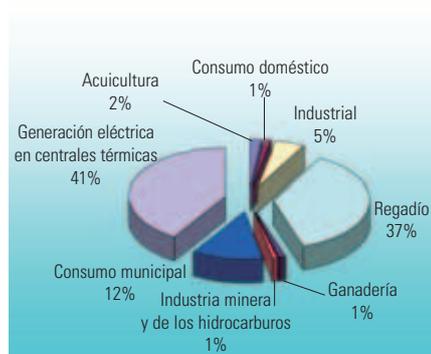


Figura 3. Distribución del consumo de agua en los Estados Unidos por sectores. La industria minera más la de los hidrocarburos, muy importantes en EE.UU., demandan solamente el 1% del total.

Al igual que ocurre con otros muchos aspectos relacionados con la fracturación hidráulica, la mejora en los procesos es continua. En un futuro más o menos cercano se podrá reinyectar, previo tratamiento, el cien por cien del volumen del fluido de retorno (actualmente el porcentaje se mueve entre el 60% y el 80%).

Contaminación de acuíferos

La contaminación de un acuífero por los aditivos que se utilicen en una operación de *fracking* es un hecho alta, altísimamente improbable. Prácticamente es imposible que se produzca en una operación bien desarrollada. Es por ello que, después de cientos de miles de operaciones de *fracking*, no hay ningún caso reportado, ninguno probado.

Sin embargo, el temor a que se produzca dicha contaminación ha sido extensamente usado como argumento por las personas y/o grupos que se oponen al empleo de la fracturación hidráulica. Tanto fue usado que, en el año 2008, el estado de Nueva York, a través del State Department of Environmental Conservation, comenzó la realización de un extenso estudio titulado:

*Supplemental Generic Environmental Impact Statement
On the Oil, Gas and Solution Mining
Regulatory Program
Well Permit Issuance for Horizontal Drilling
And High-Volume Hydraulic Fracturing to
Develop the Marcellus Shale and Other
Low-Permeability Gas Reservoirs.*

Adicionalmente, en el año 2010, el gobernador del estado decidió establecer una moratoria a aplicar a los trabajos de fracturación hidráulica hasta que finalizase el mencionado estudio. Hay que aclarar que en el subsuelo de ese estado se sitúa parte de la formación geológica denominada *Marcellus shale* (Devónico, fundamentalmente lutítica), uno de los objetivos tipo *gas shale* más extensos, recientemente abordados, prolíficos y prometedores de todo Estados Unidos.

Esta moratoria ha sido ampliamente mencionada y exhibida por colectivos opuestos al empleo del *fracking*, posiblemente en la creencia de que dicha moratoria acabaría implicando una prohibición del empleo de la técnica en el estado de Nueva York. La realidad, sin embargo, posiblemente no vaya por ahí.

Un borrador corregido de lo que será el informe final (SGEIS, 2011) está ya disponible para el público en general, en la página web de dicho departamento del estado de Nueva York (www.dec.ny.gov/energy). El estudio es exhaustivo, con participación de diversas administraciones medioambientales de los Estados Unidos

y consultorías especializadas. La conclusión con respecto a la posible contaminación de acuíferos en operaciones de *fracking* es contundente (ver epígrafe 6.1.4.2 del estudio, en su página 6-41), en donde queda reportado que todas las administraciones americanas a cargo de la regulación de este tipo de trabajos han testificado que no se han producido casos de contaminación de aguas subterráneas debidos a operaciones de fracturación hidráulica.

En ocasiones se utiliza el argumento de que la contaminación se puede producir por la canalización del fluido de fracturación a lo largo de fracturas, preexistentes o creadas en el propio proceso, que pongan en contacto el reservorio con un acuífero. A menos que el reservorio y el acuífero se encuentren muy cercanos ("muy cercanos" significa aquí menos de trescientos metros), el proceso es prácticamente imposible. Para empezar, no pueden existir fallas que conecten un reservorio de hidrocarburos con la superficie, o con una formación permeable que esté en conexión con la superficie. Si las hubiese, el hidrocarburo, especialmente si es gas, hubiese migrado a lo largo del tiempo geológico: el supuesto reservorio no albergaría ya ningún hidrocarburo, no tendría ningún interés exploratorio. Esta es la razón por la que los reservorios de hidrocarburos suelen encontrarse profundos, normalmente lejos de la superficie y/o de niveles permeables conectados con la superficie.

Si el gas, el hidrocarburo en general, se encuentra todavía en la roca almacén es porque no tiene capacidad de migrar, de escapar, debido a que existe una roca sello que se lo impide. Entonces, por la misma razón, tampoco tendrán esa capacidad de migración los fluidos de fracturación que se inyecten, a menos que en el proceso se creen nuevas y mayores vías de escape, con mayor continuidad, mayor extensión, que las existentes. Pero el proceso de fracturación hidráulica no las crea, no genera fracturas de entidad. En Fisher y Warpinski (2012) se concluye, en base al mapeo de las microfracturas generadas en miles de operaciones de *fracking*,

Uno de los aspectos más destacables de la fracturación hidráulica es el frenético proceso de I+D+i que está experimentando

que la longitud de las fracturas puede, a veces, exceder los 1.000 pies (304,8 m), pero la altura suele ser típicamente mucho menor, del orden de decenas o centenares de pies (1 pie = 0,3048 m). La conclusión, después de estudiar miles de operaciones de fracturación hidráulica, es que los acuíferos que estén situados a más de 300 m por encima de la formación a estimular mediante fracturación hidráulica difícilmente podrán verse alcanzados por las microfracturas abiertas en el proceso.

Además, en esta misma publicación se suministran los datos referentes a la altura alcanzada por las fracturas generadas en miles de etapas de fracturación realizadas entre los años 2001 y 2011 en diferentes objetivos tipos *gas shale* en los Estados Unidos (Barnett, Woodford, Marcellus y Eagle Ford) (véase figura 4). En los gráficos correspondientes a cada formación geológica, las profundidades de las operaciones de *fracking* quedan representadas en la banda de color rojo que atraviesa la figura. Como se observa, cada reservorio ha sido estimulado a diferentes profundidades, dependiendo de la situación del pozo en el que se realiza la fracturación hidráulica (el lector debe tener en cuenta que cada gráfico integra centenares o miles de procesos de *fracking*). La extensión vertical de las fracturas abiertas en las diversas fracturaciones hidráulicas se representa en diversos colores (cada color identifica las operaciones de *fracking* realizadas en un condado, el color es una mera referencia geográfica). Finalmente, las barras azules, siempre por encima, o muy por encima, de las fracturas abiertas, indican la posición de los acuíferos presentes en cada zona. En todos los casos, los puntos que representan las posiciones más altas de las fracturas creadas se sitúan varios miles de pies por debajo del muro de los acuíferos.

La mayor apertura de las fracturas en la vertical se asocia siempre a fallas geológicas preexistentes, que se reabren. En casos aislados, en los más extremos entre los miles estudiados, que se producen siempre a las mayores profundidades, más lejos de los acuíferos, no superan los 500 m de apertura, incluso en los campos intensamente fracturados.

Al respecto, cabe añadir que el New York State Energy Research and Development Authority realizó un concienzudo estudio sobre el tema; los resultados de este trabajo están incluidos en el informe SGEIS, concretamente en su apéndice 11, con conclusiones similares.

No obstante, siempre hay alguna excepción. La excepción se llama Pavillion, una localidad situada en Wyoming, Estados Unidos. Allí la formación geológica denominada Wind River (Eoceno inferior) alberga un campo de gas (el campo de gas Pavillion), con unos 170 pozos perforados en los años cincuenta del siglo XX.

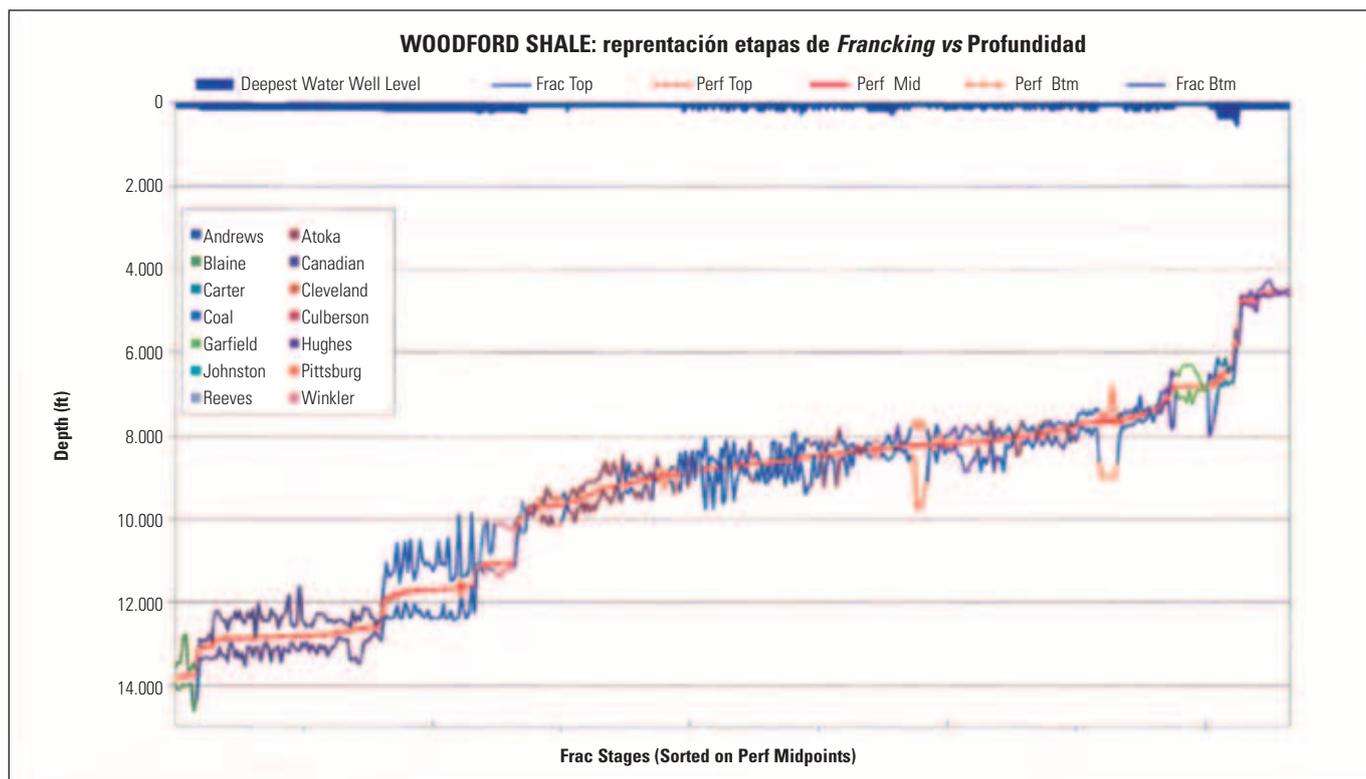
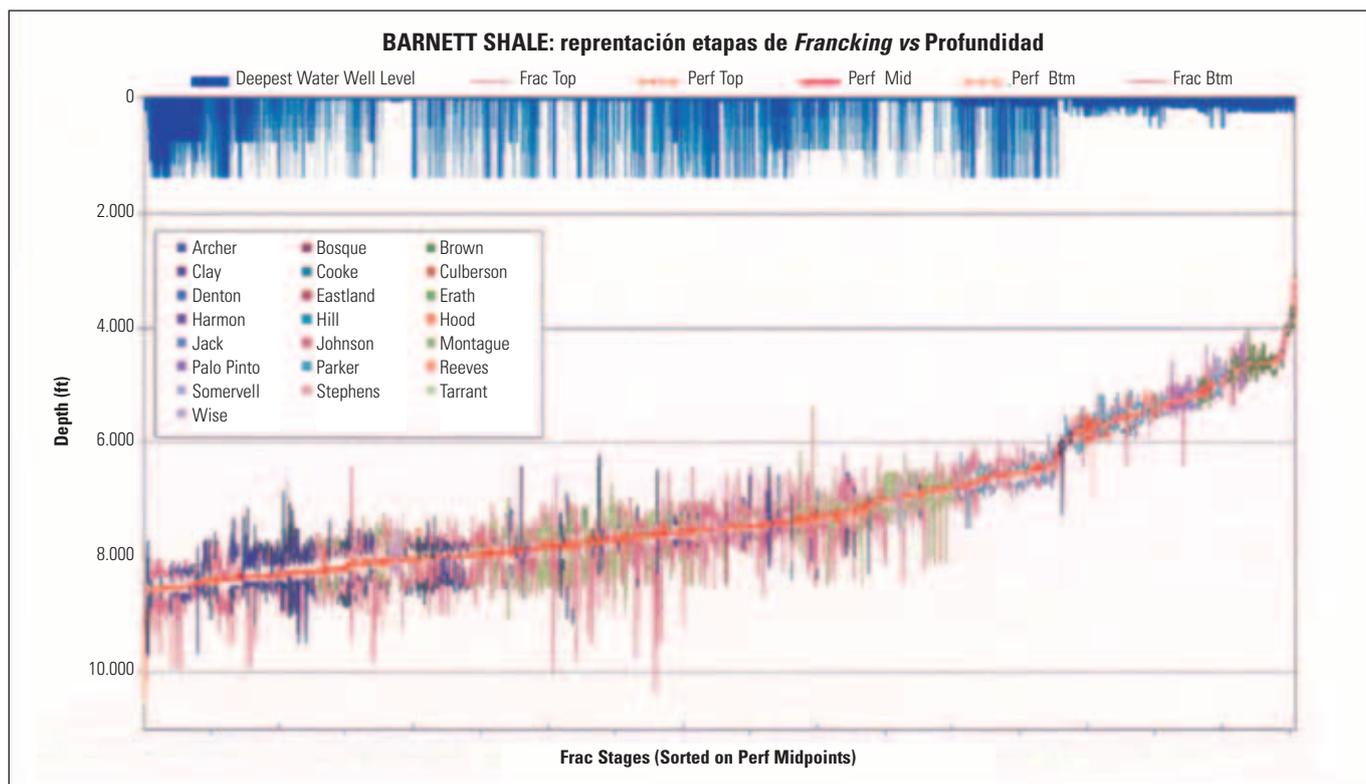


Figura 4. Representación gráfica de las aperturas y profundidades de las fracturas creadas por *fracking* en cuatro de las grandes formaciones productoras no convencionales en EEUU.

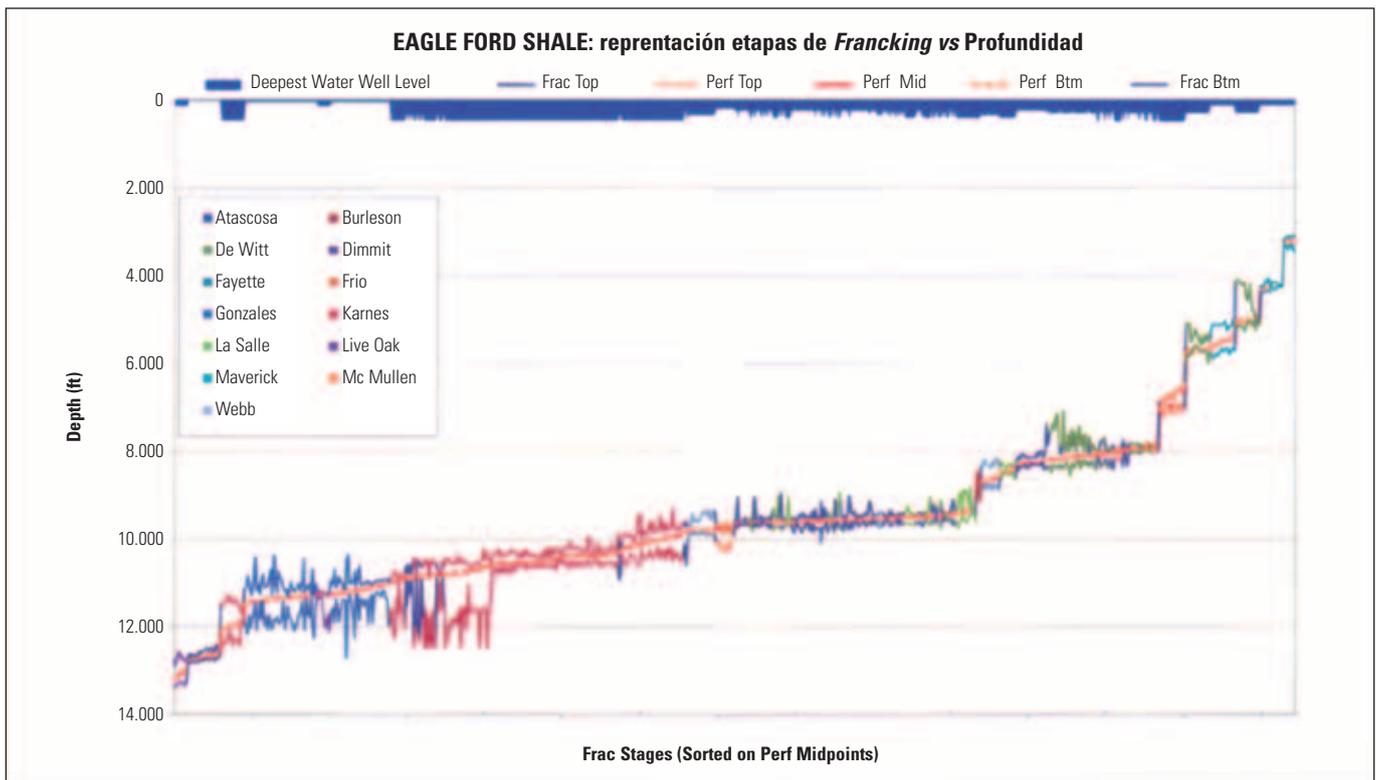
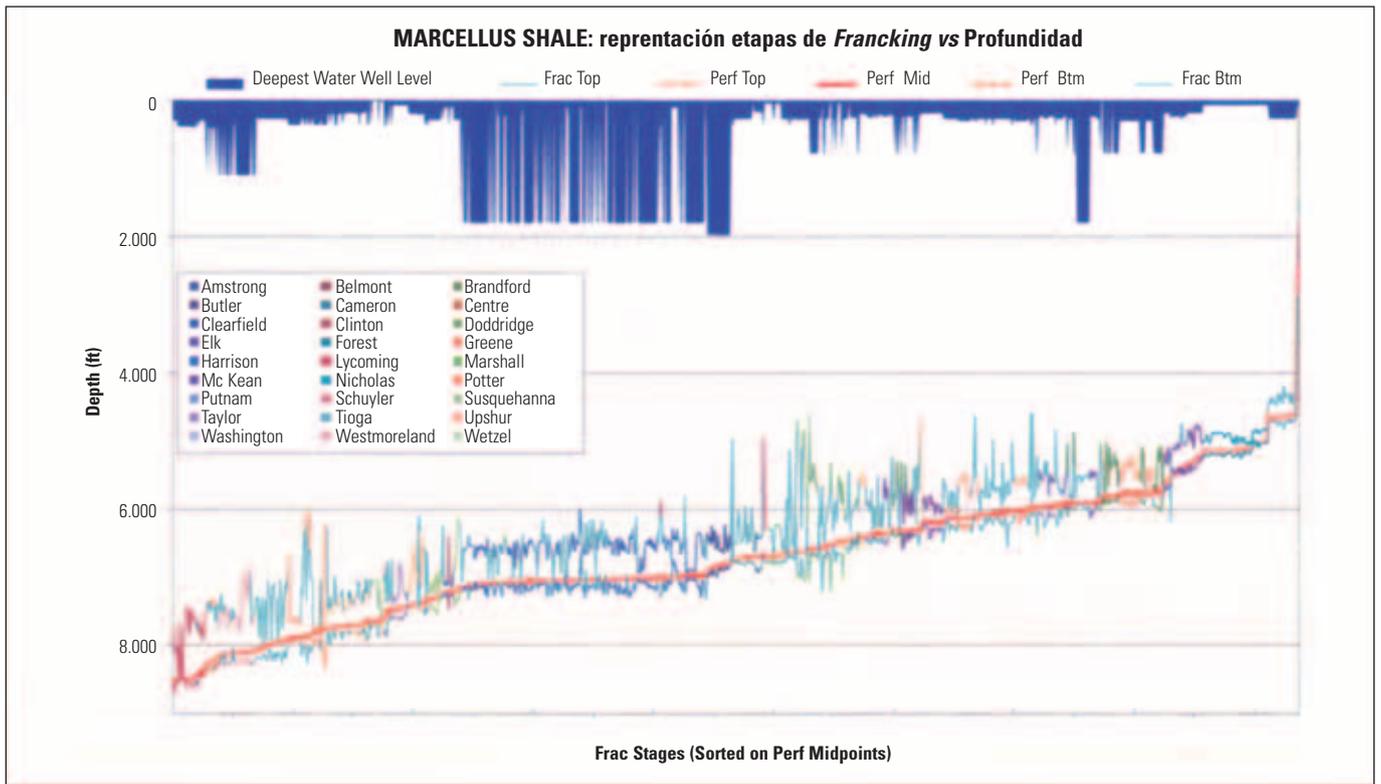


Figura 4. Representación gráfica de las aperturas y profundidades de las fracturas creadas por *fracking* en cuatro de las grandes formaciones productoras no convencionales en EEUU.

Son pozos muy viejos, mal cementados y algunos de ellos incluso sin entubaciones y/o cementaciones, prácticas que hoy en día son totalmente inaceptables.

La formación reservorio es de naturaleza fluvial, compuesta por cuerpos de areniscas, depósitos de ríos meandriformes, niveles de *point bars*, alternando con lutitas. El gas se acumula en niveles de areniscas que se acuñan (*pinch outs*) coincidiendo con la cresta y flancos de una estructura dómica.

En el campo de gas hay también pozos para extracción de agua dulce que llegan a profundidades de 244 m, siendo el acuífero los propios niveles de areniscas de la formación Wind River, los más someros. Los trabajos de fracturación se realizaron a profundidades tan someras como 372 m, muy pocos metros por debajo de los niveles en los cuales se encuentra el agua dulce explotada en los pozos, lo cual es una situación absolutamente inusual.

Aún así, en la zona de Pavillion se reporta que siempre, con anterioridad a que se realicen los trabajos de *fracking*, se ha conocido la presencia de gas en los pozos para agua (migración del gas en los reservorios muy someros). Se reporta contaminación a partir de canteras, cortas abiertas en superficie, en las que se acumularon los rípios de los pozos perforados. Esto, hoy en día es una práctica imposible, todas las perforaciones se realizan en condiciones de "vertido cero", los rípios y demás subproductos se retiran y son tratados por gestor autorizado. Se reporta contaminación a partir de los pozos perforados, debido a la deficiente entubación y/o cementación, o a la falta de ellas. Aunque es una situación completamente inusual, fuera de los estándares actuales en la industria, habitualmente se está utilizando el caso de Pavillion como una generalización de contaminación producida por el empleo de la fracturación hidráulica.

En general, el mayor riesgo, la probabilidad más alta de contaminación de un acuífero, ya sea durante la perforación de un pozo, durante su fracturación o en relación con cualquier otra actividad humana o hecho natural se produce en la superficie. Al respecto debe aclararse que la perforación y fracturación de los pozos para exploración-producción de hidrocarburos se realiza siempre en condiciones de 'vertido cero', por lo que resulta una actividad que difícilmente puede producir contaminación.

Sismicidad inducida

El proceso de fracturación hidráulica crea microfracturas y/o reabre otras pre-existentes, planos de estratificación, zonas de debilidad del macizo rocoso, etc. Obviamente, cuando la roca se fractura se producen microdesplazamientos a favor de los planos de fractura. Estos movimientos liberan energía, crean ondas de

compresión y de cizalla; es decir, se producen microsismos. Esta microsismicidad es un aspecto ampliamente estudiado hoy en día puesto que el registro de esos eventos es la única forma de representar espacialmente la posición y extensión de las fracturas originadas en el proceso. En la actualidad, este registro se hace en tiempo real, lo que posibilita, además de visualizar su desarrollo, controlar el proceso durante su realización, pudiéndolo detener si fuera preciso.

Se dispone ya de los resultados de seguimiento sísmico de miles de operaciones de *fracking* en diversos reservorios no convencionales en los Estados Unidos, especialmente en el Barnett Shale (el primero de los que se desarrolló).

El aspecto esencial a considerar es la magnitud de esa microsismicidad generada, y esta suele ser baja o muy baja. La energía liberada se expresa, se mide, en la escala de Richter, la utilizada para catalogar los sismos. En EE.UU. se han registrado ya muchos miles de etapas *fracking* a lo largo de las últimas décadas, mapeando sus resultados y catalogando la magnitud de los microsismos generados. El rango suele situarse en valores de -3 a -1 (el signo negativo significa que los valores se sitúan por debajo del cero en la escala; esto es posible porque el cero se estableció en función de la sensibilidad de los sismógrafos de los años treinta del siglo pasado, cuando Charles Richter definió su escala, los actuales son bastante más sensibles, con capacidad para registrar eventos de mucha menor magnitud). La rotura de una muestra de roca en una mesa de laboratorio generaría un sismo de magnitud -1,5, lo mismo que el impacto contra el suelo de un contenedor de agua que cayese desde una altura de un metro y medio.

Un sismo no es perceptible por los sentidos de las personas, hasta que alcanza magnitudes del orden de 3 a 3,9, incluso entonces no suelen provocar daños. Los daños empiezan a producirse al llegar a valores de 5 en la mencionada escala.

En la literatura solamente hay un caso en el que un sismo de magnitud 1,5 y otro de magnitud 2,3 se produjeron muy probablemente debido a una operación de fracturación hidráulica. Ocurrió en la primavera del año 2012, en Blackpool (Reino Unido) debido a que parte del fluido de fracturación se inyectó en una falla activa que atravesaba el pozo. Esta no es una situación frecuente puesto que los pozos están aislados de las formaciones geológicas por el cemento y las tuberías y las fracturas que pudieran afectar al reservorio (donde se realiza la inyección) no suelen tener un desarrollo grande, no suelen estar conectadas con la superficie. Éste el único caso entre muchos

millares, pero ha tenido una extensa repercusión mediática.

Al respecto, hay que señalar que los sismos con magnitud comprendida entre 2 y 2,9 en la escala Richter generalmente no son perceptibles, quedando enmascarados por el ruido cultural (industrial, urbano, tráfico, etc.), y se producen alrededor de 1.000 de ellos al día en el mundo, por causas naturales.

En cualquier caso, no hay referencias sobre ningún tipo de daños a bienes o personas derivados de la microsismicidad generada en las operaciones de fracturación hidráulica. Los valores de microsismicidad asociados a estas operaciones son notablemente inferiores a los que se originan en otras actividades humanas y/o obras civiles, sobre las que la sociedad, con buen criterio, no alberga ningún tipo de temor.

Emisión de gases de efecto invernadero

Las operaciones de perforación de pozos, fracturación hidráulica y producción de gas no convencional no generan emisiones de gases de efecto invernadero superiores a las que se producen en la explotación de gas convencional. Si se respetan las buenas prácticas de perforación, entubación y cementación (que son similares en la perforación de pozos para hidrocarburos convencionales y no convencionales) no deben producirse emisiones fugitivas de metano. En las pruebas de producción, especialmente si son de larga duración, lo ideal es inyectar el gas directamente a la red de distribución, tanto si se trata de una operación convencional como de una no convencional. En cualquier caso, considerando el ciclo de vida de los diversos combustibles fósiles, el gas natural, lo mismo da que sea convencional que no convencional, es un combustible mucho más limpio, con menores emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes en general, que el resto de los combustibles fósiles (entre un 40% y un 45% menos contaminante que el carbón, y entre un 20% y 30% menos que el petróleo).

Huella superficial

Es significativa y, bien mirado, éste es quizá el mayor problema o inconveniente que plantea la explotación de reservorios no convencionales frente a la producción convencional. La utilización de la fracturación hidráulica como método de exploración-producción de hidrocarburos es solamente parte de este inconveniente. El problema radica en que para explotar un reservorio no convencional es necesario perforar un gran número de pozos; generalmente muchos más que para producir un almacén convencional, con lo que ello conlleva de mayor número de emplazamientos, infraestructuras y tráfico asociado (transporte de maquinaria, transporte de agua, etc.).

La afección superficial es importante durante la perforación-fracturación de los pozos, una vez realizadas ambas operaciones queda muy mitigada.

Cada emplazamiento desde el que se perfora y se estimula un pozo para objetivos no convencionales puede ocupar 1,5 hectáreas aproximadamente. Cuando se perfora un reservorio convencional, en los que no es necesario realizar ninguna operación de *fracking*, es suficiente con disponer de 1 hectárea, o incluso menos.

Obviamente, todos los emplazamientos quedan perfectamente restaurados a la terminación de los trabajos: si el pozo es negativo, se restaura a su situación inicial, sin rastro de la actividad exploratoria, exactamente igual en una operación para objetivo convencional que en otra para objetivo no convencional. Si el sondeo resulta positivo, ya sea un yacimiento convencional o uno no convencional, es necesario tender un gasoducto enterrado que conecte el pozo con la red; la superficie que se ocupa en el emplazamiento son solamente unos cuantos metros cuadrados.

Tal y como se ha comentado, las microfrazas creadas y/o reabiertas con el proceso de *fracking* se atenúan a cortas distancias, a pocos centenares de metros de distancia al pozo. Imaginemos una formación reservorio horizontal, si el pozo desde el que se realiza la fracturación hidráulica fuese vertical, perpendicular al techo y al muro de la formación; con una operación de *fracking* se conseguiría drenar un volumen rocoso similar al de un cilindro de base circular con un radio de unos 300 m, medidos desde el centro del pozo; un volumen muy pequeño de la formación geológica.

Esto implica que la explotación de todo el reservorio necesitaría de la realización de muchos otros pozos, relativamente cercanos, quizá a centenares de metros, a un kilómetro, desde los que repetir la operación y drenar otros volúmenes de roca similares y adyacentes.

En realidad, así se hacía a mediados del siglo XX, cuando la técnica comenzó a ponerse en práctica en los Estados Unidos, pero no ahora. Obviamente, si ésa fuese la única opción, sería una limitación muy importante para la explotación de hidrocarburos no convencionales, si no en todas las zonas, al menos en muchas de ellas.

Desde prácticamente los albores del empleo de la técnica de *fracking*, las empresas de exploración-producción se dieron cuenta de que la huella superficial sería mucho menor, podría mitigarse en buena medida, y los costes de producción podían reducirse significativamente, si:

- Cada uno de esos pozos se perforase de modo que, una vez entrado en la formación reservorio, se desviase, discuriendo a partir de ese punto enteramente dentro de la formación almacén.

Muchos de los objetivos de tipo *gas shale* en los Estados Unidos yacen más o menos horizontales, por lo que perforarlos de la manera descrita equivale a hacer perforaciones realmente horizontales. De la generalización de este hecho deriva la idea o el mensaje ampliamente difundido de que "la mayoría de las operaciones de *fracking* se realizan actualmente mediante sondeos horizontales". En realidad, los pozos solamente serán horizontales cuando la formación reservorio sea horizontal.

Perforando de esta forma, es posible drenar un volumen de roca considerable desde un sólo emplazamiento. Para un reservorio horizontal, se

La perforación y fracturación de los pozos para exploración- producción de hidrocarburos se realiza siempre en condiciones de 'vertido cero', por lo que resulta una actividad que difícilmente puede producir contaminación

puede drenar el volumen rocoso representado en una superficie de entre 5 y 10 km². A la finalización de los trabajos, el emplazamiento utilizado se restaura.

Esta es la forma habitual de proceder hoy en día, no solamente en operaciones de *fracking* sino también en trabajos de almacenamiento geológico de gas natural y/o CO₂.

Actualmente, en la producción de reservorios no convencionales es habitual el perforar hasta veinte o treinta pozos distintos desde un mismo emplazamiento. Los emboquilles de cada sondeo se sitúan muy cercanos dentro del mismo emplazamiento, la máquina se desplaza solamente unos metros de un pozo a otro (véase figura 5). Cada perforación puede progresar entre 2.000 m y 3.000 m (esta última cifra representa el reto actual) una vez que entra en el reservorio, siguiendo paralelo al techo y muro de la formación, fracturando después toda la parte del pozo que discurre por el almacén no convencional. Supongamos un reservorio horizontal y pasemos todos estos datos a números: se ocupa temporalmente un emplazamiento de 1,5 hectáreas, pongamos 2 hectáreas, y ocupando esa superficie se produce, se drena, el hidrocarburo contenido en un volumen rocoso cuya proyección en planta (proyección en superficie) ocupa una extensión de 500 hectáreas (5 km²) o de 1.000 hectáreas (10 km²). Una hectárea y media o dos hectáreas ocupadas (luego restauradas) frente a 500 o 1.000 drenadas. Hoy en día, la afección superficial no puede considerarse un problema insalvable. Como en otros muchos aspectos de la fracturación hidráulica, el desarrollo técnico, la introducción de nuevas tecnologías está solventando los problemas o inconvenientes que en décadas pasadas pudo tener su puesta en práctica.

Conclusiones del debate

Se han realizado ya en el mundo más de un millón de operaciones de *fracking*, decenas de

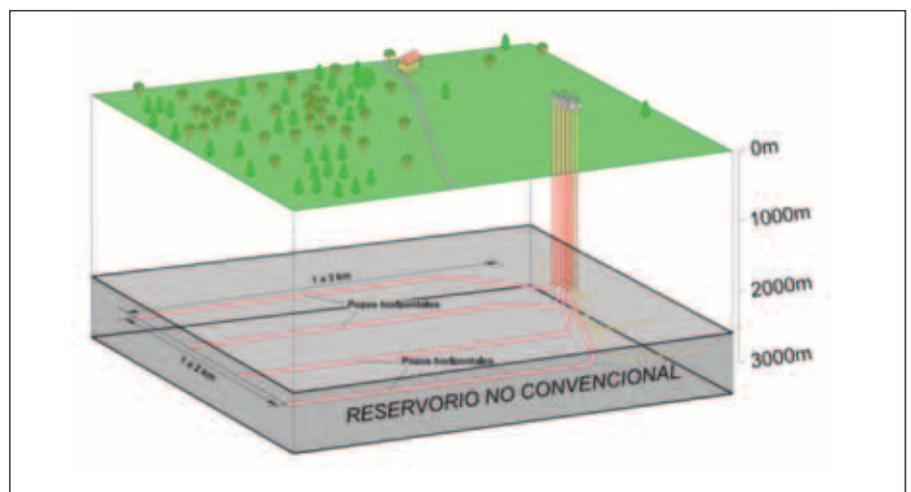


Figura 5. Explotación de un reservorio no convencional mediante perforación-estimulación de varios pozos, hasta treinta, desde un mismo emplazamiento.

- Se perforasen varios pozos desde un mismo emplazamiento.

miles de ellas perfectamente instrumentalizadas, con sus resultados concienzudamente analizados.

Al respecto, los estudios científicos concluyen que, siempre y cuando la perforación y la fracturación se realicen respetando las buenas praxis de la industria, el uso del *fracking* no conlleva ningún riesgo para la salud humana, ni para el medio ambiente. Sencillamente, al igual que ocurre en muchas otras actividades industriales, para que resulten inocuas es necesario respetar escrupulosamente unas determinadas normas de actuación.

Lo anterior es ya hoy en día evidente para cualquier técnico que esté medianamente bien informado al respecto. Cabe preguntarse entonces cuál es la razón del airado debate en curso. Pudiera ser que nuestra sociedad altamente desarrollada, inmersa en el mundo de la información, no esté lo suficientemente formada para ser capaz de recabar la información fidedigna sobre este tema y tomar decisiones en base a ella. Pudiera ser que, disfrazados de peligros medioambientales, se estén defendiendo otros objetivos.

Consideraciones finales

Los hidrocarburos no convencionales han irrumpido en el panorama energético mundial y parecen llamados a jugar un papel muy importante en el futuro energético de la humanidad, al menos en las próximas décadas. En las dos entregas de este artículo se ha repasado su historia, su situación actual y su potencialidad futura, que quizá hoy apenas podemos empezar a vislumbrar. Los principales aspectos tratados son:

- Los hidrocarburos convencionales y los no convencionales son composicional y genéticamente iguales, sólo se diferencian en el tipo de roca reservorio en la que están almacenados y en la forma de producirlos.
- En los Estados Unidos, país líder en la exploración-explotación de hidrocarburos no convencionales, el 46% de la producción de gas es ya de naturaleza no convencional, con reservas recuperables de gas no convencional para 45 años de consumo (Kuhn y Umbach, 2011).
- Allí, su explotación mediante fracturación hidráulica, es un proceso perfectamente viable, tanto técnica, como económica y medioambientalmente, con costes de producción equiparables a los del gas convencional.
- Con el análisis de unas pocas cuencas geológicas en todo el mundo (análisis muy preliminar, geológica y geográficamente muy restringido), en las que no están incluidas las formaciones geológicas de zonas como Rusia, Oriente Medio y otras grandes cuencas

geológicas productoras de gas convencional, las reservas extraíbles de gas no convencional han igualado a las de gas convencional.

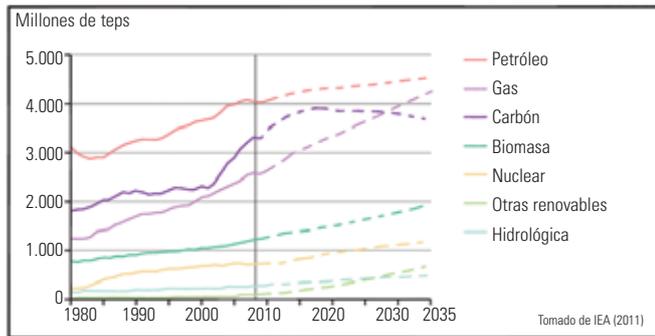
- Con estas premisas, parece claro que las reservas de gas no convencional pueden ser enormes. Se percibe además que con una distribución geográfica mucho más equilibrada que las de gas convencional.
- Las reservas acumuladas de gas convencional más las de gas no convencional ya evaluadas, alcanzan para satisfacer el consumo mundial de los próximos 250 años, a ritmos actuales de consumo. En Europa para más de 60 años, Kuhn y Umbach (2011). Es una buena reserva energética, de un combustible limpio.
- Aunque el la fracturación hidráulica es una técnica que tiene ya un largo recorrido, en los próximos años va a experimentar, a escala global, una implantación geográfica mucho más generalizada. Su utilización permitirá que, en el futuro, los hidrocarburos no convencionales mantengan una aportación creciente y sostenida a la producción total de hidrocarburos. El gas no convencional representa ya un porcentaje significativo de la producción mundial (el 12%), ese porcentaje va a aumentar considerablemente en el futuro (el 24% en el año 2035, IEA, 2011) (ver figura 6B), con independencia de que en determinados países o regiones se trate de y/o se consiga retrasar y/o prohibir su uso. Lo van a producir Estados Unidos, Canadá, China (ver figura 6C y 6D), todos, o casi todos los países, que posean esa potencialidad.
- Si los países que disponiendo de recursos no convencionales decidieran no ponerlos en valor se vieran en la necesidad de comprar el gas en el mercado; parte de dicho gas será no convencional.
- Las implicaciones económicas y de seguridad energética asociadas a la explotación de los recursos no convencionales son enormes (ver primera parte de este artículo, en T&T 41). Lo son para los países, para muchos de ellos, tanto consumidores, como productores, y/o áreas geopolíticas, que pueden ver alterados sus delicados equilibrios energéticos y/o comerciales. También para las compañías productoras y/o de servicios, que pueden encontrar un nuevo mercado, muy demandante de tecnología, fabricación de materiales y mano de obra.
- Lo anterior está originando que, en todos los aspectos relacionados con el *fracking*, se esté viviendo actualmente un proceso de I+D+i frenético, con una constante innovación y una espectacular mejora continuada, tanto en la eficiencia del método como en la reducción de su afección medioambiental. Todo ello conducirá indefectiblemente a que, incluso a corto plazo, en pocos años, se desarrollen nuevos

procesos, tecnologías, materiales, productos, nuevas técnicas de perforación-fracturación, etc., que acaben por solventar cualquier duda o prevención razonable que la puesta en práctica del método pudiera haber originado en el pasado.

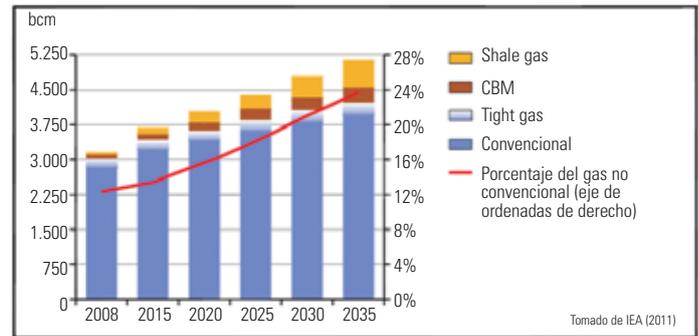
Como consecuencia de todo lo anterior, pueden establecerse algunas conclusiones interesantes, que encierran peligros y oportunidades:

- El relativamente intenso debate que se está suscitando sobre el empleo del *fracking* quedará, muy probablemente, archivado (quizá como algunos otros) por la mejora del conocimiento y el desarrollo tecnológico,
- Los países (y también las empresas) que desde el principio, de forma pionera, hayan apostado por la técnica, conseguirán una ventaja competitiva enorme frente a muchos otros, tanto por el valor añadido para sus economías del recurso producido, como por el conocimiento atesorado. Todo ello sin ninguna merma en la calidad ambiental ni en la salud de los habitantes de esos países. Estados Unidos es el perfecto ejemplo de esta envidiable situación.
- Los países, o áreas geopolíticas, que no pongan en valor sus recursos de hidrocarburos no convencionales, porque no dispongan de ellos, o porque soberanamente decidan no hacerlo, tendrán que comprar los hidrocarburos a los que los produzcan (a menos que ellos mismos sean productores autosuficientes de hidrocarburos convencionales) y una parte significativa de esos hidrocarburos serán, con toda seguridad, no convencionales. Debiera evitarse que Europa se convirtiera en un ejemplo de esta indeseable situación.
- El gas natural se está erigiendo como la energía de transición hacia las energías del futuro. Fundamentalmente porque es limpia, porque será abundante y porque las que mayoritariamente consumimos (y consumiremos) son más contaminantes (véase figura 6A), tomada y modificada de IEA (2011). Esta figura es un aldabonazo sobre cuál es, y va a seguir siendo, la situación energética mundial, muy dependiente de las energías fósiles más contaminantes (carbón y petróleo) y muy lejos de algunas utopías que, desde ciertos sectores, son presentadas como realidades ya habilitadas o como metas fácilmente alcanzables. Hoy en día, el *mix* energético mundial es: petróleo, 33%; carbón, 27%; gas natural, 21%; biomasa, 10%; nuclear, 6%; hidroelectricidad, 2% y otras renovables, 1%. La estimación para el año 2035 es: petróleo, 27%; carbón, 22%; gas natural, 25%; biomasa,

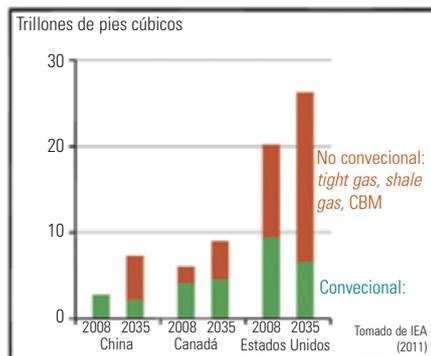
A) DEMANDA MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA. HORIZONTE AÑO 2035



B) PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL POR TIPOS. HORIZONTE AÑO 2035



C) PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL POR TIPOS EN DIVERSOS PAÍSES. HORIZONTE AÑO 2035



D) PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL POR TIPOS EN CHINA. HORIZONTE AÑO 2035

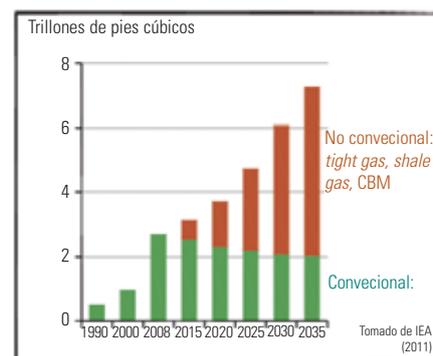


Figura 6. Evolución de la demanda de diferentes tipos de energías en el periodo 1980-2035. Evolución de la participación del gas no convencional en la producción total de gas. Estimación de la producción de gas natural, convencional y no convencional, en determinados países.

El gas natural es una oportunidad que la humanidad no debe desaprovechar, realmente necesitamos algo como el gas natural

12%; nuclear, 7%; hidroelectricidad, 3% y otras renovables, 4%. De momento, no hay otras opciones aceptables, económicamente asumibles o económicamente sostenibles, por utilizar una terminología más de nuestros días. Los países desarrollados seguirán consumiendo energías fósiles para mantener sus estatus económicos, el nivel de vida de sus ciudadanos, nuestro estado de bienestar; los países emergentes, China e India a la cabeza, no renunciarán a usarlas como base de su necesario desarrollo. Y si necesitamos las energías fósiles, lo mejor es que el gas natural reemplace lo más rápidamente posible al carbón (el más contaminante de las energías fósiles) y al petróleo (más contaminante que el gas natural). Aún asumiendo grandes reservas mundiales de gas natural (convencionales más no convencionales), la participación del gas natural en el mix energético mundial no alcanzará a la del carbón hasta el año 2030; al llegar al final del horizonte temporal representado en la figura (año 2035) seguirá siendo menor que la del petróleo. Sin el gas natural no convencional, lo que implicaría menos gas en el mercado y más caro, esa transición y sustitución sucesiva carbón-petróleo-gas natural-futuras energías limpias y bajas en carbono, sería todavía más lenta, mucho más lenta.

- En definitiva, el gas natural es una oportunidad que la humanidad no debe desaprovechar, realmente necesitamos algo como el gas natural.
- Lo necesitamos todos, necesitamos gas natural abundante y "barato", pero el caso de Europa es especialmente significativo, y preocupante. Con elevados índices de dependencia energética externa, puede simbolizar perfectamente la oportunidad que los recursos no convencionales representan, o pueden llegar a representar tras su correcta evaluación, para países y/o áreas geopolíticas que dispongan de este tipo de recursos.
- Obsérvese la figura 7 (tomada de López, 2011) en donde se muestra, en el numerador, la producción y, en el denominador, el consumo de gas natural (ambas magnitudes en BCM) por grandes áreas geopolíticas. Algunas como Eurasia y África muestran un claro superávit; en general, todas las regiones geopolíticas están más o menos equilibradas en cuanto a producción y consumo de gas natural; todas, menos Europa. El continente europeo necesita importar una gran cantidad del gas natural que consume. Es una situación peligrosa, que además está empeorando, porque una parte importante de nuestra producción (actualmente todo es gas convencional) proviene del mar del Norte, con campos en franco declive. Con producciones

cada vez más bajas, consumos estabilizados o en ligera alza, Europa va a necesitar importar cada vez más gas natural y, aunque afortunadamente parece que va a continuar siendo una fuente energética abundante, el coste económico de su adquisición será un pesado lastre para nuestra economía, para nuestra competitividad, y nuestro bienestar; especialmente si el continente europeo se empobrece, aunque sólo sea relativamente, en comparación con otras regiones del mundo demandantes de gas natural, hipótesis nada descabellada. La mejor solución es conseguir el mayor autoabastecimiento energético posible. En cuanto a gas natural convencional, no parece que Europa cuente con grandes potencialidades para el futuro (aunque la investigación continúa y se descubrirán nuevos campos). Pero en gas no convencional, quizá tengamos más opciones (ver primera parte de este artículo), con unas primerísimas estimaciones, que pueden aumentar, con reservas extraíbles para más de 30 años de consumo. Europa no debe desaprovechar esta oportunidad.

Es obvio, que la exploración y la producción de hidrocarburos no convencionales requieren de una planificación detallada de todos los trabajos involucrados en el proceso, así como de la gestión (incluyendo el establecimiento de medidas

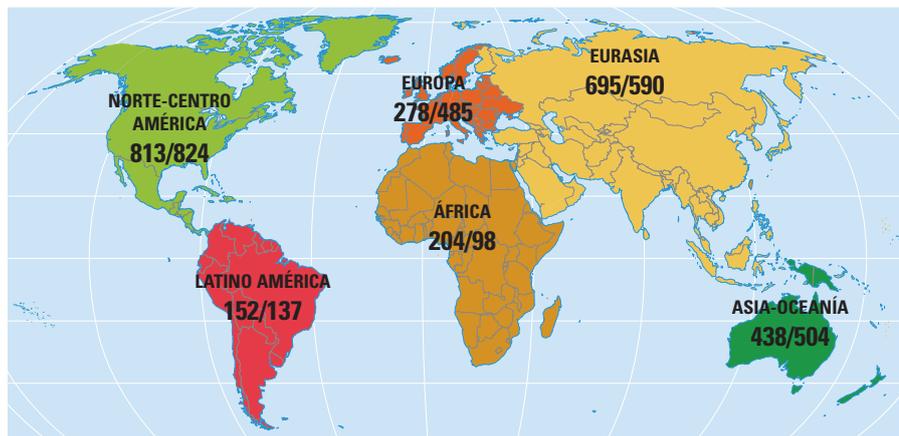


Figura 7. Producciones y consumos de gas natural por áreas geopolíticas (en BCM).

de seguridad y/o restricciones), y del seguimiento de todas las actividades. Pero en esto tampoco se diferencia sustancialmente de otras muchas actividades industriales y de grandes obras civiles que se realizan interaccionando con el medio.

Los países occidentales están capacitados para realizar una correcta gestión de los recursos no convencionales de hidrocarburos. Todo parece indicar que EE.UU. lo está haciendo; se trata de aprender de esa experiencia, utilizando los aciertos, aprendiendo de los errores. No es una estrategia nueva, la humanidad la conoce bien, la viene poniendo en práctica desde hace muchos siglos; a lo largo de las últimas décadas, desde mediados del siglo XX, a base de realizar elevadas inversiones sostenidas en formación técnica y humana de las personas y en adquisición tecnológica, los países occidentales nos hemos dotado del conocimiento, de los recursos técnicos y de los recursos humanos necesarios. La finalidad de ese esfuerzo histórico, de esas inversiones, tiene que ser el poder abordar, ser capaces de gestionar adecuadamente, situaciones como esta, y otras más complejas que puedan presentarse en infinidad de ámbitos.

En el caso que nos ocupa, gestionar debiera significar: 1) evaluar adecuadamente la posibilidad de explotar sus recursos de hidrocarburos no convencionales, sin que ello represente afecciones significativas, ni al medio ni a las personas, y 2) en el caso que fuera posible, poner en valor dicha potencialidad.

Finalmente, en el caso de los países europeos y en el caso de España en concreto, que pueden tener potencialidad en hidrocarburos no convencionales, y que son altamente dependientes de fuentes energéticas externas, dicha evaluación deberá contemplar cual es el coste de oportunidad que para ellos represente la no explotación de estos recursos. El no hacer las cosas, ya sea por la aplicación abusiva e indiscriminada de un principio de prudencia mal entendido o por simple renuncia a abordar la evaluación sería y pragmática de las oportunidades y la correspondiente toma de decisiones correctas (que en ocasiones implica evidentes dificultades), tiene también un coste, el coste de oportunidad; en este caso concreto, el coste de no haber puesto en valor los recursos. Para los países que disponiendo de una cierta potencialidad no la desarrollen, posiblemente será un coste muy alto. Se traducirá en pérdida de riqueza, de

oportunidades de negocio, de desarrollo industrial, de puestos de trabajo, en aumento de la dependencia energética y en una pérdida de competitividad frente a los países que sean capaces de gestionar más adecuadamente sus posibilidades energéticas. Se traducirá en pobreza, y la pobreza, aunque sea relativa, es la mayor amenaza para la sociedad de bienestar, para el medioambiente y para la libertad.

Sorprendentemente, en muchas ocasiones, o en casi todas, este aspecto capital queda obviado, sencillamente no se trata, ni en el enfoque del tema ni en los razonamientos y argumentaciones sobre los que deben establecerse las decisiones. Cabe preguntarse si como sociedad estamos a la altura de la preparación y del nivel técnico que se nos presupone.

La correcta utilización de esa capacitación técnica y de gestión adquirida con un notable esfuerzo inversor debiera ser la herramienta fundamental a emplear en la evaluación de los objetivos y en la solución de los problemas que a un país se le planteen. La exploración y/o extracción de recursos no convencionales de hidrocarburos puede representar un magnífico ejemplo de la necesidad de utilizar correctamente la capacidad técnica en los procesos de toma de decisiones. Si, consciente o inconscientemente, los procesos de decisión quedan influenciados por otros aspectos, lo más seguro es que las decisiones que se adopten conducirán a políticas de actuaciones poco acertadas.

Para una mejor consecución de ese objetivo, la toma de decisiones correctas, y sin que ello tenga que representar ningún menoscabo en el derecho que cada cual tiene de expresar sus opiniones y de contribuir con aportaciones de valor, sería deseable que el debate migrase a entornos técnicos, como el nuestro y otros directamente implicados en la evaluación y gestión de los recursos naturales, así como a los administrativos, y que se dilucidase en estos ámbitos.

Bibliografía

IEA, International Energy Agency (2011). *World Energy Outlook 2011*.
 INE, Instituto Nacional de Estadística (2012). Notas de prensa.
 EIA, U.S. Energy Information Administration (2011). *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States*.
 EIA, U.S. Energy Information Administration (2011). *International Energy Outlook 2011*.
 Fisher, K. and Warpinski, N. (2012). Hydraulic- Fracture- Height- Growth: Real Data. SPE, Pinnacle. En *SPE Production & Operations*, February 2012.
 Greenberg, J. (2012). Water Management Essential in Hydraulic Fracturing. En *Hydraulic Fracturing. The techbook*. A supplement to E&P.
 Kuhn, M. and Umbach, F. (2011). Strategic perspectives of unconventional gas: a game changer with implications for the EU's energy security. *EUCERS Strategy paper*. Volume 01, Number 01, 01 May 2011.
 López, L. F. (2011). *Retos energéticos 2011. El mercado del gas natural* (Inédito).
 Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, MINETUR (2011). Estadística de prospección y producción de hidrocarburos 2010.
 New York State Department of Environmental Conservation (2011). Revised Draft. Supplemental Generic Environmental Impact Statement on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program. Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs.
 SHALE GAS ESPAÑA. Plataforma española sobre la explotación y desarrollo del shale gas (www.shalegasespana.es).
 US Geological Survey (2009): Estimated used of water in the United States in 2005.

Rocas ornamentales del País Vasco y Navarra (I)

El Rojo Ereño y el Negro Markina

Si bien no con una gran variedad de litotipos pero sí con algunos de ellos muy característicos, el País Vasco y Navarra ofrecen una marcada singularidad en relación con la explotación de la roca ornamental. A lo largo de dos artículos hablaremos de los principales rasgos petrológicos, faciológicos y comerciales del Rojo Ereño, el Negro Markina, los Gris Deba/Rosa Duquesa y los Rojo Baztán/Gris Baztán, todos ellos clasificados como “mármoles” en sentido ornamental, que no lo son geológicamente hablando, pues se trata de rocas sedimentarias de naturaleza carbonatada que adquieren un excelente brillo por pulido. Al margen de su indudable valor constructivo, también nos hablan de un antiguo mundo marino en climas tropicales, donde la actividad orgánica fue frenética e involucró tanto a organismos con representación actual, como los corales, o los que no tienen equivalentes hoy en día, como los irrepetibles rudistas.

TEXTO | Laura Damas Mollá, Arantza Aranburu y Patxi García Garmilla, doctores en CC. Geológicas de la Universidad del País Vasco (Facultad de Ciencia y Tecnología, Dpto. Mineralogía y Petrología, 48940 Leioa, Bizkaia), y Héctor Fano, de Troya Kontrol, S.L. (Industrialdea, 10, Bajo 3, 20820 Deba, Gipuzkoa).

Palabras clave

Rojo Ereño, Negro Markina, País Vasco, roca ornamental.

Además de su indiscutible valor ornamental, los mármoles Rojo Ereño (o Rojo Bilbao) y Negro Markina tienen una larga historia extractiva, pues su explotación data de la época de los romanos (siglo I d. C.). Eso sí, actualmente sólo se comercializa el segundo, pues el Rojo Ereño dejó de extraerse a finales de la década de los ochenta del siglo pasado. Las canteras en que afloran ambos litotipos se localizan en el denominado “Anticlinorio de Bizkaia”, una compleja estructura tectónica intensamente afectada por fallas de recorrido kilométrico, que muchas veces actuaron como cauces de los procesos de mineralización de hierro asociados a estas rocas (figura 1). Ambas litologías pertenecen al denominado “Complejo Urgoniano”, del Aptiense inferior-Albiense superior, caracterizado por el desarrollo de grandes unidades de calizas arrecifales, limitadas lateral y verticalmente por facies paraarrecifales compuestas esencialmente por margas y depósitos terrígenos, unas veces depositados en medios sedimentarios de cuenca relativa y otras como depósitos de tránsito lateral en zonas canalizadas interarrecifales más someras. Son algunos fósiles determinados los que confieren el carácter ornamental a estas rocas, como los rudistas (polyconítidos, requiéndidos, monopléuridos), los bivalvos del tipo *Chondrodonta* sp., algunos gasterópodos (principalmente nerineidos)

y los corales tanto masivos como ramosos. Otras veces se valora de modo más especial la pureza del color negro en facies carentes de componentes bioclásticos, como acontece con las variedades más oscuras y homogéneas del célebre Negro Markina. Salvo algunas excepciones, lejos de constituir un inconveniente, los sistemas de fracturación que afectan con frecuencia a estas rocas suponen un aliciente estético adicional de mucha estimación, tal y como ocurre con las venas rellenas de calcita blanca que, cuando aparecen con profusión, dan lugar a la variedad conocida como Markina Florido.

Historia del Rojo Ereño como roca ornamental

«*Iviliae sacrum M(arcus) Caecilius Montanus pro salute Fusci fili(i) sui posuit. Rai(us) quintio fecit*». Ésta es la inscripción del ara funeraria (siglo I d. C.) tallada en Rojo Ereño y descubierta en el yacimiento arqueológico romano de Forua, en Bizkaia (Martínez Salcedo, 1997). Fueron los romanos los primeros en explotar esta litología de rasgos tan singulares, como es el rojo intenso de la matriz micrítica que engloba un abundante contenido fósil de colores blancos, negros y grisáceos (bivalvos de distintas familias de rudistas y *Chondrodonta* sp.). En un principio, los métodos de extracción eran arcaicos y consistían en el uso

de cuñas y palancas, de modo que los bloques los tallaban los maestros canteros. Estas técnicas no avanzaron sustancialmente hasta el siglo XIX, época en la que proliferaron las pequeñas canteras de carácter familiar que se compaginaban con las tareas agrícolas. Un buen ejemplo se localiza en el barrio de Atxoste (Bizkaia); la cantera de la familia Aldekozea conserva de forma excepcional rasgos originales tanto de la explotación como de la maquinaria utilizada (figura 2 A, B y C).

En etapas más avanzadas de la explotación, es decir, desde finales del siglo XIX hasta mediados del XX, se obtenían grandes bloques de piedra mediante corte con hilo helicoidal de acero guiado por volantes situados estratégicamente en los extremos de la cantera (figura 2 B). Los bloques rectangulares se conseguían perforando barrenos paralelos, en un principio de forma manual y mediante martillos de aire comprimido en los tiempos más recientes (figura 2 A). Los bloques se hacían rodar sobre rodillos de acero sujetos a una “winchi” manual mediante cables de acero (L. M. Aldekozea, *com. pers.*) (figura 2 C). La gran cantera de Atxarraga, activa desde 1890 hasta 1989, refleja la intensidad de la última etapa de la explotación, que dejó una gran hendidura en la montaña configurada en tres plataformas sucesivas (figura 2 D).

1. “Marco Cecilio Montano, de la Sagrada Ivilia, estableció aquí a su hijo Fusco por su seguridad. Lo hizo Raio Quinto.”

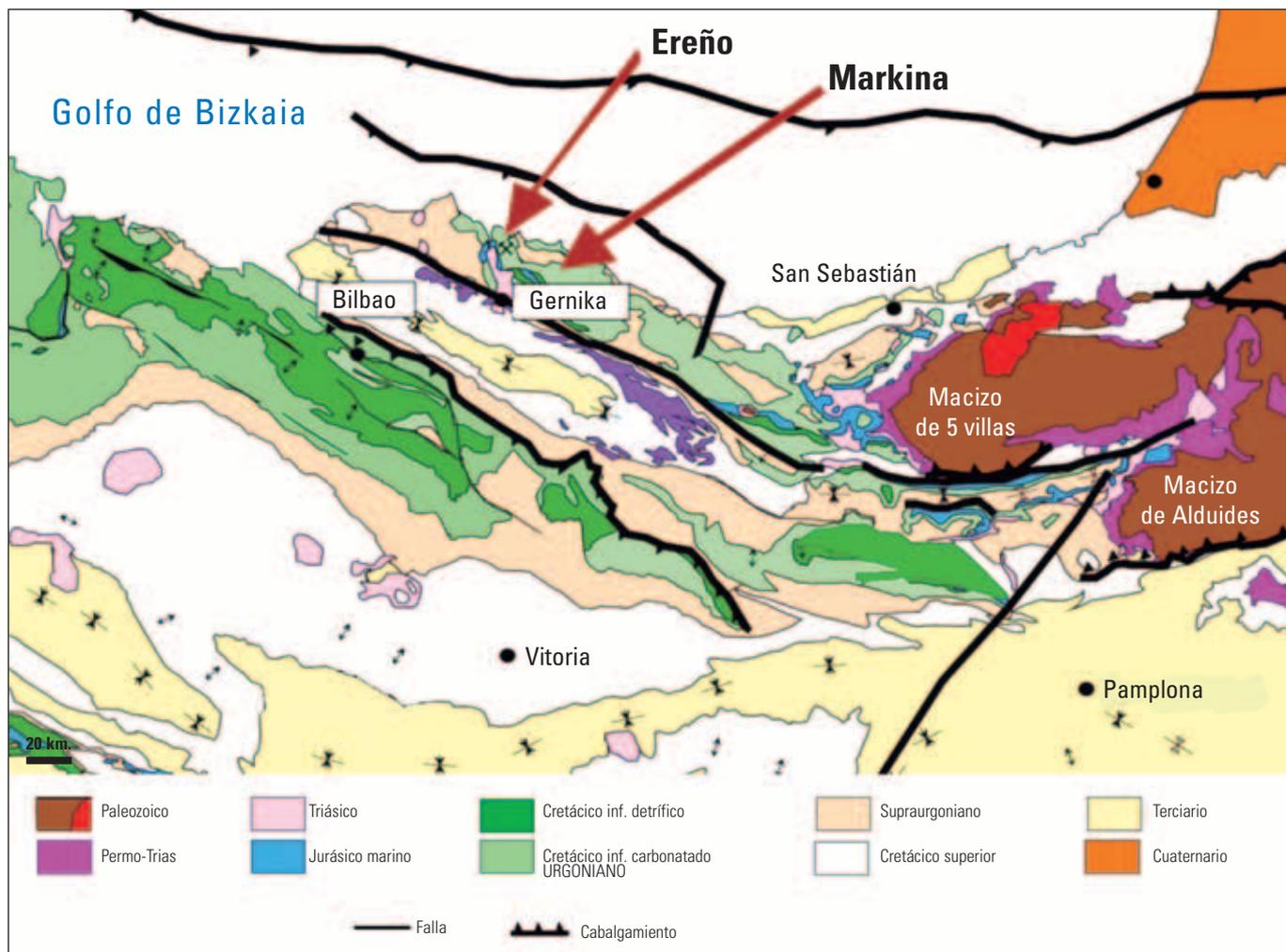


Figura 1. Localización de las canteras de Ereño y Markina en la Cuenca Vasco-Cantábrica.

Rasgos sedimentológicos y petrográficos del Rojo Ereño

Las calizas de Ereño pertenecen a la unidad urgoniana de Calizas de Santimamiñe, de edad Aptiense-Albiense (Agirrezabala, 1996). Dentro de esta denominación quedan representadas tanto las calizas de matriz micrítica gris como las de matriz micrítica de color rojo. La serie se corresponde con un homoclinal de dirección aproximada este-oeste (N110°E) y buzamiento subvertical de unos 85° (figura 1). La unidad queda flanqueada por otras de carácter siliciclástico, como la formación "Acantilado de Otoio", en la base, y la formación "Lutitas y Megabrechas de Berriatu", a techo. El área mineralizada se localiza de forma estratoparalela con los bordes difusos en los primeros metros de la serie en forma de lentejón de 1.500 x 500-600 m (Damas Mollá, 2011).

La potencia real de la serie levantada en la franja que presenta matriz de color rojizo es de 166 m (figura 3). En el detalle se reconocen diferentes tipos de facies (bioclásticas y bioconstruidas, o con armazón de naturaleza orgánica) que se asocian mutuamente y se corresponden con ambientes de plataforma marina

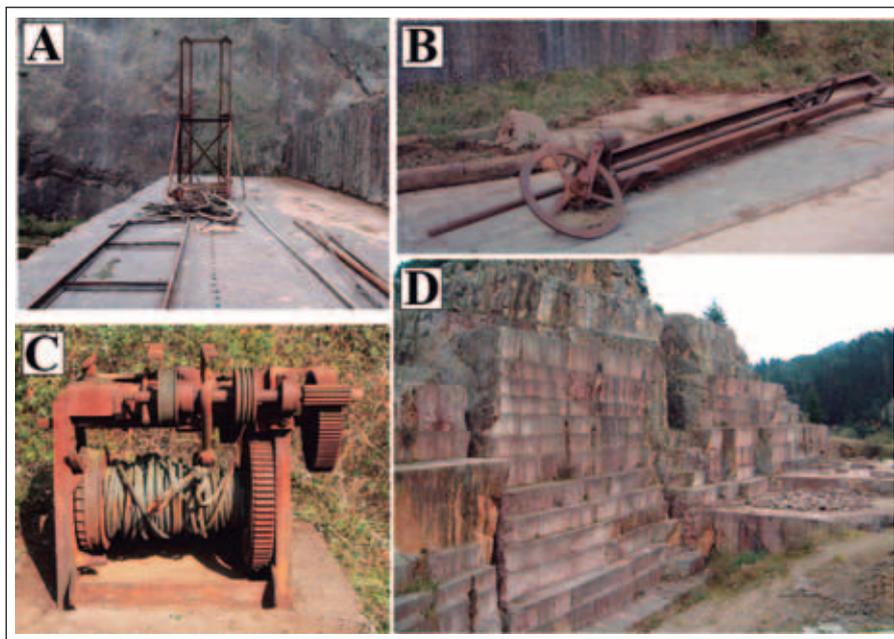


Figura 2. Herramientas encontradas en la cantera de la familia Aldekozea (Barrio de Atxoste, Ereño): A) Caballete para martillos neumáticos y carril para guiarlo. B) Volante móvil para ejecutar un corte inferior. C) "Winchi" (máquina para mover los bloques). D) Cantera de Atxarraga (Gauteguiz Arteaga).

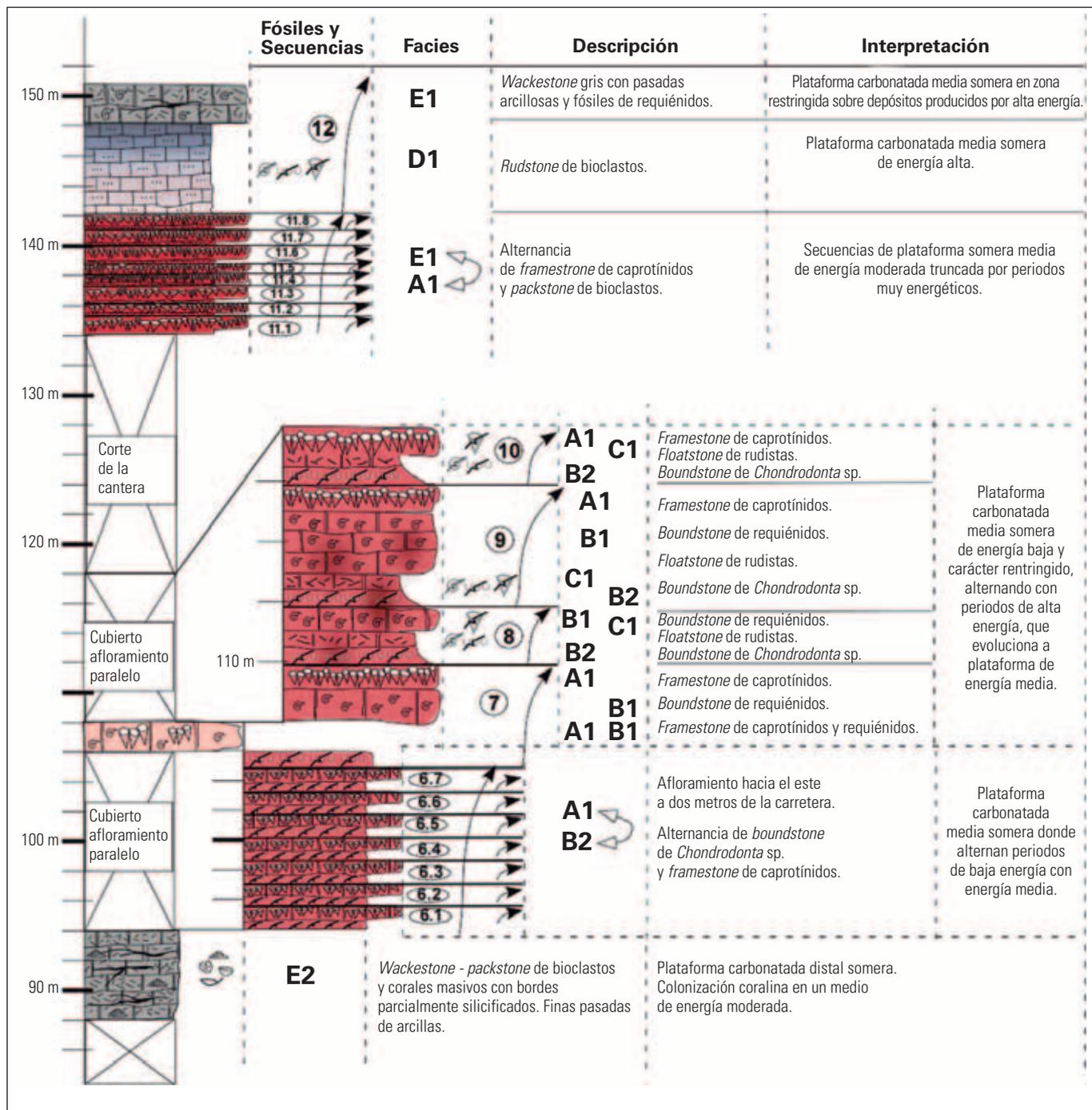


Figura 3. Columna estratigráfica del sector con matriz roja de las calizas ornamentales de Ereño.

somera de rangos energéticos variables. Así se pueden reconocer facies de tipo Framestone de rudistas polyconítidos y Bafflestone de *Chondrodonta* sp. en posición de vida, que aparecen en niveles muy continuos de espesor decimétrico. También hay facies de tipo Boundstone de rudistas, *Chondrodonta* sp. o corales, con los fósiles enteros, pero en posición distinta a la de vida; o bien facies Floatstone, Rudstone o Wackestone con una densidad variable de bioclastos (Embry y Klovan, 1971; Damas Mollá, 2011).

Los macrofósiles mayoritarios en las calizas de Ereño son los corales (tanto ramosos como

masivos), los *Chondrodonta* sp. (figura 4 A), que eran bivalvos con conchas finas en forma de pala que vivían semienterrados en el sedimento con las valvas abiertas hacia arriba, y los rudistas. Éstos últimos están representados por tres familias principales que, citadas por orden de abundancia, son:

- Polyconítidos (figura 4 B), con una valva en forma de cáliz, más desarrollada (15 x 5 cm) y fija al sustrato, y otra a modo de opérculo móvil. Sus conchas son relativamente gruesas (2-3 cm), agrupándose en colonias de cientos

de individuos denominadas "thickets" (Cestari y Sartorio, 1995).

- Asociados a los polyconítidos y, en algunos casos, creciendo al abrigo de sus conchas, se encuentran asociaciones de decenas de rudistas monopléuridos en forma de ramilletes o *bouquets* (Cestari y Sartorio, *op.cit.*). Son formas estrechas (hasta 1,5 cm de diámetro) con la valva inferior sésil y alargada (hasta 12 cm de altura) y espesor de la concha muy fino (1-2 mm) (figura 4 C).
- Al contrario que los anteriores, los rudistas requiénidos, aunque suelen encontrarse

agrupados, se presentan en conchas separadas y recostadas sobre el sedimento fangoso. Tienen forma enrollada o espiralada (15 x 5 cm) y su concha se diferencia de las de otras familias por su color negro intenso (figura 4 D, E).

En el campo son claramente identificables los niveles de rudistas polyconítidos en posición de vida, con un desarrollo muy amplio en la plataforma y claramente dominantes en los últimos metros de la serie. No es infrecuente que se encuentren erosionados bruscamente a techo y cubiertos por facies de carácter bioclástico. Esta secuencia-tipo se repite de forma clara en la vertical, resultando muy verosímilmente atribuible a bruscas variaciones en los niveles de energía de las aguas (figura 5) (Damas Mollá, 2011).

Además de los macrofósiles, las calizas de Ereño albergan numerosos microfósiles y bioclastos característicos de ambientes de plataforma marina somera tropical, es decir, un amplio cortejo de foraminíferos (miliólidos, orbitolínidos, lituólidos, aglutinantes incrustantes), equinodermos, bivalvos, ostrácodos, gasterópodos, corales, briozoos, algas, etc. (figura 6 A, B, C, D). Se encuentran englobados por una matriz micrítica de grano muy fino que presenta diferentes colores en torno a la gama de rojizos a pardo-grisáceos. Algunos sectores se encuentran recristalizados como consecuencia de la diagénesis a cristales de esparita o microesparita.

La microestructura de la concha de los rudistas presenta una ordenación interna bien definida en tres capas: 1) la capa externa orgánica que habitualmente no fosiliza; 2) la capa intermedia o calcítica formada por prismas de calcita baja en Mg (LMC), que presenta rasgos específicos para cada familia de rudistas, y 3) la capa interna inicialmente aragonítica (figura 6 E, F) (Skelton, 1974). Las zonas más ricas en cementos se asocian fundamentalmente a ésta última, que se disuelve de forma temprana en la diagénesis creando una porosidad móldica.

Las conchas menos alteradas durante la diagénesis y que, por consiguiente, conservan mejor las señales geoquímicas originales, son las de los rudistas requiéndidos y las de *Chondrodonta* sp., favoreciendo así los estudios geoquímicos de reconstrucción paleoambiental. Como ejemplo, los análisis de isótopos de oxígeno ($\delta^{18}O$) de la calcita de las conchas permiten deducir que la paleotemperatura del agua marina oscilaba entre 25-27 °C (Damas Mollá *et al.*, 2009). Mediante el análisis de facies, también sabemos que las asociaciones de polyconítidos proliferaron en la zona intermareal con aguas oxigenadas, mientras que en los ambientes más restringidos, con menor energía y depósito de materiales finos, se establecieron

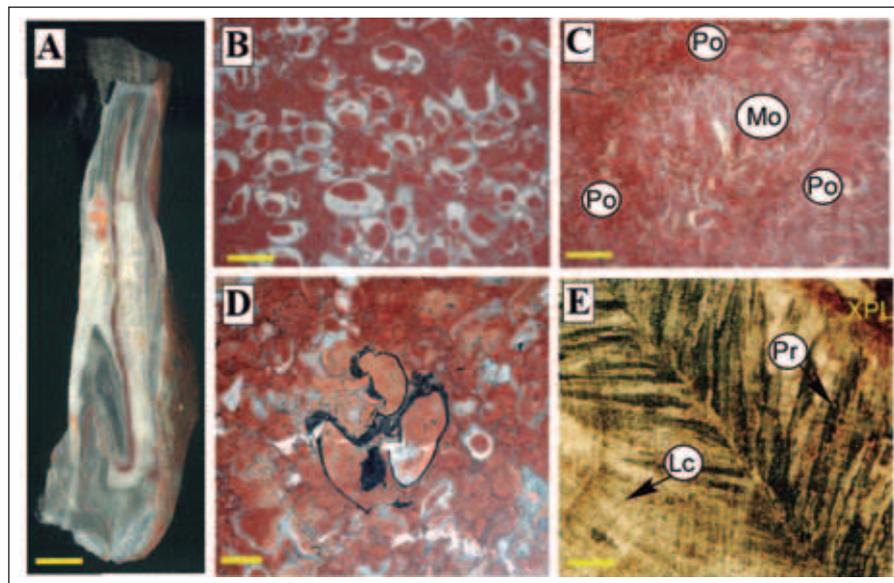


Figura 4. Bivalvos en las calizas de Ereño: A) Sección longitudinal de las dos valvas de la concha de un *Chondrodonta* sp. con el umbo (zona de unión entre valvas) en la parte inferior en forma de gancho. Se diferencia claramente la microestructura foliada. Barra de escala: 5 cm. B) Loseta del solado de la entrada a la Basílica de San Pedro del Vaticano realizada en Rojo Ereño. Sección transversal de un thicket de rudistas polyconítidos de colores claros englobados por la matriz micrítica roja. Barra de escala: 5 cm. C) Loseta del interior del Teatro Arriaga (Bilbao) con un bouquet en sección longitudinal de rudistas monopléuridos (Mo) rodeados por algunos ejemplares de rudistas polyconítidos (Po). Barra de escala: 5 cm. D) Loseta pulida del Ayuntamiento de Bilbao mostrando una sección oblicua de rudistas requiéndidos que destacan por el color negro de la concha. Barra de escala: 5 cm. E) Microfotografía de la capa prismática de un rudista requiéndido. La línea central es una cresta de carena de la ornamentación externa de la concha y se diferencian con colores marrones las líneas de crecimiento (Lc) y los prismas en extinción (Pr) perpendiculares a éstas (nícoles cruzados = XPL). Barra de escala: 0,5 mm.

los requiéndidos y *Chondrodonta* sp. (Damas Mollá, 2011).

La historia diagenética de las calizas de Ereño ha sido realmente compleja, desde las fases más tempranas con la disolución de la capa aragonítica de los rudistas, hasta las fracturaciones, neomorfismos, reemplazamientos minerales, compactaciones, etc. Pero, sin duda, lo más llamativo es el color rojo motivado por la entrada de fluidos diagenéticos con óxidos de hierro que impregnaron la matriz. Sin embargo, a pesar de la coloración, la mineralogía de la roca no revela cantidades significativas de hematites. Análisis paleomagnéticos han arrojado datos sobre la presencia de hematites pigmentari, de tamaño de grano ultrafino, responsable de la coloración. Las conchas de los rudistas ya se encontraban blindadas ante la entrada de los fluidos como consecuencia del neomorfismo más temprano y por ello se han mantenido invariablemente no mineralizadas. Las orientaciones de los minerales magnéticos sugieren una edad para la entrada del hierro durante el Cretácico, cuando la tectónica sinsedimentaria de la zona no había cesado, pero en una etapa previa a la orogenia alpina (Damas Mollá, 2011). Esta edad podría relacionarse con una etapa tectónica activa de la Cuenca Vasco-Cantábrica, con vulcanismo e hidrotermalismo asociados durante el Albiense superior-Cenomaniense (Aranburu *et al.*, 2002; López Horgue *et al.*, 2010).

Historia y técnicas de explotación del Negro Markina

La caliza semimasiva que da lugar al yacimiento de roca ornamental del Negro Markina se ha explotado desde hace más de un siglo ininterrumpidamente. Podemos diferenciar tres fases a lo largo de su historia extractiva, atendiendo a la tecnología empleada y al modo de extraer la piedra:

- Periodo preindustrial.
- Fase industrial antigua.
- Fase industrial moderna.

La fase preindustrial abarca desde los inicios de la explotación en una fecha que no está bien determinada —si bien hay testimonios escritos de que los romanos extraían ya *caliza negra de Markina*— hasta mediados de los años treinta del siglo XX. En estas primeras épocas el concepto de cantera era muy diferente, y básicamente se abrían pequeños frentes en puntos locales en los que se observaba una calidad de color adecuada y la suficiente sanidad en la roca. Los elementos de extracción básicamente eran cuñas y barrenas que se manejaban manualmente. Para desplazar los bloques se utilizaban rodillos de madera y carros tirados por bueyes. Estos métodos de extracción limitaban el tamaño de los bloques a extraer, que, por lo general, pesaban entre 1,5 y 3 toneladas, con un volumen que

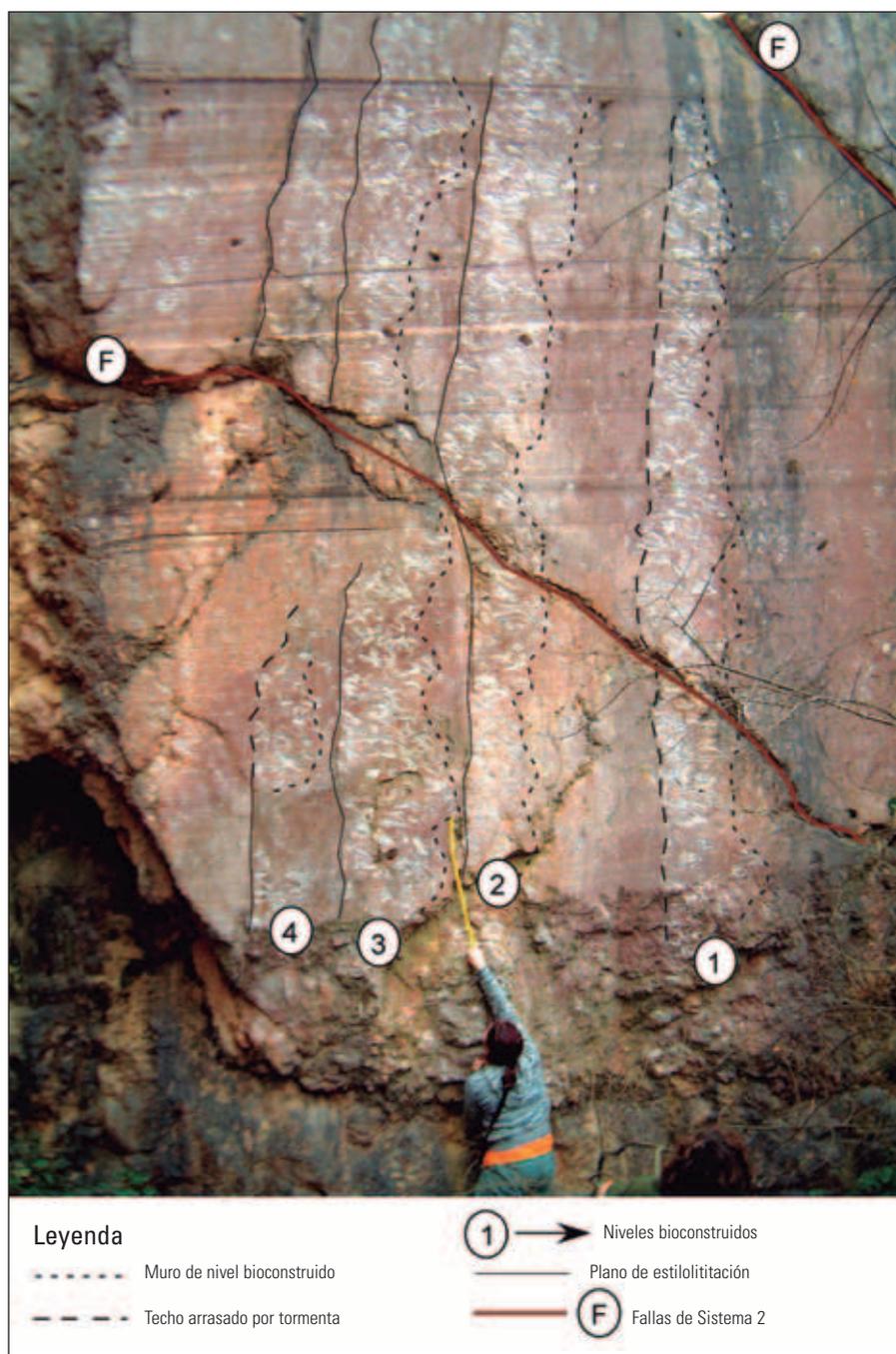


Figura 5. Sección longitudinal al crecimiento de las "bioconstrucciones" de rudistas polyconitidos en la cantera de Atxarraga (Gauteguiz de Arteaga). Se reconocen hasta cuatro niveles separados entre sí por facies bioclásticas.

rara vez superaba el metro cúbico. Habitualmente se buscaban en la masa rocosa "fallos" o planos de discontinuidad subhorizontales para utilizarlos como planos de "arranque". El corte vertical de los bloques se conseguía mediante la ejecución manual de barrenos, disponiéndolos en filas con unos 4 ó 5 cm de separación. Una vez barrenada toda la fila, el corte se producía mediante el uso de pólvora negra, cargando alternativamente los barrenos perforados, de tal forma que se consiguiera un efecto de "rasgado" por la línea perforada. Este corte también se podía realizar de modo más lento, introduciendo cuñas de madera en los barrenos y mojóndolas,

hasta que el hinchado de la madera terminaba generando la fuerza suficiente para producir la rotura del espacio entre barrenos. Un barrenador podía alcanzar en esta piedra un rendimiento de unos 80-100 cm por hora. Como se puede entender fácilmente, el rendimiento de estas extracciones era bastante bajo, si bien requería una gran cantidad de mano de obra, al ser prácticamente en todas las tareas indispensable la fuerza humana, auxiliada únicamente por la tracción animal (bueyes principalmente) y la pólvora negra.

A finales del siglo XIX, se introduce desde Italia (líderes mundiales en la técnica de laboreo

Por su importancia científica y divulgativa las paredes de "bioconstrucciones" de rudistas deberían quedar a salvo de las obras de remodelación que previsiblemente puedan tener lugar en un futuro

de la roca ornamental) el uso de un cable de acero helicoidal (hilo helicoidal), sobre el que se instalaba un goteo de agua con arena silíceo. Dotando a este cable de un amplio recorrido mediante poleas, se conseguía que cortara horizontalmente la roca, obteniéndose unas superficies horizontales dignas de una pista de patinaje. La llegada de esta técnica a la península ibérica, junto con el desarrollo en los años treinta del siglo XX de los compresores de aire comprimido, suponen una revolución en la industria ornamental, marcando el fin de la fase preindustrial y comenzando la fase que podemos denominar "industrial antigua".

En la fase industrial antigua, se da un gran salto cualitativo al utilizar para la perforación la fuerza de los martillos de aire comprimido, que llegan a la zona de Markina casi al mismo tiempo que la guerra civil. Irónicamente, las máquinas de corte y los primeros compresores son de fabricación alemana e italiana, al igual que los cañones y aviones que durante casi tres años diezman el territorio vizcaíno y siegan las vidas de sus habitantes.

La técnica de extracción consiste entonces en la división en "plazas" de la cantera, en función de la capacidad de circulación del hilo helicoidal encargado de generar los suelos de cada plaza. Para llevar a su cota cada uno de los cortes del "hilo helicoidal", era necesario disponer en cada lado de la plaza de corte, de una trincherera que permitiera colocar las poleas que situaban el acero en la cota adecuada. Estas trincheras, habitualmente de menos de 1,5 m de profundidad, se ejecutaban previamente mediante explosivo, por lo que se seleccionaban para su ubicación zonas de debilidad o preferentemente planos de falla de dirección perpendicular al talud

principal de la cantera, al objeto de instalar allí las trincheras y minimizar la pérdida de material ornamental debido a la acción del explosivo en la roca. No obstante, era muy habitual que en los metros cercanos a cada una de las trincheras el porcentaje de aprovechamiento del material ornamental disminuyese drásticamente. Todavía hoy en día pueden reconocerse en diversos puntos de la cantera los emplazamientos utilizados para la ubicación de las trincheras.

Los cortes verticales se hacían mediante hileras de barrenos perforados con martillos neumáticos, con una separación entre 6 y 8 cm entre barrenos, y empleándose mayoritariamente la pólvora negra y los detonadores de mecha lenta para “abrir” el corte y poder individualizar el banco primero y los bloques unitarios después. Aunque a medida que avanzan los años empiezan a aparecer máquinas de carga, los accesos a la cantera resultan inadecuados para las máquinas de ruedas, y se sigue necesitando una importante cantidad de mano de obra, si bien ahora el tamaño de los bloques puede ser mayor, alcanzándose pesos de entre 6 y 10 toneladas mayoritariamente. En este período las canteras de Negro Markina podían dar trabajo a más de sesenta personas. Disponían de cocinera y de habitaciones para dormir dentro de la propia cantera. Incluso durante una época, las poleas principales del hilo helicoidal se hallaban instaladas dentro del mismo recinto en donde dormían los operarios, de modo que podían dejar el hilo funcionando durante la noche y estar pendientes del mismo desde la habitación contigua.

Esta fase alcanza hasta finales de los años setenta del siglo XX, cuando el desarrollo de la maquinaria de carga (principalmente el tamaño y fuerza de las nuevas palas cargadoras) junto con una nueva generación de maquinaria de corte, dieron lugar a la siguiente fase, que denominamos “industrial moderna”.

Son tres los rasgos fundamentales que definen la fase industrial moderna en el laboreo de las canteras de Negro Markina. Por un lado, el desarrollo de palas cargadoras de alta potencia junto con el diseño de accesorios específicos para estas labores como las horquillas frontales, permiten mover y manejar bloques de 20 a 50 toneladas sin mayor problema. Por otro lado, la irrupción de las sierras de cadena y de los cables de pastilla de diamante (hilos diamantados) permite velocidades de corte entre cinco y diez veces superiores a las metodologías antes descritas, multiplicando la productividad de la extracción. El tercer factor fundamental es una consecuencia lógica de los dos anteriores, y es la drástica disminución de la mano de obra requerida en el proceso extractivo.

Con la aparición en la década de los ochenta de los hilos diamantados y las sierras de cadena, las labores de corte van adquiriendo

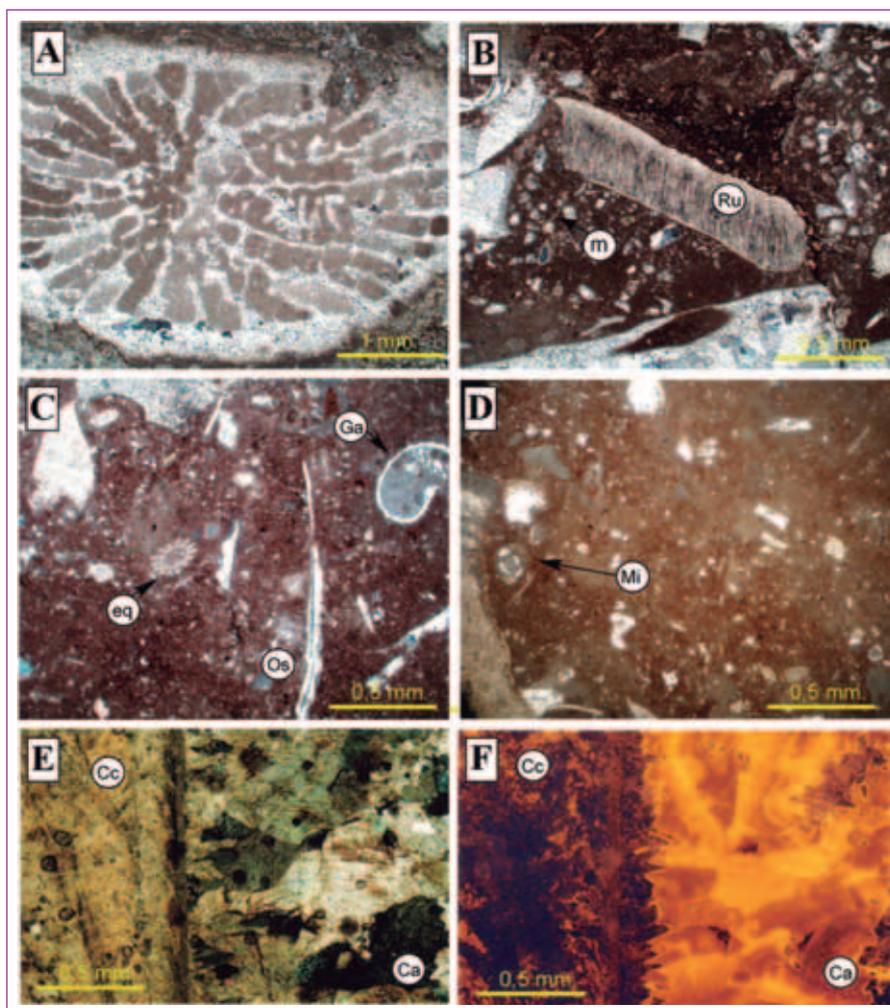


Figura 6. Microfacies del Rojo Ereño: A) Sección transversal de un coral ramoso con las cámaras rellenas de matriz micrítica y los septos neomorfizados a calcita (XPL). B) Fragmento de la capa calcítica prismática de un rudista (Ru) con morfología irregular, rodeado de bioclastos de menor tamaño, todos ellos englobados en una matriz micrítica (m) (XPL). C) Sección transversal de una espina de equinodermo (eq), fragmento de ostreido con microestructura foliada (Os) y sección oblicua de gasterópodo neomorfizado a esparita (Ga) con la cavidad interna ocupada por matriz micrítica de color grisáceo (luz transmitida = PPL). D) Matriz micrítica con miliólidos (Mi) (PPL). E) Sector de la concha de un rudista polyconítico con la capa calcítica prismática (Cc) y la capa aragonítica (Ca) rellena de diferentes fases cristalinas (XPL). E) Misma imagen tomada mediante catodoluminiscencia que permite apreciar con claridad hasta cuatro fases cristalinas.

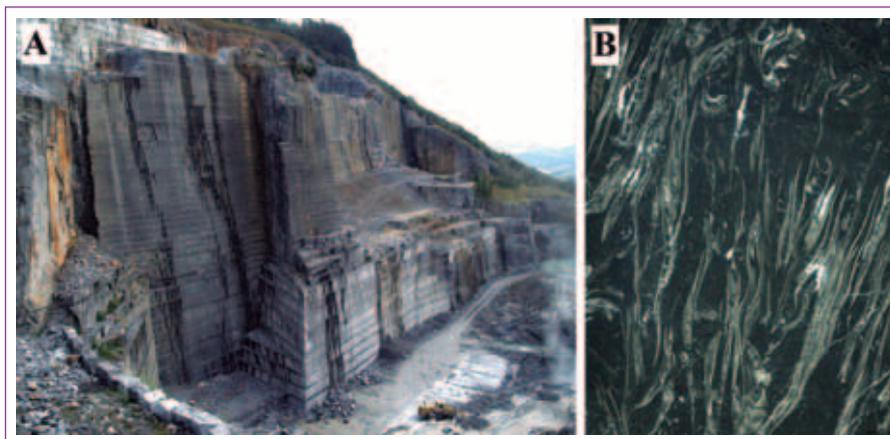


Figura 7. Rasgos del Negro Markina: A) Aspecto de la cantera de Markina con la característica disposición en bancadas clásicas paralelas. B) Loseta pulida con conchas de Chondrodonta sp. en posición de vida (anchura de foto: 15 cm).

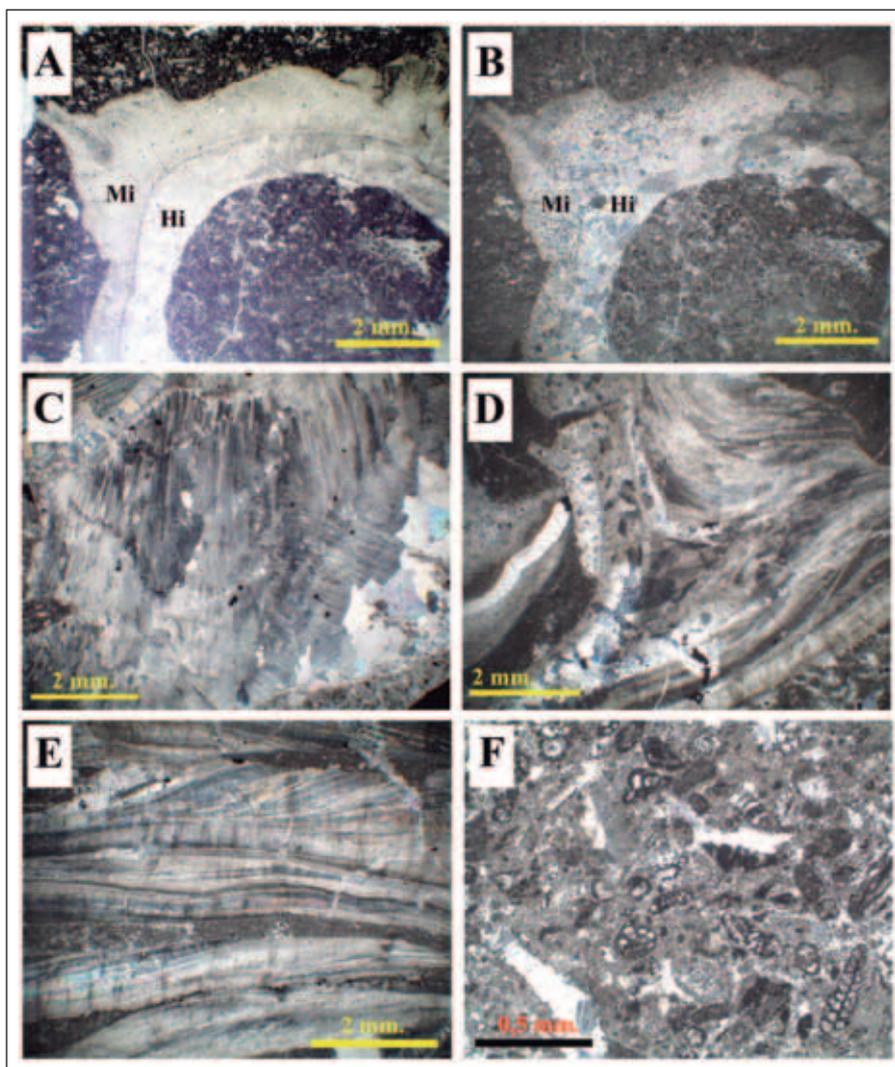


Figura 8. Microfacies del Negro Markina: A, B) sección transversal de un rudista polyconítico mostrando las dos capas de la concha: externa o calcítico-prismática (Mi) e interna inicialmente aragonítica (Hi) (PPL y XPL); C) sección de la capa externa de un rudista polyconítico con su característica estructura prismática (XPL); D) sección de *Chondrodonta* sp. con la microestructura lamelar replegada cerca de la zona de la charnela (XPL); E) sección de *Chondrodonta* sp. con la microestructura lamelar paralela en tramos longitudinales de la concha (XPL); F) Wackestone con foraminíferos aglutinantes de pared oscura biseriados en corte y planiespirales (PPL).

La caliza semimasiva que da lugar al yacimiento de roca ornamental del Negro Markina se ha explotado desde hace más de un siglo ininterrumpidamente

en las que los elementos diferenciadores son tres: 1) la variación de la tonalidad de la matriz, 2) el contenido y disposición de los restos fósiles (principalmente bivalvos rudistas y *Chondrodonta* sp.) (figura 7 B), y 3) la presencia o ausencia de laminaciones más o menos margosas.

Las facies generadas a partir de la combinación de estos tres elementos se suceden de modo estratiforme en la vertical, observándose puntualmente acuñamientos de dichas facies o pequeños desplazamientos debidos a fallas de menor rango. En función de las condiciones diagenéticas de cada facies, se consigue o no alcanzar el grado de tonalidad necesario para comercializarse como Negro Markina, y en función del contenido fosilífero, la roca puede ser apta o no para determinados mercados. La paleofauna presente en estas facies es prácticamente idéntica a la de las calizas rojas de Ereño, por lo que no nos extenderemos en este punto.

Las microfacies de las calizas negras de Markina son biomicritas (Folk, 1962) y Packstone-Wackestone (Dunham, 1962; Embry y Klovan, 1971) ricas en rudistas polyconíticos (figura 8 A, B, C), *Chondrodonta* sp. (figura 8 D, E) y foraminíferos aglutinantes de pared oscura, tanto biseriados en corte como planiespirales (figura 8 F). Tampoco faltan las facies bioconstruidas compuestas por rudistas dispuestos en *bouquets* de hasta unas decenas de individuos, así como de *Chondrodonta* sp. que aparecen en haces de conchas que se abren espectacularmente en abanico. Los rudistas polyconíticos muestran bien diferenciadas la capa externa (de calcita baja en Mg o LMC) y la interna (inicialmente aragonítica) (figura 8 A, B). La primera se compone de prismas por lo general bien preservados. En cambio, la segunda, originalmente aragonítica, suele disolverse de manera selectiva durante la diagénesis, o bien recrystalizar directamente a LMC esparítica.

Por su parte, los individuos de *Chondrodonta* sp., bivalvos relativamente afines a los ostreidos,

progresivamente protagonismo frente a las labores de perforación. Las alturas de banco se establecen en torno a los 3 m (figura 7 A). Los carros perforadores con martillos hidráulicos realizan los barrenos verticales de cada línea de banco y separación de bloques, mientras que las sierras de cadena cortan los suelos con profundidades de corte de unos 3 m. Los hilos diamantados se utilizan para los cortes laterales finales y para el escuadrado de bloques. En la labor de separar los bloques, aunque ocasionalmente puede seguir empleándose el explosivo (cordón detonante), se utiliza más frecuentemente la acción de dardos hidráulicos, que funcionan introduciendo pistones metálicos en barrenos alternativos, y creando la línea de rotura mediante la aplicación de presión hidráulica. Más recientemente, con la incorporación de una sierra rozadora de 6,5 m de longitud, se ha aumentado la altura de banco hasta los 6 m, y el hilo diamantado cobra aún mayor protagonismo

para generar tanto los cortes laterales como los suelos. En este esquema extractivo, sí resulta necesario volcar la bancada cortada, lo cual se realiza mediante el uso de almohadas neumáticas que se introducen en el corte trasero del banco, inflándolas hasta inclinar la pieza cortada lo suficiente como para que se desequilibre y caiga al suelo, donde se procede al despiece de los bloques. Este sistema propicia un mayor aprovechamiento de la piedra al permitir distintas orientaciones para el diseño individual de los bloques.

Rasgos sedimentológicos y petrográficos del Negro Markina

Aunque al observar el macizo calizo a gran escala, el nivel productivo del yacimiento tiene un aspecto masivo, la cartografía de detalle permite delimitar cuerpos groseramente estratificados, en los que con potencias mayoritariamente de orden métrico, se suceden distintas facies carbonatadas

En las últimas décadas ha aumentado la concienciación social en relación con la conservación de lugares con un elevado valor geológico, científico o didáctico

se caracterizan por poseer una concha muy compacta de naturaleza fibrosa, que suele ser muy resistente ante los procesos diagenéticos que pudieran alterar la concha post mórtem (Damas-Mollá, 2008 a, b). Especialmente en proximidad a la zona de la charnela, las lamelas de la concha pueden aparecer fuertemente replegadas (figura 8 D); en cambio, en una sección longitudinal más amplia, domina la estructura lamelar marcadamente paralela (figura 8 E).

Es difícil dilucidar las causas del color oscuro de las calizas negras de Markina. El color negro de las piezas pulidas no lo es tanto en secciones producidas por fracturación natural, en las cuales se aprecia una tonalidad gris oscura. La causa más razonable a invocar podría ser la materia orgánica diseminada de forma homogénea por la matriz de barro micrítico carbonatado, pero los contenidos en materia orgánica no son elevados en esta roca. Además, la presencia de biostromos de rudistas parece más conciliable con un ambiente marino somero de aguas relativamente renovadas y oxigenadas. En cambio, los *Chondrodonta* sp. quizá pudieron vivir, al igual que los actuales ostreoides, en aguas con circulación más restringida y, por lo tanto, más favorables a las condiciones hipóxicas. Sin embargo, tal distinción paleoambiental no es tan evidente y tampoco se correlaciona con el contenido fósil, pues ambos grupos de bivalvos aparecen tanto en facies negras como en calizas grises más claras.

Hay que destacar, por otro lado, que tanto la coloración oscura del Negro Markina como la encarnada del Rojo Ereño suponen una singularidad dentro de las facies urgonianas de la Cuenca Vasco-Cantábrica y, por lo tanto, pudieran estar más relacionadas con causas locales vinculadas a la diagénesis que con factores paleoambientales de rango más general. En todo caso, sería interesante en el futuro poder llevar a cabo un estudio geoquímico detallado sobre el verdadero origen de la coloración del Negro Markina.



Figura 9. Empleo de ambos litotipos como roca ornamental: A) Rojo Ereño en el Homenaje al Minero de Ortuella (Bizkaia). B) Peana de la estatua de Don Tello en la Plaza de los Fueros de Gernika (Bizkaia). C) Negro Markina con polyconítidos en el Paseo de la Zurriola (Donostia-San Sebastián) (anchura de foto: 15 cm). D) Negro Markina con algunas losas de la variedad "Florido" en los solados del Museo de Bellas Artes de Vitoria-Gasteiz (Palacio Augusti) (anchura de foto: 1,10 m).

Valor ornamental y patrimonial de ambos litotipos

El valor del Rojo Ereño como roca ornamental empleada a lo largo de los siglos ha quedado reflejado en numerosas manifestaciones, tanto arquitectónicas como artísticas, cuyo reconocimiento no sólo se ha dado a nivel local, sino que ha traspasado nuestras fronteras. El litotipo se puede encontrar por toda la península ibérica y las islas Canarias, e incluso se exportó a otros Estados como el Vaticano (figura 4 B) o los Estados Unidos (Nueva York). Si bien al comienzo su uso se reservaba para edificios singulares tanto laicos (yacimiento romano de Iruña de Veleia, en Alava; Ayuntamiento, Diputación y Palacio de Víctor Chávarri, en Bilbao; Casa de Juntas de Gernika) (Aranburu *et al.*, 2009) como religiosos (solado exterior de la Basílica de Covadonga en Asturias; Basílica de Begoña en Bilbao), la intensidad de la explotación permitió su aplicación en edificaciones más rutinarias, como portales de viviendas y comercios en general. También son abundantes las obras artísticas talladas en esta litología, como

la escultura de Lucas Alcalde *Homenaje al Minero*, ubicada en la localidad de Ortuella (Bizkaia) (figura 9 A) y la más reciente peana de la estatua de *Don Tello* de la Plaza de los Fueros de Gernika (Bizkaia) (figura 9 B). Este uso intensivo ha sido motivo más que suficiente para que la gran cantera de Atxarraga (o cantera de Andrabide) haya sido incluida como parte integrante del patrimonio histórico del territorio de Bizkaia. A esta definición se le debería añadir, además, su valor como parte del patrimonio minero.

En las últimas décadas ha aumentado la concienciación social en relación con la conservación de lugares con un elevado valor geológico, científico o didáctico, o que generen una cierta curiosidad por su valor turístico añadido, de manera que se ha hecho necesario crear figuras jurídicas que puedan protegerlos. El sector de las canteras de Ereño forma parte de los LIG (Lugares de Interés Geológico) del País Vasco desde 1990 (Puntos de Interés Geológico de Bizkaia, 1990) y quedan también incluidas como parte relevante en los listados más actuales (Mendia *et al.*, 2011).

Pero a pesar de que las propuestas de actuación sobre el espacio que ocupan son numerosas, la actual situación socio-económica ha frenado la realización de tales proyectos, conduciendo a su paulatina degradación. El vertido de desechos sobre la plataforma, la actuación de grafiteros sobre la pared o el expolio incontrolado de los bloques anteriormente cortados son sólo algunos de los sucesos que debieran haberse evitado a toda costa. Cabe resaltar la importancia científica y divulgativa de ciertas zonas de la cantera, como las paredes de "bioconstrucciones" de rudistas (*figura 5*) que deberían quedar a salvo de las obras de remodelación que previsiblemente puedan tener lugar en un futuro a corto o medio plazo.

En cuanto al Negro Markina, su gran valor ornamental radica en la intensidad del color negro que su superficie pulida alcanza. Este matiz, junto con la presencia de abundantes venas de calcita (Negro Markina Florido), fósiles de rudistas (Negro Markina con "caracolillo") o *Chondrodonta* sp. (Negro Markina con "sardineta"), da el contraste característico de esta roca, tan apreciada en el sector ornamental. El desarrollo geomecánico que ha sufrido el macizo ha dado como resultado un notable paralelismo entre las venas de calcita,

lo cual responde a su formación a favor de los planos de una misma familia de diaclasado. Esta disposición favorece la percepción estética de las planchas de roca pulida, diferenciándolas de otras más o menos parecidas. Existen muy pocos yacimientos de roca ornamental negra, lo cual ha contribuido siempre a mantener la demanda de la caliza vizcaína en el mercado. A esta demanda contribuye también el hecho de que los tonos negros y los blancos son los únicos que mantienen una considerable independencia frente a las modas arquitectónicas, que van cambiando con el paso de los años; además, el tono negro puede combinar con cualquier otro tono.

El Negro Markina normalmente puede trabajarse muy bien sin necesidad de resinado. Su acabado principal es el pulido, debido precisamente a la espectacularidad de su color. Se usa por ello principalmente para enlosado de paredes y suelos en interiores, así como para el diseño de elementos de ornamento como mosaicos, chimeneas, columnas, usos en escultura, etc. Su tonalidad y prolongado uso en el tiempo permite observar esta piedra en lugares muy dispares y significativos, como pueden ser el suelo de la catedral de Milán, algunos muebles y ornamentos

del Palacio Presidencial de El Cairo, la Kaaba de La Meca, etc.

Aunque se ha utilizado también habitualmente para exteriores de recintos comerciales, portales e incluso fachadas, no es éste su uso más recomendable, ya que de no estar muy bien trabajada, la losa de Negro Markina pulida tiene un mal envejecimiento si está expuesta a la intemperie en climas agresivos. En estos casos lo adecuado es darle un acabado abujardado, que mantiene la calidad a lo largo del tiempo. Este acabado da lugar a un tono más gris que negro. La biblioteca de la Universidad de Deusto, en Bilbao, la pavimentación del Kursaal y de Alderdi Eder, en Donostia-San Sebastián, son ejemplos de este uso. Su colocación en solados tanto interiores como exteriores está muy generalizada en todo el País Vasco, destacando los del paseo de la Zurriola, en Donostia-San Sebastián (*figura 9 C*), la calle Doctor Areilza, en Bilbao, y el Museo de Bellas Artes, en el Palacio Augusti de Vitoria-Gasteiz (*figura 9 D*). Como anécdota, también lo hemos encontrado compitiendo en desventaja con los famosos *griottes* galos en los bordillos de algunas calles de la bonita villa de Seix, en la región de Ariège del Pirineo central francés (García Garmilla *et al.*, 2009-2010).

Bibliografía

- Agirrezabala, L. M. (1996). *El Aptiense-Albiense del Anticlinorio Norvizcaíno entre Gernika y Azpeitia*. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco, 429 pp.
- Aranburu, A., Fernández Mendiola, P. A., López Horgue, M. A. y García Mondéjar, J. (2002). Syntectonic hydrothermal calcite in a faulted carbonate platform margin (Albian of Jorrios, Northern Spain). *Sedimentology* 49: 1-16.
- Aranburu, A., García Garmilla, F., Murelaga, X. y Pascual, A. (2009). *Ruta geomonomental por Bilbao: estudio de los materiales constructivos de tres edificios históricos*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco / Argitalpen Zerbitzua Euskal Herriko Unibertsitatea, 76 pp.
- Cestari, R. y Sartorio, D. (1995). *Rudist and facies of the Periadriatic Domain*. Agip S.p.A., S. Donato Milanese, 207 pp.
- Damas Mollá, L. (2011). *Las calizas rojas de Ereño: facies, paleoambiente, mineralización y diagénesis*. Patrimonio geológico-histórico de Bizkaia. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco, 313 pp.
- Damas Mollá, L., Aranburu Artano, A. y García Garmilla, F. (2008 a). Evaluación de los efectos diagenéticos en la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en conchas de rudistas y *Chondrodonta* sp. de las calizas rojas del Aptiense-Albiense inferior de Ereño (Bizkaia). *Geogaceta* 44: 103-106.
- Damas Mollá, L., Aranburu Artano, A. y García Garmilla, F. (2009). Paleoclima y diagénesis en las calizas rojas de Ereño (Aptiense superior-Albiense inferior, Bizkaia). *Geogaceta* 47: 61-64.
- Damas Mollá, L., Zuluaga Ibargallartu, M. C., Aranburu Artano, A. y García Garmilla, F. (2008 b). Mineralogía del Rojo Ereño de Vizcaya. *Macla* 9: 77-78.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W. E. Ham (ed.) *Classification of Carbonate Rocks - A Symposium*. American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1: 108-121.
- Embry, A. F. y Klovan, E. J. (1971). A late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Canadian Petroleum Geology Bulletin* 19: 730-781.
- Folk, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestone types. In: W. E. Ham (ed.) *Classification of Carbonate Rocks - A Symposium*. American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1: 62-84.
- García Garmilla, F., Murelaga Bereicua, X., Aranburu Artano, A., Mendiara Aranguren, M., Pascual Cuevas, A., Sagarna Aranburu, M. y Etxepare Igiñiz, L. (2009-2010). Presencia del mármol Vert D'Estours en el solado del Palacio de la Diputación de Álava. *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Álava* 23: 39-48.
- López Horgue, M. A., Iriarte, E., Schröder, S., Fernández Mendiola, P. A., Caline, B., Corneilli, H., Frémont, J., Sudrie, M. y Zerti, S. (2010). Structurally controlled hydrothermal dolomites in Albian carbonates of the Asón valley, Basque Cantabrian Basin, Northern Spain. *Marine and Petroleum Geology* 27: 1069-1092.
- Martínez Salcedo, A. (1997). La cultura material de época romana en Bizkaia: testimonios en torno a la actividad económica. *Izturitz* 9: 565-578.
- Mendiara, M., Monge Ganuzas, M., Díaz, G., González, J., Albizu, X. (2011). *Urdaibai: Guía de lugares de interés geológico - Geología interesguneen gidaliburua*. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Gobierno Vasco / Eusko Jaurlaritz, 341 pp.
- Skelton, P. W. (1974). Aragonitic shell structure in the rudist *Biradiolites*, and some palaeobiological inferences. *Géologie Méditerranéenne* 1: 53-74.

Cisnes negros: el reto de lo desconocido

La proliferación de catástrofes complejas e imprevisibles podría requerir de nuevos enfoques para gestionar los riesgos.

Texto | José Luis González García, geólogo y analista de seguridad estratégica; vocal de riesgos naturales del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (jlgonzalez@icog.es).

Palabras clave

Cisne negro, riesgos naturales, catástrofes.

¿Pudo evitarse el accidente de Fukushima? ¿Fue óptima la respuesta ante la emergencia? ¿Cómo se adoptaron las decisiones? Estas y otras cuestiones constituyen la base del informe que elaboró la comisión de investigación sobre el accidente nuclear de Japón del 11 de marzo de 2011. Las conclusiones fueron categóricas: aunque el terremoto y el *tsunami* (figura 1) que dispararon el accidente fueron eventos de gran magnitud, la catástrofe podría haberse evitado o, al menos, sus efectos podrían haberse mitigado mediante una respuesta más eficaz.

El informe de la comisión de investigación detalló multitud de errores humanos y negligencias, tanto desde el punto de vista preventivo como de la respuesta ante la emergencia. Responsabilizó al gobierno japonés, a la compañía operadora y a la agencia de regulación de las graves deficiencias en las medidas de seguridad y de no procurar la protección de la población aledaña a las plantas nucleares. También denunció que los reguladores y el propio operador eran conscientes del riesgo sísmico y del peligro de *tsunami* en los emplazamientos de las centrales nucleares. Sin embargo, no adoptaron las medidas adecuadas para prevenir una posible catástrofe. Por lo tanto, quedó demostrado que la gravedad del accidente fue acentuada por los errores cometidos en el proceso de gestión de la crisis.

Durante el accidente, los sistemas de gestión de emergencia no funcionaron conforme habían sido planificados. Se preveía la posibilidad de utilización de infraestructuras de transporte y comunicaciones. Pero el terremoto y el consiguiente *tsunami* debilitaron el funcionamiento de muchos sectores críticos, incluyendo algunos servicios esenciales para el control de la emergencia, como la prefectura de Fukushima. El fallo de los sistemas locales de respuesta fue la principal razón por la que se incrementó el papel de la oficina del primer ministro en la conducción de la crisis. Pero se produjeron errores importantes en la toma de decisiones. Por ejemplo, demoras inexcusables en la declaración de la situación de emergencia nuclear o la adjudicación de funciones operativas a la oficina del primer ministro que deberían haber correspondido a órganos especializados.

Además de la constatación de malas prácticas burocráticas también fue contundente la autocrítica hacia la sociedad civil japonesa. El Dr. Kurokawa, presidente de la comisión de investigación, señaló expresamente que las causas fundamentales de esta catástrofe están arraigadas en las convicciones de la cultura japonesa: obediencia abstraída, renuencia a cuestionar la autoridad, devoción por el apego hacia lo programado, sectarismo e insularidad.

No es baladí el papel que puede y debe jugar la sociedad civil ante los riesgos que nos acechan. La seguridad ha dejado de ser un asunto de los Estados para convertirse en una responsabilidad de todos. Por ello, es imprescindible y necesario el desarrollo de nuevas capacidades que fortalezcan la responsabilidad social en esta materia. En realidad, esta necesidad no es algo que pueda presentarse como novedosa. Ya existe, al menos en las sociedades occidentales, una profunda articulación entre la sociedad civil y el Estado en materia de seguridad medioambiental. Pero faltaría extender este compromiso al ámbito de los riesgos que, aún teniendo su origen en la naturaleza (terremotos, inundaciones, huracanes, etc.), son potenciados por efecto de la mano del hombre.

Hace tiempo que los riesgos denominados tradicionalmente “naturales” dejaron de tener este carácter. En la actualidad, los peligros de origen natural interactúan con otras amenazas y se transforman en riesgos de naturaleza mixta, tal como ocurrió en la secuencia del terremoto de Japón, *tsunami* y accidente de Fukushima. Por ello, tal vez debiera evitarse el uso del término “riesgo natural” y explorar una nueva nomenclatura que refleje la naturaleza múltiple de estos riesgos.

Proliferación de cisnes negros

Los signos de cambio que muestran los riesgos de hoy se deben a las transformaciones económicas, tecnológicas y sociales que se están produciendo. Las amenazas actuales, incluyendo aquellas que tienen un origen eminentemente físico, son menos previsibles que antes porque, tanto en la naturaleza como en el entorno económico y social, se incrementa la intervención humana. El resultado es una mayor incertidumbre, complejidad e interdependencia de los riesgos.

Nassim Taleb, profesor de la Universidad de Nueva York, denomina “cisnes negros” a los eventos que resultan de este tipo de interacciones. Un cisne negro (figura 2) es una alusión metafórica a



Figura 1. Efectos del tsunami de Japón de 11 de marzo de 2011.



Figura 2. Los cisnes negros constituyen una metáfora para sugerir eventos extremos de baja probabilidad. Foto de Nick Rains: cisnes negros en Tasmania.

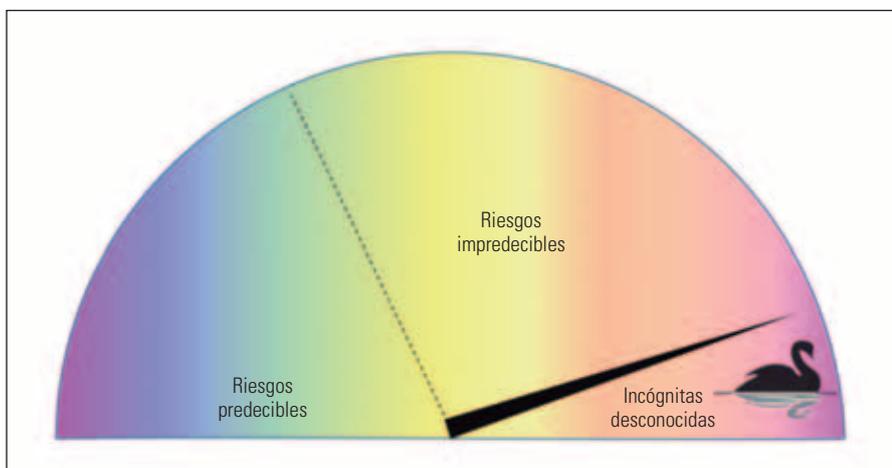


Figura 3. Las transformaciones derivadas de la conectividad entre amenazas y el aumento de fragilidad del mundo actual potencia el efecto de los riesgos impredecibles de alto impacto y baja frecuencia.

sucesos que reúnen tres atributos: constituyen una rareza, pueden generar consecuencias extremas y son imprevisibles. La forma de explicarlos siempre es retrospectiva.

¿Podría calificarse el accidente de Fukushima como un cisne negro? Desde una perspectiva rigurosa no sería correcto considerar a esta catástrofe como un cisne negro. Muchos geocientíficos conocían los registros geológicos e históricos de *tsunamis* y de terremotos de gran magnitud en la zona siniestrada. Era razonable considerar la posibilidad de que múltiples segmentos de la falla tectónica podrían desencadenar un seísmo mayor de lo previsto. Además, el propio informe de investigación sobre el accidente de Fukushima ha reconocido las posibilidades de previsión de esta catástrofe. Un cisne negro constituye por definición una incógnita desconocida (*unknown unknowns*). En el caso del terremoto de Japón y posterior *tsunami* estaríamos ante una incógnita conocida (*unknown knowns*). Taleb denomina a estos acontecimientos “eventos extremos modelizables”.

También se ha vulgarizado el término metafórico “cisne gris” para referirse a todo suceso de baja probabilidad que sabemos que puede ocurrir y que podría tener un impacto significativo, pero supone una sorpresa. El futurista John Petersen utiliza la denominación de comodín (*wild card*) para reseñar este tipo de eventos.

La percepción social de los cisnes grises depende del nivel de conciencia colectiva y de la perspectiva del observador. A nivel académico conocemos la posibilidad de ocurrencia de muchos eventos extremos (megaterremotos, grandes erupciones volcánicas, tormentas solares, fallos sistémicos en el sistema financiero, pandemias, etc.). El problema es que existen limitaciones en la capacidad para transferir el conocimiento desde el nivel experto hacia los niveles político y social. En la práctica, para la mayoría de los ciudadanos e instituciones del poder político y económico, la catástrofe del terremoto de Japón fue un evento sorpresivo. Por lo tanto, tuvo características equiparables a las de un cisne negro.

La proliferación actual de eventos inesperados de gran impacto (crisis económica actual, primavera árabe, sucesos del 11-S, erupción del volcán Eyjafjajayökull, accidente de Fukushima, etc.), no depende únicamente de la magnitud de los peligros del mundo actual. También se debe a la fragilidad entrelazada que ha creado la globalización. Con apariencia de estabilidad, la globalización potencia los peligros y provoca sucesos devastadores en donde los riesgos adquieren nuevos matices de naturaleza impredecible (figura 3).

Es posible que en un futuro, la humanidad tenga que afrontar acontecimientos de gran impacto. No podemos determinar con exactitud a qué riesgos nos enfrentaremos. Pero sabemos que las catástrofes pueden adquirir una dimensión cada vez más global. Peligros tradicionales como las enfermedades epidémicas, terremotos, huracanes e inundaciones, siempre han tenido un carácter transfronterizo. Pero ahora aparecen nuevos signos de deslocalización. Los efectos de estos riesgos pueden perdurar en el tiempo e inducir otros desequilibrios. Así ha ocurrido en el caso del *tsunami* de Japón, en donde la elevada contaminación radiactiva y química que resultó del impacto de la catástrofe sobre la infraestructura industrial puede permanecer a lo largo de las generaciones.

Los cisnes negros susceptibles de generar consecuencias catastróficas de gran impacto representan un enorme desafío para la humanidad. Vivimos con la ilusión del orden, creyendo que la predicción y la planificación son posibles. Sin embargo, los cisnes negros nos recuerdan que nuestras previsiones suelen fallar.

En la actualidad nos hemos acostumbrado a planificar sobre lo conocido. Pero lo decisivo no es prepararnos únicamente frente a lo que sabemos, sino contra lo que no sabemos. Aunque ello presente un enorme desafío. No es fácil ni habitual tomar medidas ante sucesos que posiblemente ni siquiera sabemos que desconocemos. Una planificación rigurosa para hacer frente a posibles cisnes negros requeriría evaluar todos los escenarios posibles, incluso los más improbables. Sería una tarea ingente y probablemente infructuosa.

¿Cómo podemos hacer frente a los cisnes grises y negros? En primer lugar, habría que reflexionar sobre el valor de ciertos estereotipos. Si los riesgos se han vuelto más complejos y difusos, ¿hasta qué punto tienen validez nuestros sistemas tradicionales de prospección, alerta y respuesta?

Frente a la complejidad de las nuevas amenazas, se necesitan planteamientos anticipatorios que tengan en cuenta una visión multidimensional de los problemas. Ello requiere de un modelo de seguridad que se nutra con más énfasis del conocimiento multidisciplinar. En general, la seguridad todavía está basada en planteamientos reactivos en lugar de preventivos. Es preciso dotarse de instrumentos que promuevan una seguridad sustanciada en métodos de análisis e interpretación.



Figura 4. Los sistemas de defensa y adaptación en la naturaleza proporcionan valiosas enseñanzas para la seguridad humana.



Figura 5. El huracán Katrina marcó el establecimiento de un nuevo sistema de respuesta ante desastres basado en el modelo de enfoque integral. Fotografía de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica.

Por otra parte, la seguridad en un mundo en el que proliferan los “cisnes negros” debería responder a esquemas más flexibles y cambiantes. Ya no sirven los protocolos de corte rígido, estáticos y con vocación de inmutabilidad. Por el contrario, se requieren modelos de respuesta adaptativos y descentralizados.

Enseñanzas de los sistemas naturales de seguridad

En la naturaleza, los sistemas de seguridad son mucho más dúctiles que en las organizaciones humanas. Son sistemas descentralizados que se adaptan mejor a las situaciones de peligro. Si nos fijamos en el pulpo (figura 4), vemos que, a pesar de tener un cuerpo sin espinas ni huesos (comida

perfecta para muchos depredadores), ha podido desarrollar complejas defensas que le convierten en un maestro del camuflaje. Puede cambiar de forma y color para simular el entorno e, incluso, puede crear patrones de color cambiantes. También es capaz de escapar de los depredadores dejando una mancha de tinta o puede responder mediante determinadas posturas defensivas.

Los organismos en la naturaleza no tratan de eliminar el riesgo sino que aprenden a convivir en los entornos hostiles, adaptando sus estructuras y sus comportamientos. Según el paleobiólogo Geerat Vermeij, los organismos biológicos mejor adaptados son aquellos que evitan el control centralizado transfiriendo el control operativo a múltiples sensores independientes. Estos sensores observan

continuamente el entorno y tienen capacidad para activar respuestas inmediatas ante los cambios ambientales o las amenazas.

Por el contrario, las respuestas de los sistemas de seguridad humana tienden a la centralización. En este sentido, un ejemplo notable ha sido la creación en Estados Unidos de una potente organización de seguridad que centralizó muchas de las funciones que realizaban diferentes departamentos en materia de seguridad interior. No obstante, este modelo ha sido incapaz de responder con eficiencia ante muchas situaciones críticas. Por ejemplo, fracasó claramente ante la multitud de los problemas que fueron surgiendo durante la catástrofe del huracán Katrina (figura 5).

A veces, los modelos de seguridad humana utilizan reglas que están presentes en la naturaleza. Raphael Sagarin, ecólogo marino de la Universidad de California en Los Ángeles, ha destacado la gran similitud de algunas exhibiciones de poder militar con los rituales de muchos organismos biológicos. Por ejemplo, los cangrejos violinistas machos compiten entre sí agitando sus enormes pinzas. Es un ejemplo de estrategia evolutiva similar a la que utilizaban las grandes superpotencias durante la Guerra Fría. Tanto el ser humano como los cangrejos logran mantener el equilibrio disuasorio al exhibir sus poderosas armas de destrucción mutua.

La proliferación de eventos complejos e imprevisibles en el mundo de hoy requiere la búsqueda de nuevos enfoques en la gestión de los riesgos. En mi opinión, los modelos de seguridad humana son francamente mejorables. Quizá, debemos esforzarnos en aprender de la naturaleza. Los organismos biológicos han sobrevivido durante miles de millones de años. Lo han hecho en un mundo repleto de riesgos, sin planificación, adaptándose y perfeccionando sus respuestas evolutivas ante amenazas complejas.

Una de las mejores formas de aprender a convivir con los cisnes grises y negros es analizar cómo se organiza la naturaleza y comprender cómo la vida se ha diversificado en un planeta en riesgo e impredecible.

Bibliografía

- Great Vermeij, G. (1987). *Evolution and Escalation: An Ecological History of Life*. Princeton University Press.
- Petersen, J. (1997). *Out of the Blue. Wild Cards and Other Big Future Surprise*. The Arlington Institute.
- Sagarin, R. (2003). Adapt or Die. *Foreign Policy*, núm. del 1 de septiembre.
- Taleb, N.N. (2008). *El Cisne Negro. El Impacto de lo Altamente Improbable*. Paidós.

Las inundaciones: la incorrecta ordenación del territorio y el infradimensionamiento de infraestructuras

Situación de Calpe (Alicante)

Los barrancos de Quisi y de Pou Roig, cuya unión y desembocadura se produce en el casco urbano de la ciudad de Calpe (Alicante), representan a la perfección la problemática de riesgo de inundación en la comarca de la Marina Alta. Se ha elegido esta área de estudio debido a que históricamente han acontecido numerosos eventos catastróficos causados por precipitaciones excepcionales y por una incorrecta ordenación del territorio.

TEXTO | Josué P. Ordóñez García, ingeniero geólogo, máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.

Palabras clave

Ordenación del territorio, inundaciones, desbordamiento, Calpe.

Las inundaciones son la catástrofe natural de mayor impacto en España. Son el proceso que en un corto espacio de tiempo (horas o días) genera el mayor volumen de pérdidas económicas y un mayor número de víctimas. Aunque si consideramos las pérdidas económicas medias anuales, los daños meteorológicos a la agricultura o las pérdidas de generación hidráulica por sequía pueden presentar un mayor coste económico (Pujadas Ferrer, 2002).

Aspectos generales de las inundaciones

Las inundaciones han sido el riesgo natural que ha originado más víctimas: más de 1.525 en las últimas cinco décadas (según Ayala-Carcedo y Olcina Cantos, 2002), incluyendo las 794 víctimas de las inundaciones de 1962 en Cataluña.

El valor económico de los daños (Riesgo) se define por la ecuación general del riesgo:

$$R = \Sigma P * E * V$$

Es decir, el riesgo o pérdida esperada (R) es el producto de la probabilidad de fenómeno catastrófico (P), por el valor económico de los bienes expuestos al riesgo (E), por la vulnerabilidad (V) expresada como tanto por uno de pérdidas ante un fenómeno catastrófico.

Las inundaciones tienen efectos primarios, que son causados directamente por la inundación, como heridos, pérdidas de vidas y daños originados por la erosión y el depósito de materiales en viviendas, explotaciones agrarias, instalaciones industriales e infraestructuras, principalmente del transporte.

También tienen efectos secundarios, entre los que se encuentran la contaminación a corto plazo de los ríos, hambre, enfermedades y desplazamiento de personas. Asimismo, causan fallos del sistema de eliminación de aguas residuales, plantas de tratamiento y alcantarillado, así como contaminación de acuíferos.

Influencia de la urbanización en las inundaciones

Cuando se produce alguna inundación con importantes consecuencias, en numerosas ocasiones se intenta culpar de la catástrofe a la naturaleza, a la fortuna e incluso a la religión, cuando realmente la mayoría de estos eventos son debidos a una incorrecta ordenación del territorio. La situación de edificaciones en cauces de ramblas, llanuras de inundación de los ríos y desembocadura de los mismos, así como otros usos inapropiados del suelo, han hecho que eventos extraordinarios de precipitación tengan efectos devastadores en todas aquellas poblaciones situadas en zonas de riesgo.

Además, debemos sumarle el factor de que en las zonas urbanas hay un amplio porcentaje de terreno cubierto por edificios y pavimento, lo que se traduce en un aumento de la impermeabilidad y, por tanto, de la escorrentía. Por otro lado, las áreas que poseen alcantarillado sufren importantes reducciones en el tiempo de concentración, llevando la escorrentía a los cauces de los ríos, arroyos y ramblas con mucha mayor rapidez que en entornos naturales. Estos dos últimos factores son de destacada importancia, pero mucho más complejos de solventar que una correcta ordenación del territorio.



Figura 1. Riada de Calpe de octubre de 2007. Comienzo del encauzamiento de los barrancos de Quisi y Pou Roig en el cruce de la avenida de los Ejércitos Españoles con la calle La Niña, que actúa de cauce improvisado.

Grandes catástrofes

En la península ibérica se han producido numerosas inundaciones, algunas de ellas con consecuencias fatales. La mayor parte de estos eventos han sucedido en la vertiente mediterránea, debido a sus características climáticas y orográficas. Estas son algunas de las catástrofes más significativas:

- Valencia 14 de octubre de 1957: queda inundada la ciudad de Valencia, tras lo cual se desvía el cauce del río Turia. Causó grandísimas pérdidas materiales y más de 80 muertos oficialmente, habiendo estimaciones no oficiales de incluso hasta 450 muertos.
- Las inundaciones del 25 de septiembre de 1962 en Cataluña se recuerdan como la mayor catástrofe hidrológica de España. Desgraciadamente fue una catástrofe récord en víctimas, 815 muertos, incluidos los desaparecidos.

- Alcira (Valencia) 1982. Del 19 al 21 de octubre de 1982 se desató un fuerte temporal de lluvia sobre el Levante español. Cayeron más de 400 mm de lluvia en 24 horas en algunos puntos, lo que provocó crecidas y desbordamientos de ríos y torrentes y la rotura de la presa de Tous. Hubo que lamentar la muerte de 38 personas e inmensos daños materiales, que se evaluaron en 50.000 millones de las pesetas de entonces.
- Oliva (Valencia) 1987: se llegaron a recoger 817 l/m² en 24 horas.
- Alicante, noche del 19-20 de octubre de 1982: hubo una precipitación de 200,7 l/m², con importante inundación en el barranco de las Ovejas.
- Día 7 de agosto de 1996, Biescas (Huesca). La presencia de un camping instalado sobre el abanico aluvial de un torrente de montaña produjo la cifra de 87 fallecidos.
- Alicante, 30 de septiembre de 1997: 286 l/m² en seis horas, cuatro muertos.
- Comarca de la Marina Alta (Alicante), días 12-13 de octubre de 2007 con 400 l/m² de precipitación en puntos del interior de la comarca, y de 250 en la costa; se desbordaron los barrancos de Quisi y Pou Roig, así como el río Girona.
- Por último, las inundaciones más recientes, las ocurridas el 28 de septiembre de 2012 en el sureste de la Península, afectando más intensamente a las provincias de Murcia y Málaga, en las cuales fallecieron 10 personas. En este evento se llegó a alcanzar los 177 l/m² en el valle del Guadalentín.

Situación geográfica e hidrológica de Calpe

Inundaciones históricas en la ciudad de Calpe (Alicante)

Sin duda alguna, la inundación más significativa de la ciudad de Calpe fue la sucedida el día 12 de octubre de 2007. Previamente a esta no había acontecido ningún evento de magnitud similar y con tales consecuencias, motivo por el cual se decidió la realización de este estudio.

Desde las cuatro de la madrugada del viernes 12 de octubre de 2007 hasta la tarde del mismo día se produjo una precipitación de 253 l/m² en Calpe; se llegaron a recoger hasta más de 400 l/m² en puntos del interior de la cuenca vertiente.

En Calpe se desbordaron los barrancos de El Quisi y el Pou Roig (figura 1), desde su unión hasta su desembocadura en el mar, afectando especialmente a la zona de las salinas de El Saladar y provocando que 3 km² de todo el término municipal quedaran sepultados por el lodo, las cañas y el agua que vino arrastrándolo todo desde el interior de la comarca.



Figura 2. Agua acumulada en la zona de El Saladar y conjunto de edificios que la separan del mar actuando de presa, tras las inundaciones de octubre de 2007.

Estas inundaciones de Calpe ocasionaron graves daños materiales: Más de 1.200 viviendas quedaron dañadas por la acumulación hídrica en la zona de Las Salinas y hubo 1.200 reclamaciones por daños en vehículos, así como numerosos bajos comerciales que terminaron anegados.

Todo el día 12, Calpe permaneció anegado, con 8.000 personas aisladas en sus viviendas. Debido a esto, las autoridades locales decidieron romper con palas distintos tramos del paseo marítimo para crear canales que permitieran el flujo de agua de las salinas al mar, ya que el cemento hacía de dique impidiendo dicho flujo. En días posteriores, la Generalitat Valenciana envió motobombas para continuar con las tareas de achique de agua en la zona de Las Salinas.

El cierre de la conexión de las salinas con el mar (motivado en gran parte por la masiva urbanización de la zona) dificultó el desagüe, haciendo que las aguas se acumularan y permanecieran más tiempo aumentando el daño. Pasados varios

días desde las lluvias, la acumulación de agua persistía en zonas como la avenida de los Ejércitos Españoles, una de las principales vías de la población (figura 2).

Marco geográfico

Las cuencas de los barrancos de Pou Roig y de Quisi están localizadas dentro de la comarca de la Marina Alta. Dicha comarca, es la situada más al norte dentro de la provincia de Alicante. Posee una orografía bastante compleja, ya que además de estar surcada por numerosas montañas y valles, presenta una costa muy accidentada. Estos dos barrancos, que son muestra de ello, transcurren prácticamente por dos términos municipales, el de Calpe (figura 3) y el de Benissa, aunque este último, al encontrarse en la cabecera de la cuenca, se caracteriza por un riesgo de inundación mucho menor que el de Calpe, que está situado en la parte más baja de la misma.



Figura 3. Situación geográfica de Calpe (Alicante).

El término municipal de Calpe cuenta con 29.718 habitantes (INE, 2011), de los cuales más de la mitad es de nacionalidad extranjera. Dicha localidad destaca por la mayor densidad de población de toda la comarca 1.243,22 hab/km², y posee una superficie de 23,5 km².

La referencia más evidente de la geografía calpina es el Peñón de Ifach, declarado Parque Natural por la Generalidad Valenciana, en 1987. El término municipal presenta muchas playas y calas de muy buena calidad, lo que le ha convertido en un importante enclave turístico de las costas levantinas. Otro lugar reseñable de la población es el Parque Natural de Las Salinas, que constituye un maravilloso paraje que acoge un gran número de especies de aves migratorias durante todo el año, entre ellas los majestuosos flamencos. Estas salinas fueron explotadas durante gran parte de la historia, teniendo certeza de ello desde la época romana y continuando hasta el año 1988, cuando definitivamente cesó la extracción de sal.

Calpe, como muchos municipios de la Comunidad Valenciana, ha sufrido un importante crecimiento demográfico en el último siglo. Lo más significativo de este aumento de población es que desde el año 1995 hasta el 2008 casi se triplica el número de habitantes, pasando de 11.698 a 29.228 habitantes, con el aumento constructivo que ello conlleva, al que además hay que sumar el importante número de personas que ha adquirido una segunda vivienda allí.

Climatología

El clima de la comarca de la Marina Alta, en cuanto a temperaturas, es el típico mediterráneo marítimo, con veranos calurosos dentro de una pauta de moderación, e inviernos templados, muy suaves, sin grandes oscilaciones térmicas. En cambio, el régimen pluviométrico varía notablemente respecto al existente en esta zona del Mediterráneo, sobre todo si la comparamos con el semidesértico clima del sureste peninsular. Las precipitaciones son mucho más altas, tanto precipitaciones totales anuales, como las precipitaciones máximas diarias. Este aumento en la pluviosidad es debido a la configuración en espón salado hacia el mar que la vincula mejor con la masa de aire mediterránea y, a todo ello, se une el efecto orográfico de las cadenas prebéticas de orientación N70°E. Estas cadenas montañosas se alinean paralelas en dirección normal a la costa, con lo que los valles constituyen pasillos abiertos, más o menos ampliamente, hacia las influencias marítimas húmedas. Otra de las características más importantes del clima de la comarca es el gran número de veces que se ve afectada por el fenómeno meteorológico denominado gota fría, que en ocasiones tiene ligados eventos extraordinarios de precipitación, los cuales tienen consecuencias devastadoras.

La gota fría es una depresión (o borrasca) aislada en niveles atmosféricos altos (DANA), formada por aire frío. No es una estructura pequeña, ya que su diámetro normalmente alcanza o supera los 2.000 km.

La formación de una gota fría se produce porque la circulación general atmosférica hace que en latitudes medias-altas se establezca una superficie definida de separación entre el aire frío polar y el aire cálido subtropical, que es el llamado frente polar. Dicho frente no es rectilíneo, sino que sufre ondulaciones más o menos pronunciadas. Cuando una de esas ondulaciones, meandros o vaguadas se amplifica mucho puede llegar a estrangularse y cortarse, quedando formada la depresión aislada fría o gota fría, la cual permanece flotando en latitudes inferiores a las que normalmente ocupa este aire frío.

La gota fría no es sinónimo de desastre meteorológico y no es ni condición necesaria ni suficiente para tal desastre, pero sí que en condiciones apropiadas es un buen mecanismo para desencadenarlo. Estas condiciones apropiadas para que se produzca el evento extraordinario de precipitación se dan frecuentemente en el Mediterráneo, especialmente en su cuenca occidental, que es una cubeta casi cerrada por un borde montañoso elevado, cuyo fondo ocupa el mar, donde al final del verano se acumula gran cantidad de calor que puede transmitirse al aire junto con la humedad, de modo que la cubeta mediterránea fácilmente se encuentra llena de aire cálido y húmedo, con gran potencial energético. Todavía es mayor el potencial energético si recientemente ha entrado aire africano, que es aún más cálido que el mediterráneo y que también se humedece fácilmente por el mar. Si ese aire cálido y húmedo es lanzado bajo aire relativamente frío se produce una inestabilización convectiva muy importante; posteriormente, la inestabilidad es liberada, formándose grandes chubascos y tormentas allí donde cualquier mecanismo proporcione una elevación inicial, la cual puede ser proporcionada por el choque con los relieves que cierran la cubeta, el choque con otra masa de aire o la succión desde niveles altos.

Marco geológico

La zona donde se sitúan las cuencas de los barrancos de El Quisi y el Pou Roig se encuentra en la zona externa de la Cordillera Bética y, más concretamente, en el Prebético, el cual está caracterizado por una tectónica de cobertera.

Los materiales del Triásico con facies Keuper actúan como nivel de despegue entre una cobertera sedimentaria de edad Mesozoico-Terciario (dominio Prebético) y un basamento (probablemente hercínico) que no llega a aflorar. Esta cobertera está estructurada en pliegues y fallas de dirección ENE-OSO (dirección estructural principal del orógeno bético). Los pliegues, con

longitudes de onda de varios kilómetros, son principalmente vergentes al norte, y están afectados por fallas normales de dirección NO-SE y NNE-SSO (Alfaro *et al.* 1999). En los sinclinales de estos pliegues se localizan cuencas sedimentarias de edad Neógeno-Cuaternario.

Los depósitos cuaternarios subhorizontales, en general altamente erosionables, cubren estas depresiones, mientras que los sedimentos más antiguos que rellenan estas cuencas (de edad Mioceno Superior) afloran en los flancos de los sinclinales con un dispositivo de abanico de capas. Localmente los sedimentos triásicos con facies Keuper forman estructuras diapíricas, en asociación con fallas de dirección.

La estructura principal de la zona es el sinclinal de Benissa, estando la zona estudiada en el flanco oriental de dicho sinclinal. En los extremos de este flanco (Toix y Punta de Moraira) los estratos se disponen verticalmente, mientras que en la parte central (Penyal d'Ifac) llegan a invertirse. Todo el flanco se encuentra afectado por grandes fallas de orientación N10°E y N120°E responsables del hundimiento bajo el mar de los sectores situados entre el Morro de Toix y el Penyal d'Ifac y entre éste último y la Punta de Moraira.

Desde el punto de vista geomorfológico, el Penyal d'Ifac inicialmente formaba un islote próximo a la costa durante el Cuaternario antiguo. Dicho islote quedó unido a tierra firme, probablemente durante el Tirreniense, por dos barras arenosas (ahora areniscas cementadas), dando origen así a un ejemplo típico de tómbolo.

Estructuralmente, formaría parte del flanco sudeste del sinclinal de Benissa que en este punto se encuentra volcado hacia el noroeste. En el tómbolo se han desarrollado las playas de Arenal-Bol, al sur, y la playa de La Fossa, al norte, así como una pequeña laguna litoral conocida como El Saladar por su antigua utilización para extracción de sal. Estos depósitos de edad Tirreniense están cubiertos hoy en día por sedimentos arenosos actuales.

Problemática en el casco urbano de la ciudad de Calpe

El principal riesgo de inundación en la ciudad de Calpe tiene lugar en el área de confluencia de los barrancos del Pou Roig y de Quisi. Estos dos barrancos se unen a 353 metros de la costa en pleno casco urbano de dicha población. Históricamente, la canalización existente se ha desbordado anegando las inmediaciones, así como aportando una gran cantidad de agua a la cuenca contigua, donde se encuentran las salinas de El Saladar (*figura 4*). Debido a las nuevas características de la cuenca de El Saladar, donde la barra de arena que separaba las salinas del mar ha pasado a ser un dique debido a la masiva urbanización, el agua no ha podido ser evacuada



Figura 4. Plano de las cuencas estudiadas donde se pueden observar los barrancos de Pou Roig, Quisi y las salinas de El Saladar.

de forma natural al mar, quedando atrapada y generando una amplia zona de inundación, la cual ha reportado numerosos problemas.

Zonificación de riesgo de inundación, clasificación de suelo y actuaciones estructurales según el PATRICOVA

El PATRICOVA "Plan de acción territorial de carácter sectorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunidad Valenciana" es uno de los instrumentos para la ordenación del territorio previstos en la Ley 6/1989 de la Comunidad Valenciana, siendo la figura de ordenación territorial de escala superior al municipio. El PATRICOVA es un plan de acción territorial de carácter sectorial para la prevención del riesgo de inundaciones que intenta dar una solución integral de este fenómeno a través de un diagnóstico de zonas de riesgo, y de un conjunto de medidas estructurales y no estructurales que abarcan desde la escala de cuenca fluvial a la propia planificación de usos de suelo de aplicación a escala municipal (PGOU).

La definición de riesgo tiene que tener en cuenta tanto la probabilidad de ocurrencia de la inundación, como los niveles alcanzados. Por

lo tanto, el PATRICOVA adopta un esquema de cuantificación del riesgo en seis categorías o niveles de riesgo, producto de la combinación de las dos variables principales manejadas: frecuencia y calado.

Por lo que se refiere a los niveles de frecuencia el PATRICOVA distingue los tres siguientes:

- **Alta frecuencia de inundación.** Se corresponde con zonas sometidas a inundaciones con periodo de retorno inferior a 25 años, es decir, con probabilidad anual de sufrir una inundación igual o superior a 14%.
- **Frecuencia media de inundación.** Son aquellas zonas que sufren inundaciones para periodos de retorno entre 25 y 100 años, es decir, que presentan probabilidades anuales de inundación entre el 1 y el 4%.
- **Frecuencia baja de inundación.** Se corresponde con zonas inundadas con crecidas de 100 hasta 500 años de periodo de retorno, o lo que es lo mismo, con probabilidades anuales de inundación entre el 0.2 y el 1%.

Pese a la existencia de múltiples factores que determinan la cuantía de los daños debidos

a una inundación, el calado es la variable adoptada por el PATRICOVA como representativa de la magnitud de la avenida. La elección de éste es debida a que es el factor más importante en la mayoría de los casos, ya que otros factores como la velocidad o el transporte de sedimentos están altamente correlacionados con él.

A la hora de clasificar los diferentes calados en una inundación, el PATRICOVA distingue los dos siguientes tipos.

- **Calados bajos.** Cuando el nivel general de agua esperado en la zona de inundación es inferior a 80 cm. Se considera que conlleva pérdidas de menor cuantía y que las medidas a adoptar son más sencillas.
- **Calados altos.** Cuando el nivel es superior a los 80 cm. En este caso, suponen daños de gran importancia.

Como resultado de la combinación de los factores anteriores, el PATRICOVA determina seis niveles de riesgo:

- RIESGO 1. Frecuencia menor de 25 años; calado > 0.8 m.
- RIESGO 2. Frecuencia entre 25 y 100 años; calado > 0.8 m
- RIESGO 3. Frecuencia menor de 25 años; calado < 0.8 m
- RIESGO 4. Frecuencia entre 25 y 100 años; calado < 0.8 m
- RIESGO 5. Frecuencia entre 100 y 500 años; calado > 0.8 m
- RIESGO 6. Frecuencia entre 100 y 500 años; calado < 0.8 m

La única zona de inundación considerada por el PATRICOVA dentro del municipio de Calpe es la marjal de Calp (las salinas de El Saladar) de código AC10, a la cual le atorga un nivel de riesgo 3, indicado en cartografía mediante un color azul claro (figura 5). Esta zona de riesgo tiene una superficie de 242.468 m²; sin embargo, dicha superficie es prácticamente la que ocupan las salinas, por lo que es bastante obvio suponer que esa zona permanecerá con presencia de agua habitualmente y durante largos periodos de tiempo.

Por otro lado, el PATRICOVA no menciona nada sobre la unión de los barrancos de Quisi y Pou Roig, situados al oeste de las salinas (figura 5), clasificando sin ningún tipo de riesgo a estos barrancos, y a sus áreas colindantes, pese a estar situadas en suelo urbano y urbanizable (indicados con tonos grises en la cartografía). Esta decisión, como se ha podido observar, fue errónea, pues únicamente es necesario consultar los hechos acontecidos el 12 de octubre de 2007 para confirmar que estos barrancos se desbordan, ocasionando graves problemas de inundaciones

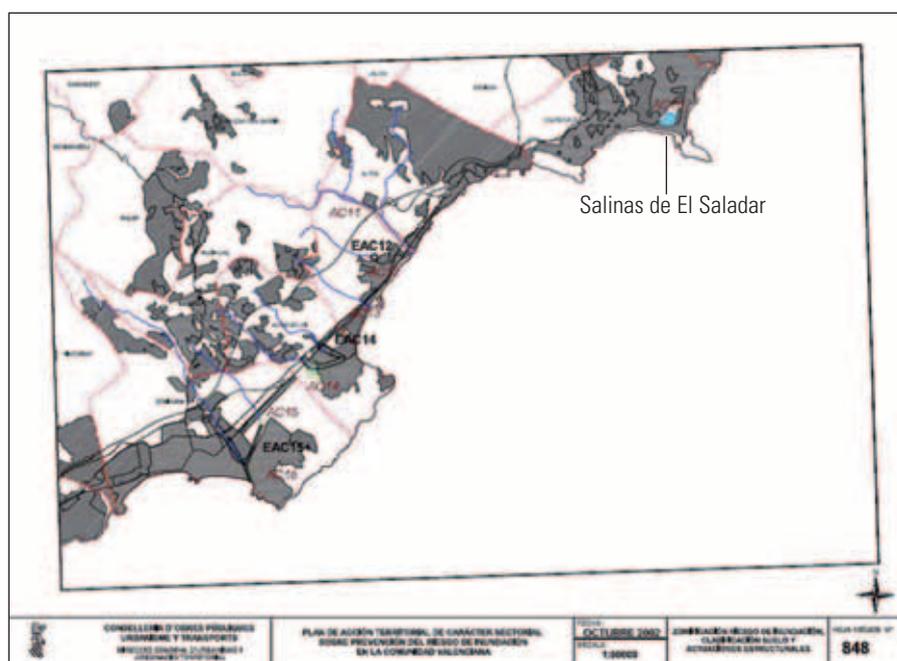


Figura 5. Plano 848 de zonificación de riesgo de inundación, clasificación de suelo y actuaciones estructurales del PATRICOVA.

en todo el área colindante (casco urbano de la ciudad de Calpe) y ampliando la zona de riesgo de las salinas de El Saladar.

Además de esto, el término de Calpe NO posee ninguna propuesta de actuación; ni actuaciones estructurales, ni actuaciones de restauración hidrológica forestal.

Estudio realizado en la zona de Calpe

Caracterización de las cuencas

Para la realización del estudio se ha utilizado la cartografía escala 1:10.000 realizada por el COPUT (la antigua Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes) que, además de contener la topografía del lugar, incluye información adicional como zonas urbanizadas, carreteras, vías férreas, cursos de agua, etc. Una vez que se ha dispuesto de la topografía, se han delimitado las diferentes cuencas y se han marcado todas las vaguadas, se ha proseguido con la obtención de los siguientes parámetros y características que describen estas cuencas.

1. Parámetros básicos de la cuenca.
2. Parámetros de forma.
3. Características del relieve.
4. Características de la red de drenaje.
5. Características del cauce principal.

La caracterización de las cuencas, así como los cálculos de umbral de escorrentía y de los caudales punta, se han realizado para el barranco del Pou Roig y para el barranco de Quisi considerándolos como cuencas totalmente independientes, para así poder hacer un análisis más pormenorizado de

cada una de ellas. Seguidamente, se han realizado los mismos cálculos para la cuenca que conforman los dos barrancos juntos, con la finalidad de saber si el comportamiento de cada uno por separado es similar al comportamiento de la cuenca completa y de poder comparar los resultados que se han obtenido, lo que ha dado una mayor fiabilidad a este trabajo.

En la *tabla 1* se puede observar una serie de parámetros que podrían resumir, grosso modo, cada una de las cuencas, de tal forma que podemos concebir una idea global de ellas.

Determinación del umbral de escorrentía

El umbral de escorrentía (P_0) es la altura mínima de lluvia necesaria para que se produzca escorrentía superficial. Para su cálculo se han seguido las indicaciones marcadas por la Instrucción de carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial".

La Instrucción 5.2-IC entró en vigor el 14 de mayo de 1990 y en ella se recogen una serie de recomendaciones y disposiciones a seguir para

proyectar, construir y conservar adecuadamente los elementos de drenaje superficial de una carretera.

En lo referente al umbral de escorrentía, éste se halla básicamente en función de cuatro parámetros:

1. Usos del suelo (o uso de la tierra).
2. Tipo de suelo (o grupo de suelo).
3. Pendiente.
4. Características hidrológicas.

Una vez han sido realizadas las cuatro cartografías necesarias para poder obtener el umbral de escorrentía, han sido superpuestas, hallando las diferentes áreas que delimitan los diversos usos del suelo (o uso de la tierra) con distintos tipos de suelo (o grupo de suelo), con la pendiente y con las características hidrológicas. En el momento que tenemos halladas las dimensiones de cada área con sus características concretas, únicamente hemos de otorgarles un valor, el cual es extraído de la tabla de estimación inicial del umbral de escorrentía (P_0) de la Instrucción 5.2-IC.

Finalmente, el umbral de escorrentía corregido (que es el necesario para la realización de los cálculos de caudales punta), se ha obtenido con la media ponderada, según el área, de los diferentes umbrales de escorrentía producto de las combinaciones de los cuatro parámetros recogidos en la Instrucción 5.2-IC, siendo este valor multiplicado por un coeficiente corrector, el cual depende de la situación geográfica de la zona de estudio dentro de la península ibérica.

Cálculo de las precipitaciones máximas diarias

Para el cálculo de las precipitaciones máximas diarias de las cuencas estudiadas, se han elegido periodos de retorno de 25, 100 y 500 años. La elección de estos periodos de retorno se ha efectuado siguiendo las directrices del "Plan de acción territorial de carácter sectorial sobre prevención del riesgo de inundación de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA)" elaborado por la Dirección de Urbanismo y Ordenación Territorial de la Generalitat Valenciana.

Cuenca	Pou Roig	Quisi	Completa	Unidades
Área (A)	24.787	19.201	44.242	km ²
Perímetro (P)	23.018	21.212	28.658	km
Longitud cauce máximo (La)	10.82	9.923	11.173	km
Longitud máxima de la cuenca (Lm)	8.425	8.051	8.646	km
Pendiente media (J)	0.287	0.15	0.226	adimensional
Pendiente media del cauce principal	0.057	0.026	0.055	adimensional

Tabla 1. Parámetros destacables de la caracterización de la cuenca del barranco del Pou Roig, del barranco de Quisi y de la cuenca completa (unión de ambos barrancos).

El cálculo de las precipitaciones máximas diarias se ha efectuado de dos formas:

1. Mediante la aplicación del documento *Máximas luvias diarias en la España Peninsular*, editado por el Ministerio de Fomento.
2. Mediante los registros de las estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio.

Hemos distinguido dos importantes pasos a seguir:

- Selección de las estaciones pluviométricas más próximas.
- Aplicación de la función de distribución de Valores Extremos tipo I (Gumbel) para cálculos hidrológicos.
- Aplicación del Método de los Polígonos de Thiessen para la ponderación de los valores de precipitación máxima hallados.

El hecho de que la cuenca se encuentre en una zona montañosa, sumado al factor determinante de que los datos de las series temporales de las estaciones pluviométricas corresponden a series muy cortas, sobre todo la de Calp Penyó d'lfach, la cual es sólo de 16 años y no posee los datos del mes del último evento catastrófico (no hay datos del mes de octubre de 2007) es un inconveniente. Esto hace que los valores de precipitación obtenidos mediante los registros de las estaciones pluviométricas más próximas a la zona de estudio, así como la aplicación del Método de los Polígonos de Thiessen, sean poco significativos, siendo mucho más fiables los valores de precipitación máxima que se han hallado mediante la aplicación del documento *Máximas luvias diarias en la España Peninsular* editado por el Ministerio de Fomento. Aun así, los valores obtenidos de la estación pluviométrica de Jalón, la que posee una serie más completa y larga, son bastante similares a los obtenidos mediante la aplicación de dicho documento (ver tabla 2).

Nombre de la cuenca	Periodo de retorno (T)	Precipitación máxima diaria m(X) mm
Barranco del Pou Roig	25 años	186 mm
	100 años	253 mm
	500 años	342 mm
Barranco de Quisi	25 años	186 mm
	100 años	253 mm
	500 años	342 mm
Unión de Quisi y Pou Roig	25 años	186 mm
	100 años	253 mm
	500 años	342 mm

Tabla 2. Resultados finales de precipitación máxima en mm según los periodos de retorno de 25, 100 y 500 años para cada una de las cuencas.

	Barranco del Pou Roig	Barranco de Quisi	Unión de barrancos	Cuenca de El Saladar	Unidades
Q_{25}	77	114	191	36	m ³ /s
Q_{100}	155	200	358	56	m ³ /s
Q_{500}	282	328	620	84	m ³ /s
(Tc)	3.16	3.43	3.25	1.09	horas

Tabla 3. Resultados finales de caudales punta en m³/s para periodos de retorno de 25, 100 y 500 años para cada una de las cuencas.

Cálculo de caudales punta

Generalmente, el cálculo del caudal punta en este tipo de trabajos se realiza empleando hidrogramas. Concretamente, este proceso consiste en hallar el hietograma de la precipitación máxima considerando la duración tipo mediante curvas intensidad-duración-frecuencia, para después calcular el hidrograma partiendo de ese hietograma.

Para la creación de éstos se necesitan datos de la precipitación máxima diaria y la duración de la lluvia. El primero de ellos ya se ha calculado en el epígrafe anterior, sin embargo, carecíamos de los datos de duración de lluvia. Ante esa circunstancia, se tomó la decisión de calcular los caudales máximos mediante el método racional, en el que no es necesario conocer la duración de la precipitación.

No sólo la escasez de datos de duración de lluvia ha sido el factor determinante para la elección del método racional, sino que el documento PATRICOVA también emplea en sus cálculos dicho método, así como la Instrucción 5.2-IC aconseja el empleo del método racional para el cálculo de caudales. De la misma forma, el documento *Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local*, editado por la Agencia Catalana del Agua, también aconseja el empleo del mismo en el caso de que carezcamos de datos de duración de las precipitaciones.

La formulación del método racional que se ha empleado es la propuesta por Témez en 1991. Así, los resultados obtenidos de caudales punta según periodo de retorno (Q_{25} , Q_{100} y Q_{500}) y

tiempos de concentración (Tc) son los siguientes (tabla 3):

Lo más importante a señalar en este capítulo, además de los datos de caudales punta obtenidos, ha sido el hecho de que los resultados de los cálculos de caudales punta para las cuencas del barranco del Pou Roig y el barranco de Quisi, hallados independientemente y posteriormente sumados, son similares a los resultados de los cálculos obtenidos considerando a los dos como una única cuenca, siendo el valor para los Q100 y Q500 ligeramente mayor debido a que la superficie de la cuenca completa es un poco mayor. Sabiendo que los tiempos de concentración de las dos cuencas son similares podemos deducir que los cálculos realizados son muy fiables.

Modelización de los datos obtenidos

En este estudio se ha querido modelizar el tramo final donde se unen los barrancos de Quisi y Pou Roig hasta su desembocadura en la playa (figura 6), ya que este tramo, sin duda alguna, es el más conflictivo, como bien se ha podido comprobar en eventos anteriores. Hasta las inundaciones acontecidas el 12 de octubre de 2007, el encauzamiento de estos dos barrancos consistía en un canal de hormigón pulido a cielo abierto que recorría toda la calle La Niña hasta su salida al mar. Como bien se pudo comprobar, esta medida preventiva no fue suficiente para evacuar la cantidad de m³/s que llegaron a dicha canalización, convirtiéndose la calle La Niña en un improvisado canal, que no sólo vertía agua al mar, sino también a las zonas colindantes con una menor altitud, más concretamente a la cuenca situada al este, las salinas de El Saladar.

Después de las catastróficas inundaciones sucedidas en Calpe el 11 y 12 de octubre de 2007, la Confederación Hidrográfica del Júcar decidió ampliar la capacidad de desagüe del tramo de 353 metros lineales desde la confluencia de los barrancos de Quisi y Pou Roig hasta la desembocadura en el mar. La solución propuesta consistió en la construcción de un nuevo cauce soterrado por debajo de la calle La Niña situado a una cota inferior y en paralelo al existente. Dicho cauce se realizó mediante la implantación de marcos prefabricados de dimensiones de 6,75 x 1,75 metros en el interior, colocados en línea (figura 7). Debido a la baja capacidad portante del



Figura 6. Imagen vía satélite del tramo donde confluyen los barrancos de Pou Roig y Quisi en la calle La Niña de Calpe.

terreno de algunos de los tramos donde se iban a situar los marcos (mayoritariamente arcillas y fangos limosos) y al elevado peso de los mismos (24 tn), se optó por la realización de columnas de grava atadas por un encepado, también de gravas, sobre el cual se ejecutó una losa. Una vez finalizada la cimentación, se prosiguió con la colocación de los marcos sobre dicha losa.

La misión de este nuevo encauzamiento soterrado era ampliar en $35 \text{ m}^3/\text{s}$ la capacidad de desagüe de las cuencas de los barrancos de Pou Roig y de Quisi, para así evitar futuras inundaciones en la zona. El coste del mismo y de unas leves actuaciones de limpieza y acondicionamiento de algunos pequeños barrancos situados aguas arriba de las cuencas se presupuestó en 7.905.326,96 €, según la Confederación Hidrográfica del Júcar.

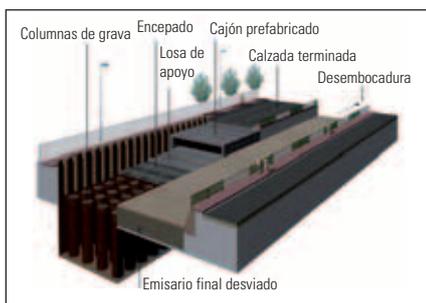


Figura 7. Imagen virtual de la solución de encauzamiento con marcos prefabricados en paralelo al encauzamiento a cielo abierto en la calle La Niña. Extraída del libro "Lluvias Octubre 2007" de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

La herramienta informática utilizada para la modelización de los datos ha sido el programa HEC-RAS, cuyas siglas provienen de "Hydrologic Engineering Center" y "River Analysis System". Dicho programa ha sido creado por el US Army Corps of Engineers.

Para la realización de esta modelización se ha utilizado los datos obtenidos anteriormente, más concretamente los caudales punta para periodos de retorno de 25, 100 y 500 años hallados según datos de precipitación máxima calculados mediante el documento *Máximas luvias diarias en la España Peninsular*.

Debido a que el nuevo canal realizado con prefabricados está diseñado para evacuar $35 \text{ m}^3/\text{s}$, y que éste se haya soterrado con una cota inferior al canal a cielo abierto, se ha decidido restar estos $35 \text{ m}^3/\text{s}$ a los diferentes caudales punta utilizados, ya que este canal se llenará antes evacuando al mar el máximo de su capacidad. De esta forma se ha podido realizar una simulación más exacta del canal a cielo abierto.

Además de los caudales punta hemos necesitado datos de las dimensiones de las 37 secciones (figura 8), una cada 10 m, que hemos introducido en el HEC-RAS. Estas medidas han sido tomadas en campo mediante distanciómetro láser y cinta métrica (para corroborar los resultados), pese a las dificultades de acceso al canal.



Figura 8. Fotografía del canal desde el interior del mismo, tomada cuando se realizaron las mediciones a día 2 de agosto 2012. Autor: Josué P. Ordóñez García.

Para todos los periodos de retorno estudiados, incluso el de 25 años, la altura de la superficie de lámina agua (Water Surface para 25 años) supera con creces la altura de los márgenes del canal

Las secciones del canal se pueden clasificar resumidamente según dos criterios: su geometría y el hecho de que sean de un tramo de cauce a cielo abierto, o que por el contrario, se hallen cubiertas por puentes o tramos peatonales.

Según la geometría de las secciones podemos diferenciar dos tipos muy significativos:

- Desde la sección 36, situada la primera aguas arriba, lugar donde ya han confluído los dos barrancos, hasta la sección número 5. En este tramo del canal las secciones transversales son de dimensiones prácticamente iguales y la forma de la sección es asimétrica.
- De la sección 4 a la 0, esta última situada en la desembocadura del canal en la playa de Arenal Bol. Estas secciones transversales son simétricas, aunque tienen dimensiones diferentes, ya que el cauce se va ensanchando ligeramente hasta el final del mismo.

Por otro lado, sabemos que el canal, pese a ser a cielo abierto, tiene cuatro zonas que se encuentran cubiertas. Dos de ellas son de pequeña envergadura, tratándose de dos pequeños puentes que cruzan el canal. Sin embargo, las otras dos son mucho mayores y tienen mucha más importancia, ya que una de ellas es el paseo marítimo de la ciudad y la otra es la avenida de los Ejércitos Españoles, una de las principales arterias de comunicación de la población, la cual se encuentra situada al comienzo de la canalización.

Conclusiones de la modelización realizada con HEC-RAS

Una vez finalizada la modelización con el programa HEC-RAS del tramo final de la cuenca completa (figura 9), desde la unión de los barrancos de Quisi

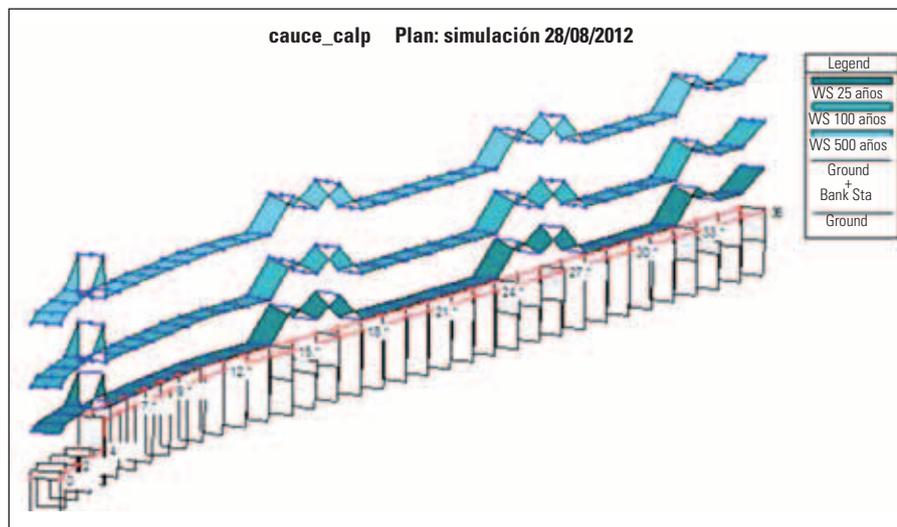


Figura 9. Representación en perspectiva del cauce estudiado y de la superficie de agua para periodos de retorno de 25, 100 y 500 años.

Al encontrarse toda la superficie de lámina de agua a una altura superior a la de los márgenes del cauce, se producirá un desbordamiento de toda la geometría del canal, desplazándose la diferencia de altura de agua hacia las zonas colindantes

y de Pou Roig hasta su desembocadura en el mar, se puede observar cómo para todos los periodos de retorno estudiados, incluso el de 25 años, la altura de la superficie de lámina agua (Water Surface para 25 años) supera con creces la altura de los márgenes del canal (indicados en color rojo). Además de esto el agua pasa por encima de todas las superficies que cubren distintos tramos del canal, siendo estas superficies carreteras, paseos, aceras... Estos tramos del canal se pueden distinguir claramente, no sólo por el color gris que les representa en la figura, sino también por los resaltes que sufre la lámina de agua en dichos tramos, debidos a que el agua pasa por encima de ellos para todos los periodos de retorno estudiados.

En conclusión, al encontrarse toda la superficie de lámina de agua a una altura superior a la de los márgenes del cauce, se producirá un desbordamiento de toda la geometría del canal en sus 353 metros de largo, desplazándose la diferencia de altura de agua hacia las zonas colindantes, produciendo numerosos daños en

la calle La Niña, que actuará de improvisado cauce, así como en la avenida de los Ejércitos Españoles, que será atravesada por el “nuevo cauce”. Además de esto, se volverá a realizar un gran aporte de agua dulce a El Saladar, ocasionándose los problemas ya mencionados.

Conclusiones de las obras de emergencia en los barrancos de Quisi y Pou Roig en Calpe (Alicante)

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la Confederación Hidrográfica del Júcar, las obras de emergencia en los barrancos de Quisi y Pou Roig tuvieron como objetivo duplicar la capacidad de desagüe del cauce en un tramo de 353 metros lineales desde la confluencia de los barrancos de Quisi y Pou Roig hasta la desembocadura en el mar. Para ello se construyó un nuevo cauce por debajo de la calle La Niña, paralelo al existente, que ampliaba en 35 m³/s la capacidad de desagüe.

De estas obras de emergencia, según los resultados obtenidos de los cálculos de los

caudales punta, se podría decir que presentan una utilidad discutible, ya que cuando se habla de duplicar la capacidad de desagüe ampliándola en 35 m³/s, parece totalmente insuficiente debido a que la capacidad de desagüe se quedaría en tan sólo 70 m³/s, valor que puede considerarse escaso si se compara, aunque sea únicamente, con los 191 m³/s calculados para un periodo de retorno de 25 años. Por otro lado, comparándolo con los resultados del caudal punta para un periodo de retorno de 500 años, los 70 m³/s resultan un tanto insignificantes en relación con los 620 m³/s, un valor casi nueve veces mayor.

Agradecimientos

A los Drs. José Miguel Andréu y Jorge Olcina por su ayuda y por iniciarme en este campo de investigación, así como a los Drs. José Andrés Torrent y Leticia López por continuar guiándome en esta materia.

Bibliografía

- Alfaro, P., Andréu, J. M., Estévez, A., López Arcos, M., Soria, J.M., Yébenes, A., Castro, J. M., González Fernández, J., González Herrero, M., López Gómez, F. J. y López Martín, J. A. (1999). *Itinerario Geológico Litoral entre Benidorm y Calpe*. Universidad de Alicante.
- Ayala-Carcedo, F. y Olcina Cantos, G. (eds.) (2002). *Riesgos naturales*. Ed. Ariel. Barcelona.
- Confederación Hidrográfica del Júcar (2009). *Libro Lluvias de Octubre 2007*. <http://www.chj.es/es-es/ciudadano/libros/Paginas/Indice.aspx?Libro=Lluvias%20de%20Octubre%202007>
- Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (2002). *Plan de acción territorial de carácter sectorial sobre prevención del riesgo de inundación de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA)*. Conselleria de Obres Públiques, Urbanisme i Transports de la Generalitat Valenciana. <http://www.rinamed.net/docs/prof/patricova/PATRICOVA>.
- Dirección General de Carreteras (1999). *Máximas llluvias diarias en la España Peninsular*. Ed. Ministerio de Fomento. Madrid, 21 pp. + 25 mapas.
- Dirección General de Carreteras (1990). *Instrucción de carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial"*. Ed. Ministerio de Fomento. Madrid.
- Pujadas Ferer, J. (2002). *Las inundaciones en España: impacto económico y gestión del riesgo*.
- Témez, J. R. (1987). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales* (2ª ed). Dirección General de Carreteras. Ministerio de Obras Públicas. Madrid.
- US Army Corps Engineers. Hydrologic Engineering Center (2005). *HEC-GeoRAS GIS tool for support of HEC-RAS using ArcGIS. User's Manual version 4*. <http://www.hec.usace.army.mil>
- US Army Corps Engineers (2002). *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual. Versión 3.1*. Hydrologic Engineering Center. Eds. Davis. EE.UU. <http://www.waterengr.com/HECRAS.html>

La tormentosa relación de menosprecio cultural, científico, técnico y geotécnico entre España y su patrimonio histórico

España es el tercer país del mundo que peor cuida su patrimonio. ¿Regalamos un libro de Historia a nuestros arrogantes dirigentes? En este artículo se denuncia cómo algunos terrenos y monumentos han reaccionado ante la enérgica perturbación que supone para su existencia la ejecución de una fase de quinientas viviendas alrededor, la nueva acometida de aguas de una población entera en semanas o meses, o la creación de un mundo de galerías, compactaciones y servicios a su alrededor o una pavimentación con subbase granular compactada al 100% del Próctor y otras barbaridades heredadas de la ingeniería civil y aplicadas donde no se debe. Mientras estos despropósitos se siguen realizando, los arquitectos municipales, de fundaciones o de las comunidades autónomas responsables, desconocen estas interacciones ruinosas.

TEXTO | Antonio Aretxabala, geólogo.

No es por su bien, es por el nuestro. Un país sin memoria está condenado a repetir la historia. Vivir sobre el suelo que sustenta la segunda mayor riqueza natural, arquitectónica, cultural, artística..., del mundo, parece ya un milagro. Somos el país del "urbanismo bulldozer". Aplicar inadecuadamente las técnicas energéticas y agresivas del siglo XXI para "adecuar" y "reorientar" a esos tesoros del siglo X, XII o XX ha supuesto, en ocasiones, un carísimo destrozo.

Después de la desamortización de Mendizábal, el saqueo de las tropas de Napoleón, nuestras rabiosas guerras carlistas, el ataque a los monumentos y tesoros destinados al culto antes de la guerra, joyas y obras de arte religioso ardieron por contener alguna imagen sagrada; la propia guerra civil arrasó, una dictadura que usó los conventos e iglesias como campos de concentración y como cuadras (figura 1). Pantanos que han engullido verdaderas joyas de la historia... España ¿qué has hecho? Entramos en la CE en 1986, ha pasado más de un cuarto de siglo, muchos años sin que casi nadie haya vuelto su mirada a esos tesoros olvidados, abandonados, saqueados, víctimas del gamberrismo, pillaje, con grafiti inadecuados... (figura 2), pero lo peor de todo: maltratados. Van más de doscientos años perdidos. La mirada atónita del extranjero con un mínimo de cultura que nos visita no sale de su estupor. Sabe mejor que nosotros que ahí está nuestro futuro. La modernidad no ha solucionado mucho esta catástrofe nacional, cuando nos hemos puesto el mundo por montera y

hemos decidido ponernos *¡manos a la obra!*, hubiese sido casi mejor habernos quedado quietos...



Figura 1. Iglesias, pasos, cuadros, esculturas..., quemadas (1934).

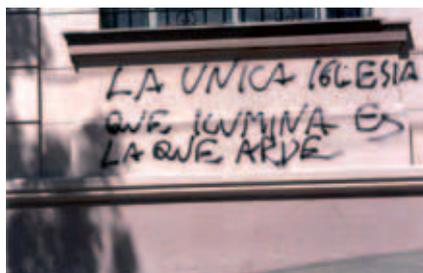


Figura 2. Sin palabras (2012).

España ya es el primer país de Europa y el tercer país del mundo que peor trata su patrimonio después de EE. UU. y Perú. Parte de la clase

Palabras clave

Patrimonio histórico, Navarra, Álava.

política española (figura 3) ya es considerada por los españoles como uno de los problemas nacionales, incluso por delante del terrorismo. ¿Hasta cuándo vamos a permanecer pasivos presenciando este desastre?



Figura 3. "Personalidades" visitan el monasterio de Fitero (Navarra).

En todos los casos en que son llamativos los destrozos derivados de una inadecuada reurbanización, restauración o reincorporación del monumento a las nuevas solicitaciones de nuestra época, queda manifiesta la ignorancia de las personas que participan en el proyecto a la hora de comunicarse y establecer el necesario compromiso con el espíritu para el que se pensó tal o cual edificio patrimonial, iglesia, convento... Cuestión que sólo se puede solventar a través de una especial sensibilidad que otorgan la cultura y el pensar abnegado.

En la figura 4, Javier Sancho explica las obras de restauración del monasterio de Fitero (figura 5) a parlamentarios y personalidades para



Figura 4. El jefe de la sección de patrimonio arquitectónico, Javier Sancho, dirige con esa especial clarividencia y sensibilidad de la que aquí hablamos, y que queremos divulgar, las obras de restauración del patrimonio de Navarra, en una visita al monasterio de Fitero (Navarra).

que lo entiendan. Las terrazas holocenas de gravas heterométricas “los sustentan”, como hacen con el propio monasterio. El terreno bajo el monasterio es una intermitencia de arenas y gravas en lentejones de extensión horizontal y vertical variable. Los antiguos constructores se cuidaron mucho de apoyar los elementos estructurales sobre las gravas; antiguos, y en este caso también modernos, todos, un ejemplo a seguir.



Figura 5. El monasterio de Fitero (Navarra).

Esta comunicación entre los proyectistas actuales y los antiguos constructores a través de las piedras, del suelo, de la dinámica hídrica, de la geología en general, comienza ya en el más incipiente de los conocimientos requeridos para afrontar con éxito una recuperación, además es la punta de lanza de todo lo que vendrá después en el proyecto y se apoyará en ello: el conocimiento del terreno que sustenta nuestro patrimonio, cuyo significado va más allá de lo puramente geotécnico. Lo vamos a ver en este artículo, aunque lo geotécnico juega como traductor de aquel espíritu inicial un papel protagonista, es también a través del gesto del terreno que se puede alcanzar lo espiritual que inspiró ese lugar, cuestión tan importante o más que el mero conjunto de cifras relativas a la geotecnia: granulometría, plasticidad, deformabilidad, capacidad portante o resistencia.

Si no se es consciente de estas aseveraciones relativas a la ubicación geológica y geográfica de los antiguos lugares de culto, retiro de paz o estrategia guerrera, la aplicación de la tecnología del siglo XXI de forma inadecuada puede acarrear un destroz mayor que el que se quiere solucionar. Intentar que de una vez Iglesia y Estado remen en la misma dirección parece tarea perdida. Y eso nos cuesta muy caro.

No es fácil hacerse consciente de ello cuando se va a someter a un edificio patrimonial antiguo a la reconversión y adecuación, estructurado en toda su expresión, en todo su gesto; es todo un renacer que articula y consume la mano del hombre moderno, no la del antiguo que es su autor, y esto acarrea unas responsabilidades, una perspectiva y unas consecuencias, que serán acertadas en la medida en que el hombre moderno sea capaz de comprender al antiguo; algunos modernos geólogos, ingenieros y arquitectos parecen no saber nada de esto, comportándose como autores en vez de como responsables de confianza a los que se les ha encomendado la tarea de hacer respetar y perdurar la obra. Un error.



Figura 6. El centro Botín de Santander, proyecto polémico (Cesar Pelli).

Es muy difícil hacer respetar una “bufonada” con pretensiones de immortalizarse, pero también lo es un final sin pretensiones con las grietas que denuncian unas deficiencias técnicas sonrojantes. Un espacio urbano disonante, chocante o rompedor de la armonía característica de un entorno, tiene muy difícil erigirse en objeto de respeto; no sería la primera vez que se crea un auténtico fantasma arquitectónico de un entorno con identidad y personalidad (figura 6 y 7).

A los ciudadanos hay que tomarlos en consideración, forman parte del patrimonio (UNESCO). La memoria colectiva es un valor fundamental de apreciación de un entorno, de un edificio, de un paisaje, de una historia.



Figura 7. Sevilla, a punto de perder su prestigioso sello de la mano de la especulación: podría no seguir siendo “patrimonio de la humanidad”, otro polémico proyecto de César Pelli para CAJASOL-CAIXABANC.

Las provincias de Álava y Navarra son el escenario de un viaje al interior más íntimo de nuestros monumentos, vamos a escucharlos; intentaremos comprender un lenguaje no articulado,

pero gestual, que denuncia un maltrato sistemático, sobre todo en las últimas décadas (figura 8). Al ir creciendo, nuestras ciudades, pueblos, aldeas, se han ido urbanizando a veces de manera muy agresiva, produciendo no sólo desperfectos, deformaciones, roturas, humedades y reventones, sino que incluso a veces hemos llegado a la ruina.



Figura 8. Nada que comentar.

No deja de ser paradójico: se realiza este trabajo con estas dos comunidades como telón de fondo, las dos son modélicas, ambas con departamentos y fundaciones específicas muy efectivas, comprometidas y que velan por mantener vivo este patrimonio en la UVI. Algún día, una política despierta acometerá la tarea de socorrerlos y librarlos de esta catástrofe nacional. De momento ellos, los técnicos alaveses y navarros, con bastantes menos medios que otros sectores mucho más derrochadores, inefectivos y contra-productores, obran no pocos milagros.

Álava y Navarra son justamente las provincias que mejor tratan a su patrimonio, lo cual pone de manifiesto lo mucho que hay que mejorar; pero más aún muestran lo que otras comunidades con patrimonio tan rico o más que Álava y Navarra, deben aprender y avanzar. Por aquí los monumentos después de su restauración renacen, suelen ser jóvenes; el gran problema que nos persigue es que hay ejemplos que han acabado en los tribunales por nacer viejos, aún más viejos que como estaban, y uno de los grandes problemas que nos lleva a ello es el desconocimiento del terreno sobre el que se asientan, su dinámica e interacción con el propio monumento; y es que no se pueden desligar.

Contrariamente a esa parte oscura, hay grandes éxitos y ello hay que resaltarlos. Hay ejemplos de muy buena integración del tesoro monumental en el marco que se le dio para residir, allí donde nació, vivió y hoy cumple una función administrativa, turística, urbana o cultural; estos ejemplos excelentes llevan el sello común de que los técnicos involucrados en su rehabilitación, restauración o nuevos usos, conocieron de alguna manera (a veces inconsciente o con ayuda de traductores geólogos, ingenieros, arqueólogos o arquitectos) ese lenguaje gestual. Si tuviésemos que destacar alguno, éste sería sin

duda el trabajo que se realiza en la catedral de Santa María la Real de Vitoria; aunque sólo sea por el gran acierto que supone el haber considerado que los usuarios están incluidos en los criterios de valoración del patrimonio, determinados así por las cartas de restauración y política cultural de la UNESCO. Un gran ejemplo a seguir.

Desde este punto de vista, Álava y Navarra son dos comunidades hermanas, mucho más cercanas de lo que creen sus ciudadanos, y también sus capitales. Vitoria y Pamplona (ambas amuralladas) comparten esa historia en las piedras y en las rocas que va más allá de la geología, la arquitectura o el clima, su similitud climática, paisajística y de uso del suelo, la piedra, el tipo de roca que las sustenta..., y muchas cosas más.



Figura 9. Sacristía de la iglesia de San Félix de Mendaza (Navarra).

El presente artículo nace como resultado de una conversación sobre las nuevas circunstancias que rodean la vida de nuestro patrimonio histórico, en especial de nuestras iglesias. De hecho, la conversación se produjo un frío día de invierno en el interior de la iglesia de Mendaza (figura 9), en Navarra, ya casi entrando hacia Álava, dedicada a San Félix, una de las iglesias estudiadas, entre otras cosas por las acentuadas patologías desencadenadas en las últimas décadas, todas coincidentes con obras de infraestructura, muy violentas para la memoria de ese subsuelo que la sustenta.

Allí charlamos el párroco, personas del ayuntamiento y del servicio de obras del Arzobispado de Pamplona y Tudela, ante las evidencias de cómo la modernidad ha introducido una serie de fenómenos y circunstancias que a nuestras iglesias de siglos anteriores les resultan como mínimo "extrañas". Y ante ellas su reacción: a veces como la de un ser vivo que no sabe hacia dónde dirigirse, como pidiendo ayuda en un lenguaje mecánico, ¿quizá también arquitectónico?

Nuestros edificios históricos y su proyecto nos preceden, y puede seguir proyectándose en el tiempo sin desviarse del espíritu para el que fueron pensados (figura 10); esto se llama cultura. Y si lo que queremos es que jueguen otro papel (figuras 11 y 12), tampoco debemos olvidarnos para qué y por qué se crearon; son



Figura 10. Restauración del conjunto monumental de Ujué (Navarra).

nuestra herencia y, por lo tanto, somos responsables de su estado y cuidado. Ninguna iglesia se pensó para el bullicio, ningún convento para una vida de estrés, por eso sus lugares originales eran tranquilos, de baja energía mecánica y alta energía espiritual.



Figura 11. San Miguel de Ujué, siglo XIII (Navarra). Un buen refugio para el ganado y aperos de labranza.

Seguramente seamos nosotros los que nos vayamos antes, pero nuestro mensaje, al igual que el de los constructores que nos precedieron, puede quedarse. La importancia que le damos a nuestros conventos e iglesias puede ser estrictamente estética o, a lo sumo, cultural, pero cultural es también que no deberemos olvidar, con una mente libre de prejuicios, la idea que generó su existencia y el hecho de que hoy perduren materializados en forma de edificio, o dentro de uno de los lenguajes de la arquitectura.



Figura 12. Iglesia románica: un buen apoyo para contenedores de basura.

Nuestros edificios históricos se pensaron para cumplir con su cometido en su época; quizá algún arquitecto o maestro constructor intuyó una serie de cambios y los plasmó en su obra. Pero probablemente nunca se imaginaron la capacidad del hombre moderno para concentrar energía en la medida en que ahora lo hacemos.

Se pueden concentrar por centenas o miles los caballos de potencia en cualquier aparato de obra que no levanta un metro del suelo, ¿qué no podrá transmitir un rodillo vibrante de varias toneladas? Pero ello genera un inconveniente del que ahora comenzamos a ser conscientes: tanta energía concentrada y liberada cumple una función muy específica.

Por ejemplo, en la compactación de nuevas conducciones, la pavimentación de los cascos históricos, la urbanización de los alrededores de nuestros templos, se ven cada vez más fagocitados por unas urbes voraces; pero ¿cómo podemos encerrar la energía liberada dentro de unos límites sobre los que queremos que actúe sin interferir en otras zonas? ¿Podría desencadenarse una contra-reacción no deseada como respuesta? Es una metáfora, pero no se aleja de la verdad: hablamos de nuestros edificios como de seres vivos. No andamos muy lejos de la realidad al actuar así, verdaderamente nuestros edificios respiran, y no son pocas las veces que los ahogamos, maltratamos o matamos.



Figura 13. San Martín de Estavillo (Álava). Décadas sin respirar.

Por ejemplo, el intercambio de agua en estado vapor es una actividad que humanos, animales, vegetales y edificios compartimos; un asfaltado alrededor de una iglesia aborta la capacidad de intercambio de humedad entre el terreno, como elemento estructural u órgano específico del edificio cuya función es sustentar e intercambiar aire, agua, sales, vibraciones... con el exterior; así que ese vapor buscará por dónde salir, y lo hará por los poros de la piel: por la mampostería; ahí aparecen las manchas de humedad, las eflorescencias, los intercambios iónicos con sustancias presentes en la fábrica, en los cementos modernos, en los excrementos de aves y, finalmente, las roturas de sillares o ladrillos, las patologías (figura 13). Son muchas las ocasiones en las que una visión orgánica de nuestros edificios históricos nos ayuda a comprenderlos mejor.

Y como en la vida también hay ejemplos a seguir, he aquí uno de ellos: el día 15 de febrero de 2012, la siguiente carta al director apareció en *Diario de Navarra*, sorprende en una época en la que no es fácil encontrar un diamante, buscando en el filón en el que abunda lo estéril. Pero, a veces, sucede, y te encuentras con ese diamante;

¿Por qué no invertir en cultura?

A todo el mundo le parece correcto que la cultura sea el sector más castigado en las inversiones de la Administración. Nadie discute que sanidad y educación son prioritarias, y naturalmente la cultura ocupa un lugar muy secundario. Esta evidencia obedece a la idea de que la cultura es algo así como "el adorno" de la sociedad, y con dificultades por sobrevivir, nadie está para pensar en "adornos".

Sin embargo, la falta de cultura conduce siempre a la mediocridad, y sin ella, la aspiración de mejorar se ve sustituida por otras muchas medianías. La mediocridad conduce no pocas veces a la corrupción, y ésta al dete-

riorio general, anticipo del desastre. Recordando a nuestros gobernantes del inicio de la democracia, comprobamos que generalmente eran más sensatos y menos arrogantes. Casi todos ellos, de derechas, de izquierdas y de centro eran sobre todo mucho más cultos.

Esta era una condición generalizada. Hoy en día casi todos lo son menos que aquellos y quizás ésta circunstancia esté en el origen de muchas estrategias que parecen conducirnos a formas de entendimiento social más alejadas y difíciles, mientras algunos de ellos exhiben sin pudor sus carencias.

Ser culto significa conocer la



historia, intentar entender el mundo, comprender al hombre y sus conductas, ser consciente de las debilidades humanas y de la capacidad de superación individual y colectiva.

Ser culto implica conservar el patrimonio material e inmaterial, defender la identidad individual y colectiva, tener valentía,

sensibilidad, cortesía, dureza, amabilidad, perseverancia. Saber que hay cosas que valen más que el dinero y empresas que movilizan más que un acontecimiento mediático o deportivo. Comprobar que el esfuerzo siempre consigue cosas mejores y que el tiempo es un valor intrínseco de todo lo que merece la pena.

La cultura siempre impone respeto, al igual y al diferente, conduce a resolver los conflictos entorno al diálogo y valorar el esfuerzo por progresar como el más preciado recurso, entendiendo el fracaso como parte experimental imprescindible del avance.

Cultura es sinónimo de civilización y progreso intelectual. Como decía Paul Valéry, la educación instruye y la cultura fortalece el espíritu. La cultura y no la instrucción nos permite sobrevivir en condiciones precarias de

escasez material o indigencia espiritual; es lo que sobrevive a las generaciones y a los pueblos. Es lo que construye la historia.

Es verdad que la inversión en cultura tiene efectos a largo plazo pero si al proyectar un puente se hace considerando una avenida de agua que pueda suceder en un plazo de 500 años y consideramos razonable, incluso imprescindible esa condición ¿por qué no va a ser igualmente sensato considerar la eficacia de la inversión en cultura en el dilatado margen de tiempo de una o dos generaciones?

Es la naturaleza de esta sociedad tan instruida pero tan poco cultivada la que ha modificado los objetivos del progreso al que aspira, provocado una crisis sin precedentes de la que no saldremos más que con una enorme inversión en cultura.

INMACULADA JIMÉNEZ CABALLERO

una carta pequeña que encierra un grandísimo valor sienta muy bien después de mendigar por las reiterativas columnas políticas, económicas, deportivas, rosas..., ninguna alegría, pero tuvo que ser una carta al director la que aportase el brillo de toda la tirada, el brillo del que buena nota debiera tomar a quien va dirigida, señor director, pues estamos muy necesitados de estas perspectivas. Además, la persona firmante se dedica también, dentro de la Arquitectura, al estudio y la ejecución de restauraciones del patrimonio, lo cual inspira más esperanza; a veces, nos llevamos también una alegría.

Nuestra experiencia: los edificios hablan, vamos a prestarles un poco de atención

Después de muchos años, en los que el que suscribe ha trabajado desde la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Navarra, en el campo de la geotecnia y en estrecho contacto con técnicos y entidades dedicadas a la conservación de nuestro patrimonio histórico, en especial a aquel que atañe a nuestros inigualables y valiosos edificios religiosos, se ha puesto de manifiesto la reciente aparición de un nuevo fenómeno en lo que al origen de serias patologías se refiere: las violentas vibraciones de origen humano en el terreno.



Figura 14. San Juan de Estella (Navarra). Colapsos de suelo por obras adyacentes.

Los fenómenos testificados como colapsos recientes, estudiados en varios monumentos navarros y del País Vasco (figura 14), manifestados desde mediados del siglo XX en edificios de, a veces, casi un milenio de antigüedad, y en terrenos que no son catalogados tradicionalmente como colapsables, no son solamente una coincidencia simultánea a la utilización y aplicación del concepto o cualidad de colapsable, ahora ya más de moda.

Los conceptos referentes al terreno como *colapsable*, *hinchable*, *plástico*, etc., pertenecen a una época muy reciente en nuestra historia lingüístico-técnica, no así los fenómenos naturales a que apuntan dichos significantes, pues éstos eran conocidos y evitados en lo posible, aunque no aparezcan de forma escrita y con claras definiciones, aunque no se ensayasen y cuantificasen, como ahora podemos hacer, dentro de un sistema cegesimal y normativa sectorial.

Y todo ello, el especialista moderno en geotecnia lo puede testificar. Los antiguos constructores muestran a través de sus obras un conocimiento para muchos envidiable de esos comportamientos, y una sabiduría más bien intuitiva del tema, pero también basada en la experiencia, un lenguaje recuperable. No así muchos de los modernos arquitectos, proyectistas y empresas de construcción, cuyo acceso a esas informaciones a través de informes geotécnicos, proyectos de instalaciones, etc., forma parte del proyecto global, pero no las entienden.



Figura 15. Ensayo Lambe para estudiar el hinchamiento de un suelo.

Nuestros constructores de antaño supieron articular y armonizar sus obras y sus edificios a los comportamientos que conocían, y que hoy denominamos como potencialmente expansivos, colapsables, plásticos, etc., aunque no tuvieran aparatos Lambe o edómetros (figura 15), ni siquiera un sistema cegesimal o uno internacional de referencia. Pero, por supuesto, ello debería ir acompañado no sólo por esa sabiduría constructiva, sino por una técnica capaz de plasmarla y evitar el abandono de los monumentos (figura 16).



Figura 16. Santa María de Zamarce (Navarra), siglo XII. Décadas de abandono.

Veámoslo en las técnicas de cimentación. Es un proceso conocido por los estudiosos de patologías en edificios históricos que, a partir de ciertas profundidades, el acceso a un substrato de apoyo firme y competente no se culminaba si las excavaciones debían superar una determinada profundidad. El problema era el acceso. El Laboratorio de Edificación ha trabajado en esta especialidad desde hace años en edificios anteriores al siglo XX (e incluso al XII). En muchos de ellos, y si no se podía alcanzar un substrato de roca o terrenos competentes, las patologías han aparecido de una u otra forma, pero en la mayor parte de los casos muy recientemente, después de la segunda mitad del siglo XX.

Son bastantes los casos en que existen terrenos con estratos en los que el estudio geotécnico debe ser solapado al arqueológico, por la peculiaridad de los materiales encontrados, cuyo

interés trasciende lo geotécnico. Se pueden ver en toda Navarra, Álava y, en particular, en los cascos antiguos de Pamplona y Vitoria. Hay edificios que hemos estudiado desde el punto de vista geotécnico y que, o bien se apoyan sobre antiguos cimientos de edificios remodelados (romanos, medievales, renacentistas), bien sobre rellenos tanto cuaternarios como antrópicos, o bien una parte sobre terreno consistente y otra sobre esta naturaleza de rellenos.

En todos los casos se puede observar un factor común: con las tecnologías anteriores al siglo XX, y en buena parte también durante la primera mitad del mismo, a veces se hacía técnicamente imposible que los cimientos de los edificios pudiesen apoyar en toda su extensión horizontal y vertical sobre uno de los dos substratos competentes que el subsuelo presenta en estas zonas. En especial, este fenómeno se destaca en toda la cuenca de Pamplona o de la de Vitoria, ciudades con una geología similar en lo que a efectos geotécnicos se refiere; por supuesto muy en particular los cascos históricos de ambas ciudades.

Tanto sobre las terrazas cuaternarias de gravas redondeadas (local e históricamente denominadas cascajos y almendrones) como sobre las rocas sedimentarias del tipo marga (tufas y cayuelas), no siempre se hacía posible el apoyo completo debido a dificultades de acceso aunque, como se ha podido observar, éste se buscaba; sin embargo, cualquier especialista en arquitectura de restauración puede testificar que no son pocos los edificios que no lo consiguieron, o los que sólo lo hicieron parcialmente.



Figura 17. Parlamento de Navarra, antigua Audiencia.

El Parlamento de Navarra (figura 17) es un edificio apoyado en gravas (cascajos) hasta el inicio de las obras de adecuación a finales del siglo XX. Después de la creación de sótanos se apoyó parte de la nueva estructura en la roca de margas (tufas). Las prisas hicieron que una noche previa a San Fermín se desplomase el muro interior sur. Con el terreno nunca se cuenta, la geotecnia y la hidrología son las “ciencias ocultas” de la construcción. Otra forma más de encarecer las restauraciones. No hubo daños personales, el edificio avisó horas antes; según algunos testigos, chasquidos, crujidos, golpes, se sucedieron durante horas; eran los gritos de ayuda previos al colapso, fácil de entender por cualquiera, pero colapsó.

En algunos casos, el efecto de los esperados asentamientos se solventaba excavando hasta donde se podía y rellenando con mampostería; en otros, se excavaba más extensión horizontal y se repartían las cargas con una distribución que buscaba menor magnitud de peso por unidad de superficie. En ambos casos, el objetivo era que dicha distribución amortiguara en lo posible la aparición de las consabidas deformaciones que vendrían con el tiempo, pero las estructuras más flexibles de madera y mampostería respondían bastante mejor que en los mismos casos que se dieron bajo idénticas circunstancias, con métodos constructivos y arquitectónicos más rígidos.

La aparición de uno de los substratos buscados por los constructores de antiguas épocas era necesariamente alguno de los dos descritos, y parcialmente se consiguió en muchos edificios. Y es al nivel de gravas cuaternarias o cascajo al que apuntan la mayoría de las observaciones realizadas en Navarra y Álava, si las margas (tufas o cayuelas) eran poco o nada accesibles.

Es habitual comprobar la extendida, persistente y saludable tradición constructiva navarra y alavesa, observada en la mayoría de los edificios históricos (y que aún hoy se puede escuchar en boca de no pocos encargados, aparejadores y arquitectos a pie de obra, en algunos pueblos de la zona media, de la Ribera y también de las cuencas) de “bajar al cascajo o al almendrán”, salvando los niveles arcillosos aluviales y eluviales iniciales, o más técnicamente expresado: la sana costumbre de apoyar sobre estas terrazas cuaternarias.

Se puede ver cómo este acceso elemental se llevó a cabo al construir iglesias, palacios, castillos, etc., pudiendo descartar casi categóricamente que se excavase más allá de los 5 m cuando lo que aparece a esas cotas son los primeros niveles de rocas.

Para comprender esto en su completo significado, debemos tener muy en cuenta que esta tradición no era, como actualmente, una opción geotécnica más y una elección de apoyo entre otras, sino una auténtica necesidad constructiva que hoy, en retrospectiva, representa un paradigma en maestría arquitectónica y un desafío a las dificultades que ofrecían unas villas en continua expansión horizontal y vertical, en especial Pamplona, que hasta bien pasado el siglo XX, no salió de las murallas con el primer ensanche; mientras tanto, había crecido en vertical, lo cual trajo con la modernidad no pocos problemas de estabilidad estructural. Hoy, Pamplona encierra en su casco histórico una sorprendente ciudad medieval con edificios de hasta seis plantas.

Pero a veces la necesidad de encontrar un buen apoyo no era satisfecha. Y de esta manera, son los terrenos cuaternarios, en general más porosos y sueltos, los que reciben gran parte de las cargas de los edificios históricos.

Las dificultades tecnológicas y la inexistencia a la sazón de una “moda constructiva” (o paradigma si se prefiere) como la actual (a veces poco justificada) de apoyar sistemáticamente en las rocas subyacentes (aunque no sea necesario), así como las características de los edificios estudiados bajo esta perspectiva, nos llevan a pensar que existieron corrientes geotécnicas precientíficas muy interesantes y a las que se les puede seguir la pista.

La modernidad, los caballos de vapor, las vibraciones, sus consecuencias

Las vibraciones transmitidas al terreno y que reciben los edificios históricos de cualquier ciudad del mundo nada tienen que ver con los que recibían cuando se construyeron. Los terrenos cuaternarios (gravas, arenas, limos, arcillas...) más fácilmente accesibles y, como hemos visto, la mayor parte de las veces receptores de las cargas, son en general más porosos o sueltos que los terciarios o cretácicos que los subyacen (rocas).



Figura 18. Plaza del Caballo Blanco (Pamplona).

Algunos de los edificios con “sobrepeso” más llamativos de la ciudad antigua, como el de la plaza del Caballo Blanco (figura 18), han tenido que ser estudiados y reforzados. Si se consumase la implantación de las inspecciones técnicas, ya no habría que esperar a que ocurran las ya demasiado habituales desgracias para recalzar, reforzar, sostener o, en el peor de los casos, dar por ruina y derribar...

Además del progresivo aumento de peso que provoca la modernidad (también aquí hay un paralelismo con el ser humano) al llenar nuestros edificios antiguos de soluciones estéticas más pesadas, mejores materiales, baldosas, cuartos de baño, añadidos verticales, grandes electrodomésticos, etc., nuestros edificios reciben una carga adicional mecánica externa cada vez que se acomete una nueva obra de infraestructura: VIBRACIONES.

Automóviles, maquinaria de obras públicas, camiones de distintos tipos de basura, etc., son habituales generadores de vibraciones en el terreno; son elementos externos pocas veces tenidos en cuenta a la hora de valorar la salud de



Figura 19. Recalce de una iglesia con micropilotes.

un edificio histórico. Menos aún se tiene presente la vulnerabilidad de los rellenos antrópicos o cuaternarios al reajuste de partículas o colapsos inducidos por tales vibraciones. Pero no es aventurado afirmar que, muchas veces, éste es el origen de las patologías más importantes de todas las mostradas por nuestro patrimonio arquitectónico.

Comienza a ser habitual que la conclusión final de restauración pase por recalzar iglesias (figura 19), conventos, palacios, edificios históricos en general (figura 20), para su futuro uso en nuevas condiciones históricas, económicas y sociales. La pericia, la destreza y la experiencia de un técnico conocedor del problema y con datos basados en la observación directa y en una investigación de campo suficiente, son determinantes para detectar que una patología se ha generado por la contaminación vibracional u otras causas, pudiendo así tomarse las decisiones correctas al respecto y atajar el problema sin tener que destruir parte del monumento. Y esto viene a colación, por la cantidad de deterioro que conllevan algunos estudios.

Podría perfectamente puentearse, en algunos casos muy determinados de inaccesibilidad o peligrosidad, un estudio excesivamente detallado, caro e incluso "esotérico" por el lenguaje y metodología utilizados para explicar las características de la interacción terreno-cimiento. Un

edificio histórico que presente alguna patología y es prácticamente inaccesible desde el punto de vista de la investigación geotécnica, puede dañar o poner en peligro a otros edificios o personas si se acometen trabajos directos en las zonas más vulnerables. Se hacen los estudios para conocer las características de estabilidad, y lo paradójico: a veces deteriorándola precisamente para estudiarla. Si las evidencias de la necesidad del recalce son manifiestas y el conocimiento del medio es notable, un verdadero especialista puede reconocer el origen del problema y proponer soluciones que devuelvan al edificio un estado de equilibrio con el entorno, si éste todavía pudiera lograrse, o una necesidad de adecuación a las nuevas condiciones, si no fuera el caso. Sería un ahorro seguro, basado en la experiencia y en la capacidad de observación, es decir de "hacer ciencia" útil, de prestar atención al lenguaje de los edificios históricos. Pero esperar que esta ciencia se desarrolle en España es casi una utopía.

Para un estudio completo de la magnitud del problema es fundamental conocer el papel que juega la interacción terreno-cimiento, profundidad de apoyo, magnitud de las cargas, tipo de terreno, naturaleza del mismo, humedad y sus cambios estacionales anuales, cambios bajo condiciones extremas como sequías, inundaciones, obras cercanas, tráfico, además de todos los parámetros geotécnicos habituales.

Los cascos antiguos de las ciudades han sido objeto de muchos estudios desperdigados. Pocas administraciones recopilan esta tradición y acervo cultural colectivo. Acometer un estudio en el casco antiguo de cualquier ciudad, villa o pueblo pasa siempre por la búsqueda de precedentes; es una actividad que a veces es, en la era de la comunicación, una tarea perdida, hasta tal punto que el técnico que escribe se ha encontrado con estudios redundantes, muy deficientes o fraudulentos. Un estudio general de este tipo debería complementarse en todas las ciudades

patrimoniales, con un buen conocimiento del terreno de apoyo, estructural, estado de la mampostería, tejados, obras realizadas en distintas épocas, conducciones, etc.; en una palabra, una ITE (Inspección Técnica de Edificios) para ciudades históricas de carácter multidisciplinar.



Figura 21. Panorámica de Santa María de Eunate.

La iglesia de Santa María de Eunate (figura 21), en Navarra, presenta numerosas irregularidades constructivas que hacen de ella todo un símbolo de destreza, habilidades y misterio. Ninguna de ellas supuso un problema de estabilidad para el monumento; nunca se temió por su seguridad. En las diferentes restauraciones se mantuvieron siempre esas heterogeneidades, pocas referencias hay (o muchas pero muy dispares y hasta de lo más extravagantes) a su significado, aún muchas permanecen esotéricas al profano.

El ahorro de recursos a la hora de afrontar estas investigaciones no está reñido con la efectividad de las soluciones. Como es sabido, se han dado casos en que algunos edificios históricos han "requerido" de estudios geotécnicos directos que han derivado en enormes gastos y escasas soluciones, o han sido inviables por algo muy importante y cada vez más a tener en cuenta: la seguridad. La inseguridad e imprevisión, tanto laboral como técnica, se deriva de una falta de perspectiva integrada entre la geotecnia, las estructuras, la prevención, el conocimiento de las artes constructivas con mirada histórica y la familiarización directa: la "complicidad" que se establece entre el técnico actual y el mensaje que desde el pasado envía el edificio histórico. El técnico debe saber "comunicarse" con el edificio, debe saber leer en sus paredes, en sus pilares, en sus grietas, sus fisuras, sus manchas de humedad. Cada uno de esos detalles conforman el epílogo de una serie de procesos que han confluído en esa iglesia, en ese palacio, ese hotel, y ahí han impreso su letra; si un proceso determinado supera el umbral de lo estético (una fisura puede gustar o molestar) entrando de lleno en el campo de lo patológico, es también un mensaje del edificio en su lenguaje mecánico, y alguien debe saber leerlo.

Así, a veces los estudios de la patología del terreno podrían ser perfectamente justificados como indirectos si se garantizase tanto la seguridad del propio patrimonio como la de las personas que debieran ejecutar trabajos peligrosos y, por

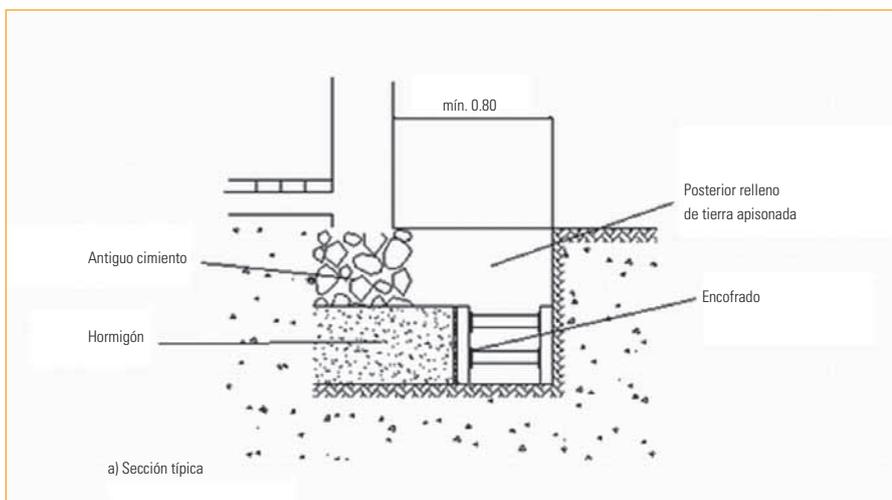


Figura 20. Recalce de un edificio histórico por bataches.

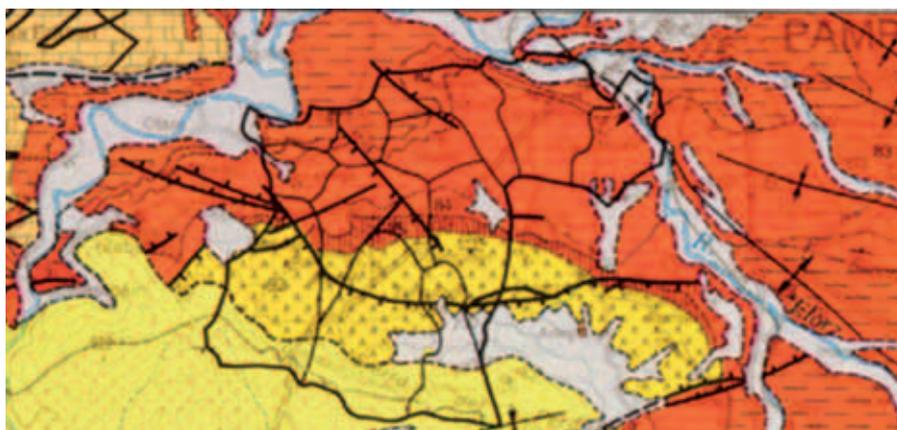


Figura 22. Mapa geológico del suroeste de Pamplona.

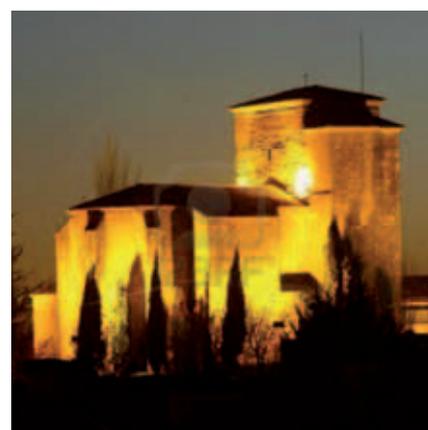


Figura 23. Iglesia de Noáin (Navarra).

supuesto, la detección y solución de un problema de estabilidad. No sería la primera vez que parte de un sillar cae cerca de un usuario o feligrés, incluso sobre él, sin que antes se hubiese destacado un avance de grietas, un aumento de las manchas de humedad, una deformación de la sillería, un abombamiento del tejado, etc.; esto no es lo habitual, pero sin duda ha pasado.

Por otro lado, la existencia de muchos trabajos previos, e incluso contiguos a cualquier edificación y las experiencias geotécnicas en el casco antiguo de cualquier ciudad, constituyen con el testimonio de los sistemas de cimentación utilizados antaño, una base sólida basada en la confianza traducida del lenguaje del pasado. El mapa geológico es una gran herramienta de trabajo (figura 22). Para el caso de Pamplona, es una información urbana realizada recopilando muchos estudios previos y varias campañas de completado, una herramienta fundamental para una correcta distribución del territorio, de la adecuación de espacios urbanos, de cuidado del patrimonio y del uso del suelo.

Sobre ello se puede fundamentar una hipótesis en la que el recalce, el aislamiento estructural, o el drenaje, etc., no sólo serían viables, necesarios y funcionarían en las nuevas circunstancias de contaminación vibracional del siglo XXI, sino que además, a partir de los datos previos, se obtienen medidas con bastante exactitud de los parámetros geotécnicos de los terrenos involucrados, su distribución y su naturaleza, además de su origen. Ello nos sitúa en una posición poco habitual, por privilegiada, a la hora de tomar decisiones o hacer cálculos geotécnicos o de ingeniería.

Debemos comprobar, además, que la naturaleza de algunos elementos constructivos: ladrillos, mampostería, etc., no sean responsables de las deformaciones observadas; su funcionalidad y buen estado es un requisito fundamental. Después del recalce (si se opta por ello) o de forma simultánea, el acceso y la toma de muestras será mucho más segura y representativa.

Un estudio estructural siempre da luz sobre el estado general del edificio, una comprobación de si las deformaciones del terreno han afectado a otros elementos de sostenimiento es necesaria y complementaría lo observado en cada caso particular.

Uno de los problemas de la era de la comunicación es la falta de ella, y pocas son las veces en que todas las personas que participan en la recuperación de nuestro patrimonio se reúnen bajo el cobijo del edificio a recuperar. Pero cuando esto se hace, él, el edificio, también se comunica. Así, la comunicación efectiva es proporcional a la durabilidad de las soluciones finales, y esto es una experiencia contrastada.

Las vibraciones excesivas en el terreno están deteriorando cada vez más nuestro patrimonio, y pocas son las personas cuya clarividencia al respecto es tenida en cuenta, sus voces que se alzaron ante las obras de nuevas acometidas sobredimensionadas, monstruosas manzanas de adosados que nacen como setas, y clamaron en defensa de nuestros viejos palacios o iglesias (éstos cada vez más rodeados y fagocitados), permanecieron sordas, eclipsadas por los decibelios de la maquinaria de edificación. Los edificios históricos, palacios, iglesias, castillos, etc., en este país, segunda potencia mundial en patrimonio cultural, están integrados (cuando lo están) casi exclusivamente desde el punto de vista estético, pero no desde el energético. Un ejemplo clarificador de esta situación es la iglesia de Noáin (figura 23), víctima de excavadoras, escarificadoras, rodillos y compactadoras al reurbanizar los alrededores. En un principio se le echó la culpa a la sismicidad inducida por la puesta en carga del pantano de Itoiz, pero se pudo estudiar y demostrar que el tremendo movimiento de tierras de alrededor fue la causa de sus males.

Es muy importante tener en cuenta que una integración completa pasa por considerar que unas nuevas condiciones contextuales son también siempre unas nuevas condiciones mecánicas, energéticas y vibratorias.

Algunos ejemplos cercanos. Los edificios hablando: ¿Hay alguien ahí?

Los pilares del Palacio del Condestable de Pamplona (figura 24) transmitieron durante siglos más de 5 kp/cm² sobre las gravas o terrazas de Pamplona por medio de unas zapatas de sillar de forma redonda y sucesivas elevaciones con tapial de la misma grava; no hubo deformaciones significativas durante décadas. Aunque se llegó a temer por su estabilidad en las primeras fases de la restauración, se minimizaron los efectos de las vibraciones al máximo. Hoy es un centro de exposiciones y de actividades culturales.



Figura 24. Arcos del Palacio del Condestable.



Figura 25. Palacio del Condestable. Cimientos de diferentes épocas y tumbas del siglo X.

El Palacio del Condestable ha sufrido durante siglos varias transformaciones internas y de su entorno urbano. Entre tumbas del siglo X (figura 25) aparecen tapiales muy antiguos conviviendo con estructuras modernas. Se han dado varios reajustes tensionales, debidos a tantas actuaciones, hubo que reforzar varias zonas del



Figura 26. Vista de Puente la Reina.



Figura 27. Vista de Puente la Reina, una vez restauradas sus calles.

edificio, las técnicas constructivas históricas estaban estratificadas: las más antiguas abajo, en el medio la Edad Media y las edades modernas arriba. Una cuestión de perogrullo que trajo muchos quebraderos de cabeza.

Las obras de adecuación de las calles de Puente la Reina (conducciones, pavimentación, etc.), introducían tal nivel de vibraciones en el terreno que se notaban a más de 50 m desde el foco de compactación que las emitía. Las grietas de los edificios comenzaron a aparecer semanas después. En la *figura 26* hay una vista anterior a la restauración de calles y edificios. En la *figura 27* una reciente vista con las calles y las edificaciones ya restauradas.

La iglesia de San Félix de Mendaza muestra en la sacristía (*figura 28*) las huellas de varias actuaciones que han supuesto una larga lista de reajustes de elementos, manchas de humedad,



Figura 28. Iglesia de San Félix, Mendaza (Navarra).

actuaciones más o menos afortunadas, parches, etc., incluso refuerzos durante el siglo XIX y XX que, al ser parciales, han supuesto una inestabilidad mayor. Quizá, una de las iglesias más afectadas por el crecimiento de una villa con un subsuelo especialmente vulnerable.

En la parte norte un vial, en la parte sur otro, un aparcamiento cercano, tráfico pesado, elementos añadidos y unas urbanizaciones muy agresivas han llevado no sólo al monumento, sino también a algunas de las edificaciones de Mendaza a “acomodarse” a esas nuevas circunstancias tensionales. Acumulaciones de agua localizadas y vibraciones intermitentes en varias tandas de acondicionamiento de conducciones y pavimentación han llevado al monumento a un estado merecedor de actuaciones urgentes. A unos 100 m de la iglesia, en la parte baja del pueblo, un edificio del siglo XVIII se vio especialmente afectado por obras de las acometidas, en 1995.

Quizá, uno de los mejores ejemplos de cómo el crecimiento urbano es capaz de comerse el entorno de un edificio histórico, lo tenemos en el crecimiento de Noáin y la zona de su iglesia de San Miguel (*figura 29*). La rotonda que se ejecutó



Figura 29. Iglesia de San Miguel de Noáin.

a unos 15 m de la iglesia supuso una auténtica “paliza” que remataba varios años de soportar continuos movimientos de tierra, vibraciones, tráfico pesado, arranque y extracción de rocas, etc. Aún hoy, la iglesia y la casa parroquial se recuperan de la agresividad de las actuaciones. Hacia 1998, los alrededores de la iglesia eran campos de cultivo de cereal, como prácticamente durante todo el último milenio, pero en menos de 8 años, y esto supone menos del 1% de su vida, la invasión de urbanizaciones de adosados, pistas deportivas, variantes, etc., conforman un panorama como el que culmina en 2005: Noáin es una continuidad de Pamplona. El movimiento de tierras, rocas, ataluzados, explanaciones, urbanizaciones, terraplenados, compactaciones..., ejecutados en sólo unos meses, suponen la concentración de tales niveles de energía en un espacio tan reducido que superaría en varias veces la suma de cientos de años de carros de bueyes, caballos, e incluso tractores, en el anterior 99% de tiempo de existencia.



Figura 30. Iglesia de San Juan Bautista de Estella.

La iglesia de San Juan Bautista de Estella (*figura 30*) sufrió una serie de cambios en su entorno durante todo el siglo XX, algunos muy agresivos, entre los que cabe destacar la construcción de una sala multiusos (hoy abandonada) en los sótanos de la Plaza Mayor. La interferencia en los cursos naturales de agua subterránea, el movimiento horizontal de materiales cuaternarios y las vibraciones de las obras colindantes a los que se suman los del tráfico pesado, el incremento de circulación en varias épocas que se permitía por el casco viejo, etc., se sumaron también al deterioro patrimonial. A mediados de los años 90 del siglo XX, se acometió la restauración teniendo en cuenta estos fenómenos que estudiamos. Se llegó a

temer por su estabilidad, pero se consiguió el equilibrio tensional.



Figura 31. San Martín de Gáceta (Álava).

Las ocho fases o etapas de crecimiento de la iglesia de San Martín de Gáceta, en Álava (figura 31). A su alrededor se produjeron cambios hídricos debidos a regadíos y una carretera que cruza por delante ha sido "arreglada" en diversas ocasiones (con una delicadeza inigualable). Actualmente, recién terminada su restauración ha sido reforzada. Los estudios previos a su restauración muestran uno de los ejemplos modélicos a seguir, una excelente manera de restaurar patrimonio.



Figura 32. Iglesia de Santa María de Zamarce (siglo XII).



Figura 33. Santa María de Zamarce con su albergue (a la izquierda), a las faldas de la Sierra de Aralar.

Otro fantástico ejemplo de cómo abarcar con acierto y de forma multidisciplinar una joya del siglo XII es la iglesia de Santa María de Zamarce, en Huarte Arakil (figuras 32 y 33), en las faldas de la Sierra de Aralar. Esta iglesia, recientemente restaurada, no ha sufrido grandes actuaciones en su entorno salvando una pequeña carretera que pasa cerca. Su lejanía a un casco urbano ha preservado durante casi mil años un monumento al que el abandono por décadas ha pasado una buena factura.



Figura 34. Iglesia de San Andrés de Ayesa (Navarra).

La parroquia de San Andrés en Ayesa (figura 34), Navarra, es otro ejemplo: las vibraciones ejercidas por los rodillos y apisonadoras al ejecutar una pista de acceso a la zona alta del pueblo, le ha supuesto un reajuste estructural. Dicha pista circunda buena parte de su perímetro y, a pesar de su moderada lejanía del centro de la villa, varios factores se juntan para poder apuntar otra vez a las actuaciones humanas desmesuradas en lo que a liberación de energía se refiere como responsables de grietas, fisuras, y movimientos de la sillería.

La iglesia de Jesús y María (figura 35), en la calle Compañía de Pamplona, vivió en pleno casco urbano una transformación tanto de uso como de fisonomía que ya comenzó cuando un



Figura 35. Iglesia de Jesús y María. Albergue para peregrinos del camino.

aparcamiento subterráneo y todo un mundo de galerías y conducciones se instalaron en sus inmediaciones. El grupo multidisciplinar que restauró el monumento es otro ejemplo de excelencia y buen hacer.



Figura 36. Castillo de Fontecha (Álava).

El castillo de Fontecha (figura 36), en Álava, se preparaba para nuevos usos pedagógicos, la reconstrucción y adecuación de su entorno. Y ahí va uno de los grandes aciertos: precisamente una escuela profesional relacionada con la restauración de monumentos, de la piedra, de cantería, de madera, etc. Un enclave y una iniciativa oficial envidiables, a los que hay que sumar una previsión y una concienciación de los técnicos más que loable, en los que el hecho de conocer el terreno de antemano, por un estudio enfocado a ello, evitó y minimizó en un grado modélico una enérgica actuación sobre el monumento y su entorno, de consecuencias como las denunciadas en el presente artículo.

El Palacio de Guenduláin (figura 37), en Navarra, ha sufrido el abandono progresivo de las últimas décadas. Es otro de los monumentos a los que un estudio previo con un conocimiento íntegro de la dinámica del terreno, incluida la posible influencia de las antiguas galerías de Potasas, S.A., sitúa a sus técnicos como ejemplo de previsión, concienciación y buena práctica



Figura 37. Palacio de Guenduláin.

arquitectónica a la hora de afrontar una obra de restauración con “otra” perspectiva que se aparta de lo puramente especulativo o mecanicista.

Entre enero y febrero de 2005, uno de los muros del NO del Castillo de Guenduláin se desplomó, las causas se achacaban a la antigua existencia de galerías y antiguas explotaciones de Potasas, S.A. Sin embargo, un estudio minucioso del terreno y de la documentación existente puso de manifiesto que esto no era así, sino que en esa zona el terreno presentaba unas características geotécnicas más deficientes que en el resto de la edificación. Con los años, la edificación fue cediendo hasta el colapso final en la época de obras. El castillo es un emblema de varios capítulos de la historia de Navarra.



Figura 38. Iglesia de Tirapu (Navarra).

La iglesia de Tirapu (figura 38) tuvo una controvertida historia en relación con sus construcción ya en sus inicios, desde la recepción de la piedra hasta problemas de pagos; algunos añadidos ya modernos obviaron que el terreno sobre el que se asienta mantiene unas características especiales de cambios físicos y químicos cíclicos dependientes directamente de las circunstancias meteorológicas. Durante este trabajo surgió la cuestión del cambio climático y la salud de nuestros monumentos; las oscilaciones estacionales hace siglos no debieron ser tan bruscas como ahora.

A principios del siglo XX, la Rochapea y Ansoain, barrio de Pamplona y ayuntamiento colindante a la ciudad, respectivamente, todavía eran un grupo de campos de cultivo y viviendas de aspecto rural a las afueras de una ciudad que crecía con cierta moderación. Hacia 1963 comienzan a tener un aspecto híbrido entre el de una zona rural y dormitorio periférico. Algunos

edificios de hasta cuatro o cinco plantas comienzan a destacar entre las pequeñas viviendas. Ahí estaba lo que todavía hoy llamamos “extramuros”: el convento de los padres Capuchinos. En la actualidad, de “extramuros” sólo conserva el nombre, que podría ser “entre-rotondas”. El entorno del convento está completamente inmerso entre grandes avenidas, edificios de viviendas y, por supuesto, dos de las inevitables rotondas “pegadas” al edificio, camiones, tráfico las veinticuatro horas del día, maquinaria de obras, un mundo de conducciones... Todo, menos la paz espiritual de sus inicios medievales.

En el presente artículo se esboza una posible línea de investigación futura, una asignatura pendiente para el sector de la construcción y para las administraciones; esta pudiera culminar algún día en algún tipo de normativa, pliego técnico o documento que se enfoque a preservar la salud de nuestros antiguos palacios, castillos, iglesias o conventos, cuando en ellos mismos o en sus alrededores se acometa una modernización en forma de urbanización, promoción de viviendas, etc.



Figura 39. Iglesia de San Esteban de Alagua.

Tal vez, uno de los ejemplos más claros de cómo destrozarse un monumento sea el de San Esteban de Alagua (figura 39), en Álava. Sucesivas pavimentaciones de hormigón en masa compactadas con rodillos vibrantes, a menos de 2 m de la iglesia, supusieron prácticamente su ruina. No se escucharon los avisos de sus vecinos que en varias ocasiones denunciaron el peligro. Finalmente una actuación de emergencia ha medio salvado la iglesia. Un ejemplo más del resultado de no contar con parte del patrimonio, como dicen las cartas de la UNESCO: los usuarios.



Figura 40. Monasterio de Roncesvalles (Navarra), otra restauración ejemplar.

Pero no todo son desastres. El monasterio de Roncesvalles (figura 40), en Navarra, es un ejemplo de buena restauración y conservación.

Estas reflexiones valen también para aquellos tesoros innumerables desperdigados por la geografía española, en los que ya se han hecho destrozos por urbanizaciones agresivas, pavimentaciones de carácter urgente, etc., y comienzan a resentirse. Espero con ello que nazca también un impulso para la concienciación de que parte de lo más valioso de nuestro patrimonio histórico, lo religioso y cultural sigue vivo, y por lo tanto necesita de unas atenciones especiales.



Figura 41. Iglesia de San Martín de Grócin.

La iglesia de San Martín de Grócin (figura 41), en Navarra, ha tenido que soportar durante años el tráfico pesado de camiones y maquinaria pesada que accede a una cantera cercana, y que pasan precisamente por debajo de un muro de contención a unos 5 a 10 m de la iglesia, y no sólo eso, para facilitar su acceso, la carretera ha sido recompactada, reasfaltada y “arreglada” en varias ocasiones, y cómo no, la iglesia con ella.



Figura 42. San Emeterio y San Celedonio, Tajonar (Navarra).

La iglesia de San Emeterio y San Celedonio de Taponar (*figura 42*), en Navarra, ha sufrido al mismo tiempo que se realizaron las obras de acceso y restauración de un talud en su parte norte, un grado excesivo de reptación del suelo por ciclos de humedad muy acentuados en las últimas décadas, además de reajustes tensionales por hinchamiento y retracción del terreno que afectó sobre todo a la sacristía.



Figura 43. Iglesia vieja de la Asunción de Murchante, hace unos 50 años.

La iglesia de la Asunción de Murchante (*figura 43*), en Navarra, ha sufrido entre otras cosas el ataque de los sulfatos en sus cimientos de hormigón no sulforresistente, pero en los últimos años varias urbanizaciones, conducciones, pérdidas de agua y obras la han llevado a ser recalzada y arreglada desde varios puntos de vista (*figura 44*).



Figura 44. Interior de la nueva iglesia de la Asunción de Murchante.

Todos estos monumentos son, además de patrimonio cultural y auténticos tesoros exclusivos de este país, nuestro futuro. Nadie más los tiene, son la envidia de las naciones desarrolladas, un lujo exclusivo que la herencia de la historia ha querido dejar en la península Ibérica. Pero

somos un país demasiado *paleta* para valorar semejante regalo dejado por Chronos. Llevamos doscientos años de ignorancia ¡y son muchos!, y hay evidencias ya, mensajes en ellos que el mismo Chronos nos envía como avisos muy claros; el problema es que a su cuidado hemos puesto la mayoría de las veces a personas no bien preparadas. Su mantenimiento nos fue encomendado, su restauración, su integración en el siglo XXI pasa por diferenciar claramente los mecanismos y contextos de expresión arquitectónica y técnica, pero también espiritual pensados para la modernidad, que en cierta manera difieren de los que se pensaron en el pasado.



Figura 45. El monasterio de Irache (Navarra) tiene una fuente de vino.

El monasterio de Irache (*figura 45*), en pleno Camino de Santiago, sufrió como tantos otros monumentos los avatares de las guerras, la desamortización, las tropas de Napoleón, etc., pero tuvo que luchar desde su estructura con varios niveles de agua intermitentes, superpuestos en el subsuelo, con una geología muy compleja; varios asientos diferenciales, reajustes de sillería, actuaciones parciales, refuerzos con atirantados y cambios de sillería han hecho que las labores de recuperación fuesen más costosas de lo pensado inicialmente, pero mereció la pena; es otro gran ejemplo de una intervención multidisciplinar.



Figura 46. Palacio de Góngora, Aranguren (Navarra).

El Palacio de Góngora (*figura 46*) ya tenía un objetivo y un papel antes de ser restaurado, lo que facilita mucho las cosas. Leyendas de todas las clases ponen un problema estructural en las guerras contra los ingleses (siglos XVI y XVII). El apoyo de troncos de árboles (robles y hayas) para construir barcos destinados a la armada española, justo sobre el muro este de la plaza

central, provocó deformaciones en la sillería que llegaron hasta nuestros días. En un principio se creyó que era un asiento del terreno: no lo era, se investigó.



Figura 47. Convento de Recoletas de Tafalla (Navarra).

El convento de Recoletas de Tafalla (*figura 47*) es una zona donde convergen las aguas superficiales y subterráneas de Tafalla hacia el río Cidacos, tanto por infiltración como por escorrentía, a través de cascajos o gravas redondeadas muy permeables. Las monjas, cansadas de tanta humedad, barnizaron una buena parte de la superficie del monumento; los problemas de capilaridad derivados afectaron a la mampostería y a los morteros, hubo que actuar con nuevos drenajes, ventilación y cambio de materiales.

La basílica de San Gregorio Ostense (*figura 48*), en Sorlada (Navarra, y ya muy cerca de Álava por el interior), con su convento parecen imitar el entorno. Estratos verticales (*figura 49*) con



Figura 48. Basílica y convento de Sorlada (Navarra).

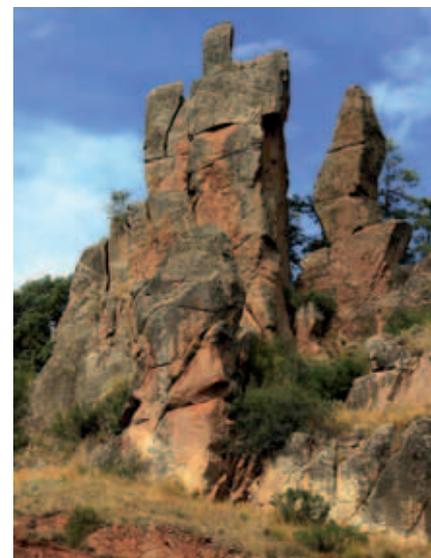


Figura 49. Estratos de arenisca.

diferentes comportamientos, areniscas y arcillas, supusieron una evolución ladera abajo con un movimiento en la zona de arcillas de 1 cm/siglo. Después de casi quinientos años, las deformaciones eran muy aparentes, unos dados de hormigón y un refuerzo económico solucionó los problemas estructurales; otro ejemplo de cómo hacer las cosas en el orden lógico, antes de actuar, el terreno dijo cómo evolucionaba la zona.

La catedral de Tudela (figura 50) se asienta sobre potentes cascaderas o gravas del río Ebro en la parte alta de la ciudad; una contaminación por excrementos de palomas, cigüeñas, por el siglo XX con sus coches y humos y sucesivas rehabilitaciones con diferentes piedras, diferentes morteros y diferentes capilaridad. Una sinfonía de inconveniencias hicieron que el monumento sufriese una inoculación de sales móviles que se extendían por todo el sillar, cuando se secaban en los meses de verano cristalizaban en forma de fosfatos y sulfatos, y los cristales al crecer hacían explotar la piedra; algunos cascotes cayeron sobre los usuarios, también valiosas figuras históricas explotaron, un problema detectado y prácticamente resuelto.

En la iglesia y conjunto monumental de San Pedro de la Rúa de Estella (figura 51), en Navarra, las modas constructivas entre el románico y

el primer gótico trajeron los primeros cambios. El gótico buscaba el espacio, la elevación, la altura. Hasta tres veces se cayó la cubierta, en intentos fallidos. Finalmente, una cubierta no tan alta se ejecutó, pero al mismo tiempo el suelo se bajó más de un metro; parte del cimientó quedó al descubierto, una actuación de contención con un muerte de bloques contra un terreno semisaturado pero con suficiente cohesión, salvó la posibilidad de un cambio brusco de las condiciones del mismo y, por lo tanto, de la estabilidad. La construcción de un ascensor urbano cercano casi cuesta un disgusto, pues las fuertes vibraciones durante su ejecución provocaron asentamientos y movimientos indeseados del terreno. Además de su altar mayor, destacan las columnas torsas (figura 52), uno de los misterios mejor guardados de este monumento y un motivo que se puede

ver repetido en varios de los elementos estructurales y ornamentales del mismo, en diversos lugares como Soria, Burgos o Valladolid.

San Pedro de Olite (figura 53), en Navarra, fue románica en origen y, a pesar de haber recibido notables modificaciones adecuándola a los cambiantes gustos de la moda edificativa, aún conserva un vestigio notable de su pasado románico. Actualmente, está siendo objeto de restauración y adecuación. Parte de la zona más baja ha sufrido también las consecuencias históricas de ejecución de viales, con sus capas de explanada mejorada, subbase, base, capa de rodadura asfáltica, etc., realizado con maquinaria de obras públicas precisamente indicada para la obra pública. La caída de un rayo en el siglo XVII, el terremoto de Arnedillo de 1817, el de Turruncún de 1929, han ido poco a poco aportando su *in crescendo* conjunto de fenómenos vibracionales que culminan en el siglo XXI con la ejecución y apertura de una rotonda a unos 20 m, que recibe la desviación de todo el tráfico pesado de Olite.



Figura 50. Catedral de Tudela (Navarra).



Figura 52. Las columnas torsas.

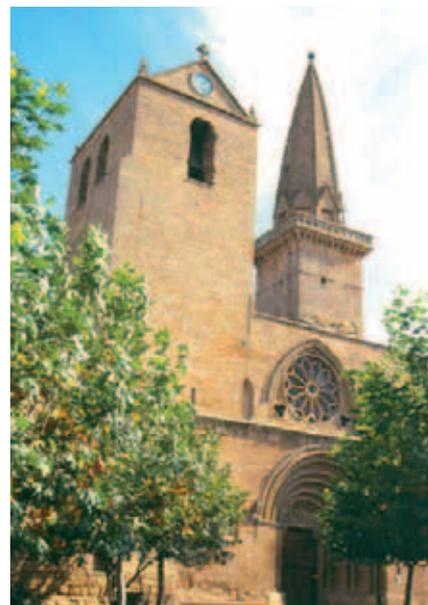


Figura 53. San Pedro de Olite (Navarra).



Figura 51. San Pedro de la Rúa, Estella.

El antiguo Palacio de Capitanía, ahora Archivo General de Navarra (figura 54) (Rafael Moneo) se asentaba sobre una zona donde desde la Edad Media se acumulaban huesos, restos de animales como caballos, burros, etc., que se utilizaban en diferentes labores preindustriales. La restauración comenzó con un estudio geotécnico completo para determinar perfectamente unos perfiles ampliamente cambiantes y de materiales acumulados, tanto orgánicos como inorgánicos, sin prácticamente valor arqueológico. Consta de dos partes diferenciadas. Por un lado, la recuperación de la parte del antiguo edificio medieval, donde se encuentra el área de consulta y atención al público. Por el otro, la construcción de un moderno edificio de nueva planta, amplio y capaz, en el que está ubicado el depósito documental.



Figura 54. Archivo General de Navarra.

El edificio conserva algunos componentes de la primitiva construcción gótica, al que en uno de los vértices, se ha añadido una torre de doce plantas, tres de las cuales se sitúan por debajo del nivel del suelo.



Figura 55. Pueblo de Peralta (Navarra) con la iglesia de San Juan.

La iglesia de San Juan de Peralta (figura 55), en Navarra, se sitúa sobre un auténtico paraíso de las patologías. En 1992 casi se declara en ruina. Una urgente actuación con *jet grouting* lo salvó. Se presentó rápidamente un proyecto de recalce con esa tecnología por primera vez en un monumento navarro, y así fue como se salvó. Se intentó utilizar la técnica de los micropilotes, pero Peralta es una villa en la que los peligros de punzonamiento son conocidos. Peralta tiene suelos colapsables, rellenos incontrolados en proceso de consolidación, asientos plásticos, *karst*, oquedades, desprendimientos y todos los “cánceres del terreno” conocidos, además de sulfatos (son montañas de yeso). El terremoto de la Rioja baja (Turruncún) de 1929 se ensañó con Peralta a través de los efectos geotécnicos de colapso diferencial, aún recordado por los más viejos de la villa como el peor año de sus vidas, con la depresión y el terremoto.

Desde hace veinticinco años, el autor ha intentado concienciar a sucesivos ayuntamientos, al gobierno de Navarra, al sector de la construcción en general de la zona, para abarcar una campaña global de estudio que frene ese tremendo gasto anual para siempre. El resultado no ha tenido eco, o no se entiende. En Peralta es habitual el “efecto dominó”: el reventón de las tuberías tan común en la villa conlleva patologías carísimas de reparar en las edificaciones afectadas por colapsos; generan además, entre otras cosas, otros reventones, que a su vez generan otras patologías, que a su vez generan...



Figura 56. San Zoilo, en Cáseda, Navarra.

Cada año algún edificio es declarado en ruina, inyectado o recalzado, con todas las molestias correspondientes, desalojos, juicios, realojos... En círculos geotécnicos es bien conocido, los vecinos también lo saben, pero nadie ataja el problema desde donde hay que hacerlo. La necesidad de inspecciones técnicas es una prioridad en esta villa, pero no se hace, no se cotejan como en Aragón mapas locales de peligrosidad geotécnica con los planes urbanísticos, no existen tales mapas. Los intereses políticos sucesivos han hecho de Peralta el lugar menos resiliente de los estudiados en Álava y Navarra, puesto que el gran problema de sobreponerse a la peculiaridad que supone la deficiencia geotécnica de su subsuelo no se ha comprendido, o no se ha querido comprender.

La iglesia de San Zoilo (figuras 56 y 57), Cáseda, es una de las asignaturas pendientes de los navarros, uno de los parajes más bellos de su patrimonio. Aún se encuentra en un estado de abandono demasiado acentuado para la riqueza patrimonial que es, seguramente, uno de los casos más sangrantes de la desidia y la dejadez de las inversiones en cultura, pero también de la poca imaginación de nuestros dirigentes para promocionar ambas, la cultura y el disfrute de ella.

Nuestro patrimonio es nuestra más valiosa herencia. El estado general de los edificios patrimoniales y su cuidado está siendo una auténtica catástrofe y una desconsoladora falta de resiliencia para el país de Europa con más recursos naturales. La mayoría están en un estado lamentable o han sido objeto de *chapuzas progres* o hechas desde la soberbia, aunque, como hemos visto, cuando se sintoniza con el monumento, el resultado es bellísimo, fuente de riqueza cultural y económica. Algunos países, cuyos tesoros patrimoniales no nos llegan



Figura 57. Dos guerreros portan escudos navarros en la portada de San Zoilo, siglo XIV, Cáseda (Navarra).

ni a rozar, conciben estos atentados al patrimonio como actos criminales; ya es tiempo de escoger esos modelos más responsables y tomar buena nota de ello, pues es nuestro futuro.

Consideraciones finales

El papel que han jugado y juegan en nuestras vidas las catedrales, iglesias, conventos, palacios, castillos y parques naturales —seamos o no creyentes, seamos o no amantes de la naturaleza— nos precede, y puede seguir proyectándose en el tiempo sin desviarse del espíritu para el que fueron pensados, si nuestra memoria tampoco se pierde. Y si lo que queremos es que jueguen otro papel, tampoco debemos olvidarnos para qué y por qué se crearon; son nuestra herencia y, por lo tanto, somos responsables de su estado y cuidado. El pensar así es cultura, el no hacerlo es lo contrario: prejuicio.

Ninguna iglesia se pensó para el bullicio, ningún convento para una vida de estrés, por eso sus lugares originales eran tranquilos, de baja energía mecánica y alta energía espiritual. Seguramente seamos nosotros los que nos vayamos antes, pero nuestro mensaje, al igual que el de los constructores que nos precedieron, puede quedarse y algún día nos leerán, como algunos ya hacemos hoy al escuchar las voces grabadas en las piedras de los que nos precedieron.

Aunque la importancia que le demos a nuestros conventos e iglesias sea estrictamente estética, o a lo sumo cultural, deberemos recordar siempre, con una mente libre de prejuicios, que la idea que generó su existencia, el hecho de que hoy perduren materializados en forma de edificio, o dentro de uno de los lenguajes de la arquitectura, es de origen espiritual, religioso, “cultural”, y que esa idea estuvo aquí plasmada antes que nosotros.

Cualquier nuevo rumbo que se le dé a nuestros edificios religiosos puede enfocarse como un signo de adaptación a los nuevos tiempos, y ello es bueno para su salud y su vida si se hace conscientemente, pero una violación de su espíritu inicial. La rotura de un eslabón en la cadena del tiempo, o lo que es lo mismo, un fallo en la memoria que es un alarde de ignorancia, provocará una denuncia mecánica del mismo edificio por la imposibilidad de adaptación, y entonces serán las piedras las que hablen, y lo harán con el lenguaje que la naturaleza les asignó.

SEGOVIA: mucho más que acueducto y cochinitillo... pura geología

La ciudad de Segovia y su entorno inmediato (área periurbana) poseen una alta geodiversidad, a la vez que un rico y variado patrimonio geológico. En los últimos años se ha producido en la provincia de Segovia en general, y en la ciudad en particular, una proliferación en la cantidad y calidad de las actividades relacionadas con la geología. Los proyectos de catalogación y protección del patrimonio geológico provincial y urbano, las iniciativas de aprovechamiento geoturístico de los recursos dentro de la propia ciudad, diversas publicaciones divulgativas y un movimiento asociativo geológico muy dinámico, han hecho que en ocasiones se haya puesto a Segovia como ejemplo de divulgación y concienciación a la población sobre la importancia de geología y del papel del geólogo en la sociedad. En este artículo repasamos el rico patrimonio geológico, las actividades e iniciativas, y las causas de este aparente éxito de la estrategia de geoconservación en Segovia llevada a cabo durante más de dos décadas.

TEXTO | A. Díez-Herrero, doctor en CC. Geológicas (IGME), J. Vegas, doctora en CC. Geológicas (IGME) e I. Gutiérrez-Perez, ingeniero técnico en Topografía (Ferrovial-Agromán U.S.).

FOTOGRAFÍAS | A. Díez-Herrero, I. Gutiérrez y A. Carrera.

Palabras clave

Patrimonio geológico, LIG, Segovia, geoturismo.

La ciudad de Segovia se ubica en el sector central de la península Ibérica, formando parte del piedemonte septentrional de la sierra de Guadarrama (Sistema Central español), a caballo con el límite centromeridional de la submeseta norte o cuenca del Duero. Esta ubicación geográfica hace que tanto la provincia como la propia ciudad, se sitúen sobre las principales unidades geológicas de la península: el Macizo Varisco, aquí representado por la zona Centroibérica, con materiales metamórficos e ígneos proterozoico-paleozoicos; las cuencas y cordilleras alpinas, con los materiales del borde occidental de la rama Castellana de la cuenca mesozoica Ibérica; y las cuencas cenozoicas, aquí representadas por los materiales aluviales de la cuenca sedimentaria del Duero y sus afluentes.

En el caso concreto de la ciudad de Segovia, en los menos de cinco kilómetros cuadrados urbanizados que ocupa, el sustrato está formado por más de una docena de tipos de rocas: gneises, mármoles, anfíbolitas, rocas de silicatos cálcicos, granitoides, arenas silíceas, arcillas caoliníferas, dolomías, margas, calizas, areniscas dolomíticas, conglomerados calcáreos y polimícticos, arenas arcósicas, arcillas ilíticas, etc. (ITGE, 1991; *figura 1*), que se han formado en un amplio abanico temporal desde el Proterozoico superior (mármoles "precámbricos") hasta la actualidad (tobas calcáreas). También se ha identificado y descrito más de una veintena de especies y grupos minerales (cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, biotita, moscovita, calcita, hematites, dolomita, anfíboles, piroxenos, etc.). Además, estas rocas contienen

restos fósiles muy variados, desde laminaciones algales y estromatolíticas cámbricas, hasta macrovertebrados pleistocenos (hienas, caballos, rinocerontes, panteras, etc.), pasando por troncos de coníferas silicificados cretácicos e infinidad de invertebrados marinos cretácicos (rudistas, corales,

gasterópodos, etc.), sin olvidar restos de dinosaurios, tortugas y cocodrilos del Cretácico superior.

Sin salir del casco urbano, las rocas aflorantes presentan estructuras y texturas que nos hablan de ambientes y paisajes del pasado, correspondientes a fríos mares y océanos australes

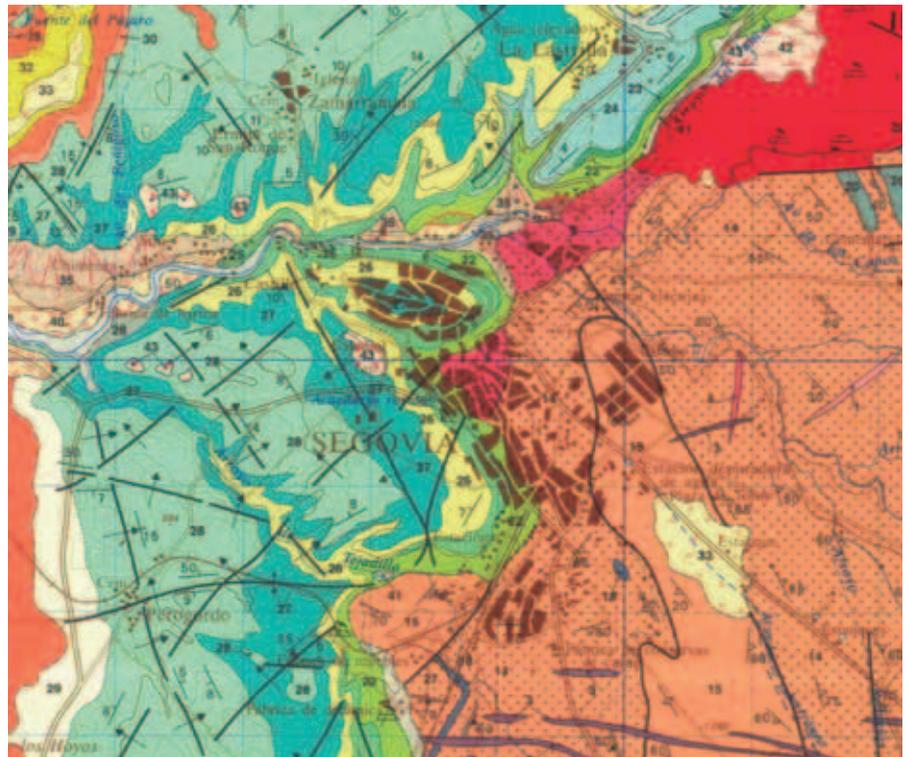


Figura 1. Mapa geológico de la ciudad de Segovia y su entorno, extraído del MAGNA a escala 1:50.000 (ITGE, 1991), donde se puede apreciar la diversidad de litologías, tipologías de contactos, estructuras tectónicas, edades de los materiales, etc., en unos pocos kilómetros cuadrados de superficie.

próximos al polo sur, raíces de cadenas de montañas, anchos ríos arenosos entrelazados, bahías litorales y amplias llanuras de marea, someros mares tropicales, zonas encharcadas palustres, abanicos aluviales subtropicales, planicies de sabana, estepas frías continentales...

En las estructuras tectónicas presentes en estas rocas (pliegues, fallas, diaclasas, estilolitos...) están claramente representadas dos importantes orogenias globales, la Varisca y la Alpina, y huellas de otras como la Cadomiense y la Caledónica. Por si fuera poco, hay una amplia representación de elementos geomorfológicos de condicionamiento litológico (formas graníticas, formas kársticas, relieves conglomeráticos...), con control estructural (cuestas, crestas, redes fluviales geométricas...) y otros que son el resultado de variados procesos geomorfológicos actuales y subactuales (gravitacionales, periglaciares, fluviales, arroyada...). Existen formaciones acuíferas (incluyendo acuitardos) de diferente naturaleza, desde fisurales en rocas duras a detríticos aluviales, pasando por acuíferos kársticos, que dotan de enorme variedad a las tipologías de manantiales que salpican la ciudad y su entorno, y a sus composiciones hidroquímicas. En definitiva, definamos como definamos el concepto desde el punto de vista académico, lo que está claro es que la ciudad de Segovia y su entorno inmediato atesoran una alta geodiversidad (Díez y Vegas, 2011).

Pero esta variedad de tipologías de rocas, minerales, fósiles, ambientes sedimentarios, estructuras tectónicas, formas del relieve, formaciones acuíferas, etc., de los últimos 600 millones de años, no son exclusivas de Segovia. Cualquier territorio de los piedemontes del Sistema Central (Patones, Pedraza, Venturada, etc.) o de muchos de los sistemas montañosos ibéricos (Pirineos, Béticas, Ibérica, Cantábrica, etc.) puede concentrar en tan poco o menor espacio la misma o más geodiversidad. Entonces, ¿qué hace singular a Segovia desde el punto de vista geológico? La respuesta es sencilla a la vez que compleja. Dos circunstancias acrecientan y hacen más patente la geodiversidad de Segovia: la primera es la incisión de la red fluvial del río Eresma y sus afluentes Clamores, Tejadilla y Ciguiñuela, que han generado desde estrechas gargantas a amplios cañones, con infinidad de afloramientos en sus laderas y escarpes; la segunda es la presencia del hombre desde hace miles de años que, con sus actividades constructivas y extractivas para la explotación de los recursos naturales, ha favorecido la aparición de nuevos afloramientos, reactivado procesos geomorfológicos y producido una secular interferencia de las actividades humanas con los procesos geológicos en forma de desastres (inundaciones, desprendimientos, hundimientos, deslizamientos, colapsos... hasta daños por terremotos).

Tal es el papel y la importancia de la constitución y dinámica geológicas en Segovia, que diversas

publicaciones hacen hincapié en cómo ha condicionado desde la ubicación de la ciudad, sus construcciones emblemáticas, su proyección e influencia histórica en el Medievo y hasta su declive y decadencia en la Edad Moderna y en la contemporánea (Martín Duque *et al.*, 2002; Díez y Martín Duque, 2005; Díez Herrero, 2010; Vegas, *in press*). Sirva como ejemplo que el símbolo emblemático de la ciudad, el acueducto romano, tuvo que ser construido porque el recinto amurallado se ubica sobre dolomías y calizas karstificadas que tienen el nivel freático a más de una treintena de metros de profundidad, lo que obligó a abastecer a la población mediante aguas superficiales traídas desde los ríos de la sierra.

La geología de Segovia ha condicionado incluso la intrahistoria cotidiana de vocablos, dichos, refranes y los cuentos infantiles, mitos y leyendas (ver capítulo de etnogeología de Díez y Martín Duque, 2005). Tampoco podemos olvidar los oficios tradicionales en la ciudad (canteros, areneros, grederos, barreros...), ligados a la extracción y manufactura de la gran variedad de materiales de construcción de su riquísimo patrimonio histórico-artístico (Vegas, 1998; Díez-Herrero, 2007), que le ha llevado a ser declarada Ciudad Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

Las joyas de la corona: los lugares de interés geológico de la ciudad de Segovia

No toda esa geodiversidad que existe dentro de la ciudad de Segovia y su entorno inmediato puede ser considerada patrimonio geológico. Tan sólo aquellos elementos singulares, con valor o interés, pueden ser catalogados como lugares de interés geológico (LIG). Pero se da la circunstancia de que

la ciudad de Segovia, además de geodiversa, es rica en patrimonio geológico, habiéndose inventariado y catalogado cerca de un centenar de LIG, con interés e importancia que van del ámbito local, hasta los contextos internacionales.

Una relación pormenorizada de estos LIG puede encontrarse en la publicación divulgativa *De roca a roca. Descubre el patrimonio geológico de la ciudad de Segovia* (Díez y Vegas, 2011), editada por el Ayuntamiento de Segovia (www.turismodesegovia.es). Se encuentran organizados por contextos geológicos, en: afloramientos de rocas metamórficas, rocas graníticas, rocas sedimentarias cretácicas, rocas sedimentarias cenozoicas, estructuras tectónicas, yacimientos minerales, yacimientos fósiles, afloramientos edáficos, manantiales y patrimonio geológico mueble.

A continuación mostramos los más sobresalientes y que podrían considerarse como las "joyas de la corona" del patrimonio geológico urbano:

- **Antigua cantera de La Zarzuela o Lago de Alonso** (figura 2). Es el LIG de mayor valor dentro de los afloramientos de rocas metamórficas, y está situada en el parque urbano del Alto Clamores (barrio de Nueva Segovia). En los taludes de la antigua explotación de áridos de machaqueo, cerrada en el tercer cuarto del siglo XX, afloran diversos tipos de rocas ortoderivadas (ortogneises glandulares y anfíbolitas) y paraderivadas (mármoles dolomíticos, rocas de silicatos cálcicos y paragneises). Además, están afectadas por diversas estructuras tectónicas (pliegues tumbados, sinformas colgadas, plegamiento disarmónico, fallas) de escala decamétrica y métrica, que han sido intruidas por



Figura 2. Afloramiento de mármoles dolomíticos proterozoico-cámbricos en una sinforma fallada de un talud de la antigua cantera de La Zarzuela (barrio de Nueva Segovia) y panel divulgativo. Foto: Andrés Díez.



Figura 3. Afloramiento de granitoides aplíticos tardivariscos de dos micas en la base del acueducto a su paso por la plaza de Día Sanz (barrio de El Salvador). Foto: Ignacio Gutiérrez.



Figura 4. Afloramiento de finas alternancias de arenas y limos calcáreos correspondientes a depósitos intermareales cretácicos en la entreplanta del portal de la calle Cervantes, 17 (Calle Real). Foto: Andrés Díez.

diques de granitoides y filones de cuarzo. Aparecen yacimientos de moscovita en cristales centimétricos ideomorfos, dendritas de pirolusita, turmalina variedad chorlo, y drusas de cuarzo hialino. En uno de los taludes se observa una secuencia característica de skarn cálcico estéril (Villaseca, 1984), con todos sus elementos (endoskarn, aposkarn y exoskarn), que por su ejemplaridad tiene un alto valor científico y divulgativo.

- **Granito bajo el acueducto en la plaza de Día Sanz (figura 3).** Merece destacarse el afloramiento que sirve de cimiento al acueducto dentro de los LIG ligados a las rocas graníticas tardivariscas (barrio de El Salvador). El leucogranito de grano fino (casi aplítico) y de dos micas, con tonalidades beige (rubio) contrasta en tamaño de cristal y textura con el granitoide de los sillares de la pila del acueducto que se apoya sobre él (Sanchez Cela, 1962). Es la prueba evidente de que el "granito del acueducto" procede, en su mayor parte, de otros afloramientos diferentes.
- **Arenas fluviales cretácicas de la carretera de Soria.** De los múltiples LIG ligados a los afloramientos de las arenas silíceas cretácicas en facies Utrillas, destacamos los amplios taludes de las antiguas areneras ubicadas tras los edificios de los números impares de la carretera de Soria. En estos afloramientos son patentes las laminaciones cruzadas planares, las hiladas de cantos de gravas (lags), los cantos blandos arcillosos, y paleosuelos ferruginosos, que se formaron en ríos entrelazados de arenas y sus interfluvios, y sirvieron a Alonso (1981) y Gil (2002) para definir el miembro Segovia de esta formación.

- **Intermareales cretácicos de la calle Cervantes (figura 4).** Existe una infinidad de LIG singulares que representan los depósitos intermareales cretácicos, pero entre ellos merece la pena reseñar dos sitios por su peculiar ubicación y magníficas condiciones de observación: el primero ocupa una de las paredes de la primera planta de una tienda de lencería femenina (Quintanilla); y el segundo la pared de la entreplanta del primer al segundo piso de un portal de vecinos (Cervantes, 17); ambos ubicados en la denominada Calle Real, el paseo peatonal comercial por antonomasia de Segovia. En ambos casos se distinguen las finas alternancias en las laminaciones de niveles arenosos y arcillosos, con representación de llanura arenosa, fangosa y mixta, y presencia de bioturbaciones y restos de fósiles.
- **Relleno kárstico cenozoico del Hospital General.** No hay dentro del núcleo urbano muchos buenos afloramientos de depósitos cenozoicos, pero entre ellos merece especial mención el relleno de conglomerados polimícticos y arcillas que colmató un sistema kárstico, y que es reconocible en los taludes de la carretera de acceso al Hospital General, próximo a la entrada a urgencias. La presencia de bloques y cantos de granitoides y gneises indican claramente su procedencia desde la Sierra, y evidencia que los materiales cretácicos fueron cubiertos por depósitos aluviales cenozoicos, en su mayoría posteriormente erosionados.
- **Pliegue en "Z" de la orogenia alpina en el Zorroclín.** Es muy representativo de las estructuras tectónicas de la orogenia alpina. Es un pliegue en forma de "Z" que afecta a las

dolomías cretácicas en la ladera trasera del Centro Ecuéstre de Castilla y León, junto a la fuente del Zorroclín.

- **Fósiles de seláceos cretácicos de Zamarramala y fósiles de macrovertebrados pleistocenos de las cuevas del Pinarillo (figura 5).** Por su alto valor científico y divulgativo, entre los yacimientos de fósiles, dos LIG destacan en la periferia de la ciudad: los restos de dentición de seláceos (tiburones y rayas) cretácicos que aparecen en las antiguas canteras de la catedral (Peñas Labradas) en las proximidades de la carretera de Zamarramala; y los restos de macrovertebrados pleistocenos (hienas, caballos, uros) de los rellenos kársticos de varias cuevas en el Pinarillo.
- **Nivel freático y fuente de la Fuencisla (figura 6).** Entre los manantiales inventariados como LIG destaca la fuente de La Fuencisla, junto al santuario de la patrona de la ciudad. Es un manantial de origen kárstico donde se puede reconocer perfectamente el nivel que alcanza la



Figura 5. Diente de seláceo (tiburón del grupo de los marrajos) incluido en las areniscas dolomíticas cretácicas de las antiguas canteras de la Catedral en Peñas Labradas (barrio de San Marcos-Zamarramala). Foto: Alberto Carrera.



Figura 6. Talud verticalizado del cañón del río Eresma junto al Santuario de La Fuencisla, en el que se aprecia la altura que alcanza la superficie freática subhorizontal, cortada por la incisión vertical del río, y que pone al descubierto los manantiales y permite el crecimiento de vegetación hidrófila. Foto: Andrés Díez.

superficie freática, que limita en el talud rocoso la porción cubierta de vegetación hidrófila, de la completamente desprovista de vegetación.

- Dentro del patrimonio geológico mueble, destacan tres elementos singulares: **la colección de minerales, rocas y fósiles de la Academia de Artillería de Segovia**, considerada una de las más antiguas del mundo, por remontarse su documentación hasta el año 1721 (Díez-Herrero, 2005); **la colección del antiguo instituto de segunda enseñanza de Segovia**, que se remonta a 1845, y en cuya conformación participó el insigne naturalista Salvador Calderón (Alonso *et al.*, 1998); y **el muestrario de mármoles de la catedral de Segovia**, que data del siglo XVIII.

Con este rico y variado patrimonio geológico, no es de extrañar que la provincia de Segovia, y dentro de ella la ciudad de Segovia, fuera uno de los primeros territorios en iniciar las labores de catalogación e inventario de los lugares de interés geológico con criterios modernos. Desde inicios de la década de 1990 (Díez, 1991), ya se disponía de un catálogo de 91 “puntos de interés geológico” provincial, muchos de los cuales correspondían a la ciudad de Segovia. Catálogos e inventarios que se completaron y actualizaron en la siguiente década (Díez y Vegas, 1999 y 2000), para concluir con la valoración de cada uno de esos LIG de acuerdo a los criterios estandarizados (Vegas, 2000).

Geoconservación en Segovia

Desde el punto de vista de la geoconservación, se ha establecido un conjunto de medidas e iniciativas, que van desde el ámbito legislativo y político, hasta iniciativas sociales que tratan de implicar al conjunto de la población.

Medidas legales y políticas

En paralelo a la catalogación, se articularon mecanismos de protección y conservación no estructural de este patrimonio, incorporando medidas legales en las Directrices de Ordenación Territorial de Segovia y su Entorno (DOTSE; Junta de Castilla y León, 2005; De las Rivas, 2006) y en la Revisión del Plan General de Ordenación Urbana de Segovia (Ayuntamiento de Segovia, 2005). El actual alcalde de la ciudad, Pedro Arahuetes, también incluyó en su programa electoral y en el discurso de toma de posesión, la promoción del geoturismo entre sus líneas prioritarias en el ámbito turístico.

Iniciativas sociales

También se han puesto en marcha otras propuestas importantes y de mayor calado social que las de sostenimiento por las administraciones públicas para la geoconservación, mediante iniciativas de tipo voluntariado social, entre las que destacan:

- Manifiesto a favor de las rocas en la ciudad de Segovia. Este manifiesto fue firmado por 448 personas de todo el país y se entregó en el ayuntamiento de la ciudad en el mes de diciembre de 2010. En él se denuncia la pérdida de afloramientos emblemáticos, se defiende el valor patrimonial de los afloramientos rocosos y se insta a las autoridades locales a no destruir o taparlos sin consultar previamente a expertos.
- Apadrina una roca (figura 7). Esta iniciativa de voluntariado popular, puesta en marcha a finales del año 2011, es una estrategia de conservación del patrimonio geológico que trata de implicar al conjunto de la sociedad en la geoconservación (Díez-Herrero *et al.*, 2012 y Vegas *et al.*, 2012). Mediante un sencillo sistema de adhesión a través de una página web (www.apadrinaunarooca.es)

permite formar parte de una red de observadores de los LIG catalogados en toda la provincia de Segovia y en la ciudad, que contribuye a responder de forma más rápida a cualquier posible amenaza a elementos patrimoniales. El apadrinamiento es totalmente gratuito, sujeto a un sencillo reglamento de obligaciones y derechos, que se complementa con otras actividades formativas de los padrinos y madrinan, como charlas, cursos, encuentros y asesoramiento para la presentación de alegaciones frente a posibles amenazas. Ha tenido tanto éxito que ya está siendo copiada y adaptada a otros territorios de España e incluso se ha propuesto transferir al extranjero. La página web ha recibido cerca de 2.200 visitas de más de una treintena de países distintos; se han dado de alta como padrinos o madrinan casi un centenar de personas, y ya han comenzado a llegar los primeros avisos y denuncias de amenazas sobre el patrimonio geológico. Además, la repercusión de la iniciativa en los medios de comunicación ha sido extraordinaria con entrevistas y artículos en más de una treintena de medios (RNE, La Vanguardia, El Norte de Castilla, Quercus, La Sexta, etc.). Balance provisional que ha concluido recientemente con la selección de la actividad como finalista en el concurso de divulgación científica “Ciencia en Acción”.

Geoturismo urbano en la ciudad de Segovia

El sector turístico supone una importante fuente de ingresos para la ciudad de Segovia que, con tan sólo 54.000 habitantes (150.000 el conjunto de la provincia), recibe anualmente más de dos millones de visitantes (solo el Alcázar es visitado por una media de medio millón de visitantes al año). Este turismo de interior tiene una fuerte componente estacional (concentrado en primavera y verano), y se centra en dos atractivos: el patrimonio histórico-artístico, con decenas de monumentos declarados BIC; y la oferta gastronómica, que le ha hecho mundialmente famosa.

Sin embargo, desde las instituciones públicas se ha hecho un esfuerzo por diversificar esta oferta turística y explorar nuevos productos complementarios o alternativos. Así, ha florecido y cobra cada vez más protagonismo el turismo cultural (Festival Internacional de Segovia, Semana de Música Sacra, Titirimundi, Hay Festival, MUCES...), el de tipo religioso (Caminos de Sefarad, San Juan de la Cruz...), el turismo literario (Antonio Machado), el deportivo (Media Maratón) y el turismo de naturaleza. Dentro de este último apartado, junto al turismo ornitológico y en general de paisaje, desde hace un lustro se está potenciando el geoturismo, entendido como el turismo que aprovecha los recursos geológicos, con visitas a LIG y rutas entre ellos.

Existen multitud de experiencias de geoturismo en todo el mundo y en nuestro país, muchas de



Figura 7. Logotipos y portadas de algunas iniciativas y asociaciones involucradas en la divulgación geológica en Segovia: Asociación Geología de Segovia (diseño de Javier Herrero), Asociación de Aficionados a la Mineralogía, "Apadrina una roca" (diseño de Gema Segura), "Queremos un Geoparque" (diseño de Sara Martín), y portada del libro "De roca a roca" (diseño de Alberto Fernández "Colombia").

ellas de notable éxito. Pero de lo que no existían muchos precedentes era de su aprovechamiento en entornos urbanos, si exceptuamos la ciudad brasileña de Curitiba. Las únicas experiencias previas en España eran simples recorridos o rutas por rocas ornamentales y materiales de construcción (Zaragoza, Madrid...), restos fósiles en estas rocas (León) o el ámbito periurbano (Barcelona); cuyos usuarios eran fundamentalmente centros de enseñanza y no el turismo común.

Lo primero que se ha hecho en Segovia es dotar a algunos de los LIG más significativos de infraestructuras y recursos interpretativos, incorporando paneles de contenido geológico a la recuperación del parque de La Zarzuela (Nueva Segovia; figura 2), el Camino Natural del Eresma, la Senda de los Molinos, y comercios y portales de la Calle Real. También se incorporó una sala introductoria

sobre la historia natural en el Museo de Segovia, con una maqueta, paneles, expositores y la grabación "Historia de un paisaje".

En una segunda fase, una vez dotada la ciudad de infraestructuras básicas de geoturismo, se trató de divulgar y fomentar su utilización con: la edición de una guía específica (*De roca a roca. Descubre el patrimonio geológico de la ciudad de Segovia*, Díez y Vegas, 2011; figura 7), en la que se proponen 7 itinerarios geoturísticos.

También hay que destacar los cursos de formación de guías turísticos en materia geológica; la inclusión de itinerarios geológicos en programas de rutas como *Domingos de Patrimonio* y en la oferta de rutas guiadas de la empresa municipal Turismo de Segovia. En el año 2012 se ha incluido una capa de geoturismo en la guía turística de realidad aumentada para telefonía móvil

(*smartphones*), que avisa al visitante cuando se pasa cerca de un LIG y permite obtener información adicional sobre él.

Sobre todas estas iniciativas se han presentado comunicaciones a congresos nacionales de patrimonio geológico (Díez-Herrero *et al.*, 2011a) e internacionales de geoturismo (Díez-Herrero *et al.*, 2011b). En ellas también se esbozan cuáles son los siguientes pasos que se pretende dar: como la implementación de contenidos geológicos en las audioguías de alquiler en las oficinas de turismo; implementación de capas kmz para Google Earth, edición de folletos específicos sobre determinados LIG en varios idiomas, etc.

Propuesta para creación de un geoparque en la vertiente septentrional de la sierra de Guadarrama a la UNESCO

En el año 2008 surgió una iniciativa desde el ámbito local para solicitar la figura de "geoparque" a la UNESCO, para el territorio del Piedemonte Norte de las sierras de Guadarrama-Ayllón. El punto de partida fue el Ciclo de Actividades celebrado en ese verano en Otero de Herreros sobre el patrimonio geológico y minero, que puso las bases de un proyecto para el desarrollo de una gran parte del territorio segoviano y la presentación de una forma de progreso socioeconómico para más de medio centenar de localidades, desde Villacastín a Ayllón. Esta zona de la provincia de Segovia cuenta con un total de 61 LIG para el territorio propuesto (Díez, 1991; Vegas, 2000).

Los promotores iniciales de la propuesta fueron la Asociación Cultural y Deportiva Lacerta de Otero de Herreros y la Asociación de Aficionados a la Mineralogía (ASAM), con el asesoramiento de los técnicos del Instituto Geológico y Minero de España, que trabajaron en este proyecto de forma altruista. La subdelegación del Gobierno en Segovia se mostró muy interesada en la iniciativa desde el principio y ofreció sus instalaciones y contactos para facilitar los primeros trámites. Se mantuvieron media docena de reuniones informativas a las que asistieron, por cuestiones operativas, cinco alcaldes de municipios representativos del territorio elegido (Ayllón, Arcones, Valseca, Basardilla y Otero de Herreros). Como la propuesta no debe lanzarse desde las administraciones autonómicas o estatales, sino que debe partir de los propios municipios, se planteó una estrategia a corto plazo que primaba la información a los ayuntamientos, asociaciones y vecinos de los pueblos implicados. Por otra parte, se era consciente de lo poco que se conoce la geología por parte de la población y lo necesario que era que se sintieran parte del proyecto. Para ello, se realizó una campaña de difusión mediante una exposición informativa bajo el título de "¡Queremos un Geoparque!" (figura 7), que ha circulado por la mayor parte de los pueblos a lo largo de 2010 y que contó con el patrocinio de la Obra Social de Caja

Segovia, la colaboración de la Junta de Castilla y León, el Museo de Segovia, y diversos particulares que cedieron material gráfico a la misma. Junto a la exposición se impartían varias charlas-coloquio sobre el proyecto del geoparque y su interés para la población local.

Sin embargo, la acogida e impacto del proyecto en las distintas localidades fue muy desigual, desde la asistencia de numerosos visitantes a la exposición y las charlas informativas, hasta la ausencia total en otros, pasando por la indiferencia en la mayor parte de ellos. Entre las causas de este fracaso destacan fundamentalmente la falta de apoyo explícito y expreso por parte de instituciones municipales (ayuntamientos), provinciales (diputación), comarcales (mancomunidades y asociaciones de desarrollo rural) y autonómicas (Junta de Castilla y León); la escasa difusión por parte de los ayuntamientos a sus vecinos; la coincidencia en el tiempo y en parte del territorio afectado, con la tramitación y declaración del Parque Natural del Guadarrama por parte de la Junta de Castilla y León, y la falta de interés de la población por los temas geológicos, por considerarlos aburridos y propios de intelectuales y gente especializada (Vegas *et al.*, 2011).

¿Quiénes mueven todo esto?

Todas estas iniciativas, como suele ocurrir, no surgen de la nada. Detrás de los inventarios y catálogos de patrimonio geológico, de su valoración y conservación; tras las propuestas geoturísticas y la elaboración de nuevos recursos turísticos, hay personas vinculadas a varios colectivos.

1980-1986. A mediados-finales de la década de 1980 se crean diversas asociaciones y grupos culturales que incorporaron estudiantes de ciencias geológicas, junto con otros profesionales. Entre ellas destacó el denominado **"Grupo de Paisaje"** de la Asociación Segoviana de Universitarios "Horizonte Cultural", que organizó entre 1989 y 1999 diez ediciones de las Jornadas sobre el Paisaje, por las que pasaron muchos de los más prestigiosos paisajistas y geomorfólogos de España (Martínez de Pisón, Pedraza, Gutiérrez Elorza, Bullón...); también la pionera actividad de educación ambiental para escolares *Cuida lo tuyo*, con ediciones dedicadas a los manantiales, las cuevas, etc. También este grupo coordinó la colección de libros *Hombre y Naturaleza*, con varios números con aspectos geológicos (ecosistemas segovianos), y cuyo séptimo ejemplar fue el libro *Las raíces del paisaje. Condicionantes geológicos del territorio de Segovia* (Díez y Martín Duque, 2005); esta obra de divulgación agotó su tirada impresa rápidamente y cuando recientemente ha sido presentada en formato digital (PDF), ha alcanzado cifras de más de 1.200 descargas en dos días. En esa misma asociación universitaria, el Grupo de Espeleología (posteriormente JASPE) y el Grupo

de Montaña (posteriormente Aguacero) realizarían investigaciones geológicas y geomorfológicas y diversas publicaciones galardonadas con premios y reconocimientos.

1987-1996. Desde el año 1987, el relevo en la organización de actividades geológicas en Segovia lo tomó la **Asociación de Aficionados a la Mineralogía** (ASAM; www.asam.es; *figura 7*) que, lejos de ser un grupo de coleccionistas y explotadores de yacimientos, fue una de las primeras asociaciones de España en contemplar, en los fines de sus estatutos, el estudio y protección del patrimonio geológico. Durante estos 25 años de existencia, ha realizado más de 85 excursiones geominerológicas por toda España, donde prima el conocimiento geológico del medio frente a la simple recolección de ejemplares. Además han editado 16 números de la revista *LITOS*, con interesantes artículos de divulgación de naturaleza muy diversa.

1996-actualidad. A comienzos del siglo XXI se congrega en Segovia un numeroso grupo de geólogos y profesionales en el campo de las Ciencias de Tierra, pese a que en esta ciudad no hay Facultad de Geología. Este colectivo siempre ha estado muy concienciado sobre la importancia que tenía la divulgación de la geología en la sociedad segoviana, ante el desconocimiento de esta disciplina. Desde el año 1996 se reúnen cada 29 de diciembre en el denominado "café de los geólogos", al que está invitada cualquier persona que le interese la geología segoviana.

En la reunión que se celebró en 2011, a la vista de la repercusión que tenían las actividades anteriormente celebradas, se propuso la creación de la **Asociación Geología de Segovia** (*figura 7*), donde ser socio fuera totalmente gratuito, y que se ocupara principalmente de canalizar todas las iniciativas de la ciudad y provincia a través de su página web (www.geologiadesegovia.info), con secciones sobre: el Geolodía (que en Segovia se celebra desde 2008, con asistencias crecientes que superan las 300 personas); la Olimpiada de Geología, coordinada a escala nacional por la AEPECT; las actividades en la Semana de la Ciencia (excursión *A todo riesgo. Convivir con los desastres geológicos cotidianos*, que ya va por su sexta edición) y la Noche de los Investigadores (en colaboración con la Junta de Castilla y León).

Toda la actividad de esta asociación se hace girar en torno a la página web, que anuncia sus actividades en Segovia y provincia y publica innumerables artículos divulgativos, que hacen que supere las 1.300 visitas mensuales de media. En su primer año de existencia se ha convertido en un referente para el público que gusta de este tipo de eventos; el éxito se debe también a la personalización de la información que llega al público con un boletín de noticias que se envía por correo electrónico mensualmente y una fuerte presencia en redes sociales.

Quizá, el éxito de asistencia de muchas de estas actividades se centra en dos aspectos: su diferencia respecto a otros eventos vinculados al conocimiento del medio y su calidad, puesto que se realizan por profesionales titulados; unido a que la mayoría de ellas son normalmente gratuitas. El patrimonio geológico suele pasar desapercibido y estas actividades muestran aspectos que se desconocen sobre el entorno más cercano. La calidad de este tipo de eventos es fruto de la dedicación y esfuerzo altruista de un gran equipo humano para que estas actividades sean un éxito. Además, toda la información sobre las actividades (anuncios, guiones, fotografías...) está disponible en Internet, por lo que su uso como recurso didáctico se multiplica, a la vez que se da a conocer en otros lugares.

Pero sería injusto terminar sin citar el importante papel que tuvieron en esta eclosión de "lo geológico" en Segovia, un grupo de profesores de enseñanza secundaria y maestros que crearon el caldo de cultivo para fomentar entre sus alumnos las actividades geológicas y la afición por la naturaleza y la ciencia. Sirva esta relación como reconocimiento a su labor: Gregorio Acero, Fernando Sánchez, Ángela Molina, M^a Jesús Franco, Javier Sánchez Vaquero, Juan Luis García Hourcade, Rafael Calderón, Miguel Ángel San Frutos, Juan Carlos Sacristán, Eduardo Casanova, José María Ruiz, Fernando Vázquez, Jesús Gómez... Varios de ellos llevan años trayendo a nuestra ciudad el magnífico ciclo de conferencias de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, por el que han pasado insignes geólogos (A. Cendrero, R. Llamas...). También hemos de reconocer que ha tenido un papel crucial la complicidad de algunos interlocutores en las administraciones públicas que han sido sensibles a nuestras peticiones y propuestas: Leopoldo Yoldi y Felipe Arroyo (Concejalía de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Segovia), Claudia de Santos y Belén Peña (Concejalía de Turismo del Ayto. de Segovia), María Teresa Rojo (antigua subdelegada del Gobierno), Sonia Palomar (alcaldesa de Ayllón), Francisco Sánchez Aguado (Junta de Castilla y León), Juan Pedro Aragoneses (Asociación Cultural y Deportiva Lacerta); entre muchos otros.

Para finalizar, sólo nos queda añadir que la actividad no cesa, y para este año 2013 ya están programadas diversas actividades geológicas en Segovia, muchas de ellas de mantenimiento de iniciativas anuales (Olimpiada, Geolodía, Semana de la Ciencia...), y otras de nueva incorporación. Pero entre todas ellas destaca la celebración en Segovia de la X Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España, entre el 10 y el 15 de junio de 2013, que congregará más de un centenar de especialistas en sesiones científicas, visitas técnicas, cursos, conferencias, grupos de trabajo y otras actividades (www.patrimoniogeologico.es).

Bibliografía

- Alonso, A. (1981). El Cretácico de la provincia de Segovia (borde norte del Sistema Central). *Seminarios de Estratigrafía, Serie Monografías, 7*, 1-271.
- Alonso, R., Díez, A., Maza, J. M. y Vegas, J. (1998). Colección de rocas, minerales y fósiles del Instituto de Segunda Enseñanza de Segovia. En: García, J. L.; Moreno, J. M. y Ruiz, G. (coord.), *Estudios de Historia de las Técnicas, la Arqueología Industrial y las Ciencias*. Colección Estudios de Historia de la Ciencia y la Técnica nº 13, Junta de Castilla y León, tomo I, 409-414, Salamanca.
- Ayuntamiento de Segovia (2005). *Plan General de Ordenación Urbana de Segovia*. Revisión. Aprobación Inicial. Memoria Ambiental.
- De las Rivas, J. L. (dtor.) (2006). *DOTSE. Directrices de Ordenación de Ámbito Subregional de Segovia y Entorno*. Consejería de Fomento, Junta de Castilla y León, Salamanca, 91 pp. + Planos de Ordenación formato DIN A-3. D.L. S 174-2006; ISBN: 84-9718-352-5.
- Díez, A. (1991). Puntos de Interés Geológico de la Provincia de Segovia. *Litos*, 6, 31-33.
- Díez, A. y Vegas, J. (1999). The Geological Heritage in the Province of Segovia (Spain); Proposals for its Management and Conservation. In: Baretino, D.; Vallejo, M. and Gallego, E. (eds.). *Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium*. III International Symposium ProGEO on the Conservation of the Geological Heritage, Session 6, Experience in Geoconservation in Southern and South-Western Europe, 433-438, Sociedad Geológica de España, Madrid (Spain).
- Díez Herrero, A. y Vegas Salamanca, J. (2000). Plan de Gestión del Patrimonio Geológico de la Provincia de Segovia. En: Palacio, J. (coord.). *Jornadas sobre Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible (Soria, 22 al 24 de septiembre de 1999)*. Serie Monografías. Ministerio de Medio Ambiente, 88 pp.
- Díez Herrero, A. (2005). Apuntes históricos sobre la Colección de minerales, rocas y fósiles de la Academia de Artillería de Segovia. *LLULL, Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y las Técnicas*, 28 (nº 62), 383-413.
- Díez Herrero, A. y Martín-Duque, J. F. (2005). *Las raíces del paisaje. Condicionantes geológicos del territorio de Segovia*. En: Abella Mardones, J. A.; Salinas, B. y Yoldi, L. (coords.), Colección Hombre y Naturaleza, VII. Ed. Junta de Castilla y León, 464 pp.
- Díez Herrero, A. (2007). El empleo de las rocas y los minerales en la arquitectura románica de la provincia de Segovia. En: Ruiz Hernando, J. A. y Rodríguez Montañés, J. M. (coords.), Segovia, volumen I, 203-225. En: M. A. García Guinea y J. M. Pérez González (dtors.), *Enciclopedia del Románico en Castilla y León*, Ed. Fundación Santa María La Real - Centro de Estudios del Románico, Aguilar de Campoo (Palencia), 3 volúmenes + 1 mapa, 1.990 pp.
- Díez Herrero, A. (2010). "Segovia" antes de Segovia: crónica geológica. En: Díez Herrero, A.; Álvarez González, I.; Soler Valencia, J. *et al.* (2010), *Curso de Historia de Segovia*, 9-39, Concejalía de Patrimonio Histórico y Turismo (Ayuntamiento de Segovia), Segovia, 155 pp.
- Díez Herrero, A. y Vegas Salamanca, J. (2011). *De roca a roca. Descubre el patrimonio geológico de la ciudad de Segovia*. Concejalía de Turismo, Ayuntamiento de Segovia, Segovia, 95 pp.
- Díez-Herrero, A., Vegas Salamanca, J., Peña González, B., Herrero Ayuso, A. S., Lucía Atance, R. y De Santos Borreguero, C. (2011a). Geoturismo en la ciudad de Segovia: complemento y alternativa al turismo tradicional. En: Fernández-Martínez, E. y Castaño De Luis, R. (eds.), *Avances y retos en la conservación del Patrimonio Geológico en España*, 104-108. Actas IX Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico (Sociedad Geológica de España), León 14-18 de junio de 2011. Área de Publicaciones, Universidad de León, León, 346 pp.
- Díez-Herrero, A., Vegas, J., Peña González, B., Herrero Ayuso, A. S., Lucía Atance, R., De Santos Borreguero, C. (2011b). Geotourism in the city of Segovia (Spain): a complement and an alternative to traditional tourism. In: Rocha, D. and Sá, A. (coords.), *Proceedings of the International Congress of Geotourism, Arouca 2011*. Arouca Geopark Association / Arouca Municipality, 145-148.
- Díez-Herrero, A., Gutiérrez-Pérez, I. y Vegas Salamanca, J. (2012). "Apadrina una roca", una iniciativa de voluntariado popular para la conservación del patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 13, 388 (1-4).
- Gil Gil, J. (2002). *Estratigrafía de Alta Resolución en el Turoniense superior- Coniaciense inferior de la Cordillera Ibérica Septentrional*. Tesis Doctoral, UCM, Facultad de Ciencias Geológicas, Madrid, 218 pp. + anexos (CXVI y XVIII).
- ITGE (1991). Hoja 483 (18-19) Segovia (mapa y memoria). En: *Mapa geológico de España*, Escala 1:50.000, Segunda Serie, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 135 pp.
- Junta de Castilla y León (2005). Decreto 74/2005, de 20 de octubre, por el que se aprueban las Directrices de Ordenación de Ámbito Subregional de Segovia y Entorno. Consejería de Fomento. *Boletín Oficial de Castilla y León*, nº 207 (miércoles, 26 de octubre de 2005), 18351-18375.
- Martín-Duque, J. F., Godfrey, A., Díez, A., Cleaves, E., Pedraza, J., Sanz, M. A., Carrasco, R. M., Bodoque, J. (2002). Examples of landscape indicators for assessing environmental conditions and problems in urban and suburban areas. In: Brebbia, C. A.; Martín-Duque, J. F. and Wadhwa, L. C. (eds.), *The Sustainable City II. Urban Regeneration and Sustainability*. Advances in Architecture, 14, 467-476. WIT Press, Southampton, Boston.
- Sánchez Cela, V. (1962). *Afloramiento granítico de Segovia*. Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Vegas, J. (1998). *El cretácico en la provincia de Segovia. Caracterización y degradación de rocas ornamentales y de cantería*. Colección Becas de Investigación, Caja Segovia, Segovia, 54 pp.
- Vegas, J. (2000). *El patrimonio geológico de la provincia de Segovia: geodiversidad y geoconservación*. Colección Naturaleza y Medio Ambiente 26. Caja Segovia, Segovia, 69 pp.
- Vegas Salamanca, J., Díez-Herrero, A., Aragonese, J. P., Gutiérrez, I. y Carcavilla, L. (2011). Solicitudes de nuevos geoparques a UNESCO: análisis de las causas que hicieron fracasar la propuesta del piedemonte norte de las Sierras de Guadarrama y Ayllón (Segovia). En: Fernández-Martínez, E. y Castaño de Luis, R. (eds.), *Avances y retos en la conservación del Patrimonio Geológico en España*, 266-270. Actas IX Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico (Sociedad Geológica de España), León 14-18 de junio de 2011. Área de Publicaciones, Universidad de León, León, 346 pp.
- Vegas, J., Gutiérrez Pérez, I., Díez Herrero, A. (2012). "Apadrina una roca", una iniciativa de voluntariado popular para la conservación del patrimonio geológico. *XI Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 2012)*, Madrid del 26 al 30 de noviembre de 2012. 16 pp.
- Vegas, J. (in press). Rocas y paisajes desde *aguende* sierra hasta *allende* sierra. *Curso de Historia de Segovia 2012*. Comunidad de Ciudad y Tierra de Segovia. Real Academia de Historia y Arte de San Quirce.
- Villaseca, C. (1984). *Evolución metamórfica del sector centro-septentrional de la Sierra de Guadarrama*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 327 pp.

Presentación de la colección 'Planeta Tierra'

El pasado 13 de noviembre se presentó en el Centro Cultural Blanquerna la colección 'Planeta Tierra'

En el acto intervinieron Luis Moreno Merino, autor de *El agua*, Enrique Peñalver, autor de *Ámbar*, Luis Carcavilla Urquí, autor de *Geoconservación*, Eulogio Pardo, autor de *Geomatemáticas*, y Jorge Civis Llovera, director del Instituto Geológico y Minero de España.

Publicada en coedición entre la editorial Libros de la Catarata (www.catarata.org) con el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, www.igme.es), este proyecto ofrece a los lectores

curiosos pero no especializados, una serie de libros breves cuyo principal objetivo es divulgar de forma rigurosa y amena las Ciencias de la Tierra, en áreas como la geología, la hidrogeología, el impacto ambiental, los recursos naturales o el patrimonio geológico.

Los seis primeros títulos han sido: *El agua*, *Ámbar*, *Geoconservación*, *Geomatemáticas*, *Peligros naturales* y *Minerales en la vida cotidiana*.

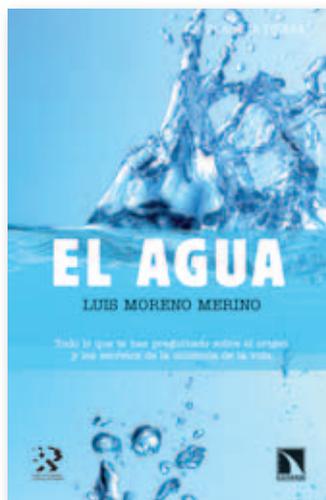
Todos los libros están escritos de forma sencilla por miembros del IGME, por lo tanto podemos decir que estamos ante unos auténticos libros de divulgación científica.

Los próximos títulos que aparecerán el año 2013 tratan temas como los dinosaurios, las aguas subterráneas o los karst y cuevas.

Por parte del ICOG estuvieron presentes: José Luis Barrera, Manuel Regueiro y Cristina Sapalski.

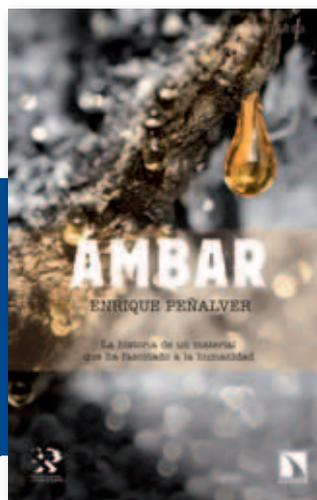


De izquierda a derecha, Jorge Civis Llovera, Enrique Peñalver y Luis Carcavilla.



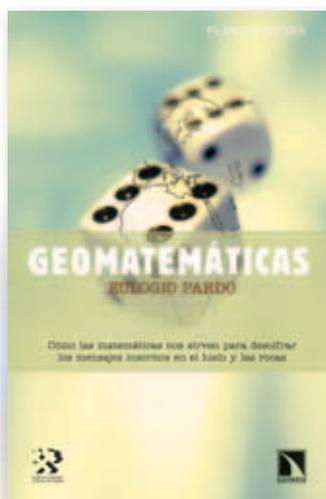
El agua

Todo lo que te has preguntado sobre el origen y los secretos de la molécula de la vida.



Ámbar

La historia de un material que ha fascinado a la humanidad.



Geomatemáticas

Cómo las matemáticas nos sirven para descifrar los mensajes inscritos en el hielo y las rocas.



Peligros naturales

Cómo se manifiesta la vitalidad del planeta a través de tsunamis, terremotos y otras fuerzas de la naturaleza.



Geoconservación

Un recorrido por lugares geológicos excepcionales para entender cómo y por qué debemos protegerlos.



Minerales en la vida cotidiana

¿Por qué un simple huevo ha llegado a ser la clave de la industria textil?

La colegiada Amelia Calonge, nueva decana de la Facultad de Educación de la UAH

Textos | José Luis Barrera.

Fotos | Universidad de Alcalá.

El pasado 31 de enero, a las 13:30 horas, la profesora Amelia Calonge García, catedrática de Paleontología de la Universidad de Alcalá de Henares, tomó posesión como nueva decana de la Facultad de Educación de la UAH (campus de Guadalajara). El acto tuvo lugar en el Salón de Grados de la facultad, y estuvo presidido por el rector de la universidad, Fernando Galván. Junto a ella, tomaron posesión también su equipo del decanato: Manuel Megías, vicedecano primero; M^o Teresa Rodríguez, vicedecana segunda; Manuel Martí,

vicedecano tercero; y Ana Belén García Varela, secretaria (*figura 1*).

El salón estaba repleto de compañeros de la facultad y, también, de la Facultad de Ciencias del campus de Alcalá. Como representante del Colegio de Geólogos estuvo presente el vicepresidente primero, José Luis Barrera (*figura 2*), en calidad de responsable de los asuntos de enseñanza de la geología.

El acto comenzó con las palabras del director saliente, José Luis Marcos Lorenzo, que agradeció

a su equipo la ayuda recibida durante su mandato. Después, tomó la palabra la nueva decana para presentar a su equipo y agradecer a aquellos que la votaron la confianza que han depositado en ella. Calonge manifestó que trabajará intensamente por la facultad, contando con todos los miembros que la componen. Clausuró el acto el rector, que felicitó a Calonge y le deseó lo mejor durante su mandato y que contara con él para todo aquello que pudiera hacer por el bien de la facultad.



Figura 1. Amelia Calonge con su nuevo equipo decanal, junto al director saliente y el rector Fernando Galván.



Figura 2. Amelia Calonge entre el rector, a su derecha, y José Luis Barrera, a su izquierda.

Amelia Calonge García

Licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid (1984) y doctora por esta misma universidad (1989).

Desde el año 1985, ha ocupado diversos cargos de profesora en la Universidad de Alcalá, hasta conseguir la cátedra de E.U. en la misma universidad, en el año 1998.

Sus líneas de trabajo de investigación actuales son la Micropaleontología y la enseñanza de la geología.

Ha ocupado diversos puestos de gestión en la Universidad de Alcalá desde que se incorporó, destacando el de directora del Departamento de Geología de la UA, desde abril del 2004.

Ha sido miembro de los comités de organización de muchos de los simposios sobre enseñanza de la geología.

Desde el año 2006 hasta la actualidad, es la presidenta de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT).

Es promotora y gestora de las Olimpiadas de Geología que se celebran este año en su cuarta edición, y de los Geolodías, excursiones geológicas que se realizan en varias de las provincias españolas con una gran asistencia de ciudadanos.

En el año 2010, el ICOG la nombró colegiada de Honor por su contribución a la difusión y enseñanza de la geología.



CURSOS ONLINE

CALENDARIO DE CURSOS PREVISTOS PARA 2013

FEBRERO

01.02 A 22.05

III CURSO DE LEGISLACIÓN APLICADA A LA GESTIÓN GEOLÓGICA

MARZO

01.03 A 30.04

II CURSO DE SONDEOS GEOTÉCNICOS E INVESTIGACIONES IN SITU

11.03 A 04.05

CURSO DE MINERÍA

SEPTIEMBRE

16.09 A 15.11

V CURSO DE ESPECIALISTA EN GEOTERMIA SOMERA APLICADA
A LA EDIFICACIÓN

OCTUBRE

08.10 A 08.02.14

CURSO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

EN 2013 HEMOS INCORPORADO NUEVOS CURSOS QUE DAN
RESPUESTA A LOS REQUERIMIENTOS CADA VEZ MÁS
EXIGENTES EN UN ENTORNO PROFESIONAL GLOBAL.

SECRETARÍA CURSOS ON LINE

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
C/ RAQUEL MELLER, 7 (LOCAL)
28027 - MADRID
TEL.: 915 532 403
EMAIL: FCAMACHO@ICOG.ES
WWW.ICOG.ES



Gracias, José María Herrero

Descubridor de los dinosaurios de España

Gracias José María por habernos legado ese inmenso patrimonio que supiste atesorar en años difíciles y de incompreensión social, y gracias por esos fósiles que han hecho de Teruel un referente de la dinosaurología mundial.

¿Quién te lo iba a decir, aunque algo ya te imaginarías, cuando en los serones de tu yegua te traías en la década de los años cincuenta del siglo pasado “aquellos grandes pedruscos” de los campos de Galve? Pero todo comenzó en la década de los años cuarenta cuando te ilusionó el descubrimiento de huesos fósiles. Y es que un maestro de la escuela de tu pueblo os había contado a los niños que, en tiempos muy remotos, habían existido unos animales gigantescos y os había mostrado ilustraciones de los mismos. Y a ti te parecía que algunos de aquellos “pedruscos”, que salían al labrar los campos, pues eran como huesos. Debían ser los fémures, pensabas, de los grandes saurios de los que aquel maestro os había hablado.

Y tú te los traías a tu casa y los observabas, y los tratabas con mimo. Y ante la incredulidad generalizada, en aquellos duros años de la posguerra, no reblaste y de ello se enteró el profesor Fernández Galiano, quien a su vez lo comunicó al Museo Arqueológico de Teruel. A partir de aquel momento, ya empezó a conocerse, aunque en círculos muy restringidos, hasta bien entrados los años ochenta, a José María Herrero y a los dinosaurios de Galve.

Digo círculos muy restringidos, porque sí conocían Galve algunos catedráticos de paleontología como el francés Lapparent o los alemanes de la Universidad de Berlín, pero en España, ni los estudiantes ni los geólogos de las únicas cuatro facultades entonces existentes teníamos noción de Galve y apenas nos explicaban los vertebrados. Concretamente en Granada, que entonces se decía la mejor facultad española, la paleontología después de estudiar a fondo ammonites, braquiópodos, belemnites, erizos, etc., en alguna ocasión llegaba a los mamíferos del Terciario. De dinosaurios ni una palabra y ya eran comienzos de los años setenta.

Para el que suscribe fue una tremenda emoción, en el año 1969, en el III Curso de Geología Práctica de Teruel dirigido por el gran geólogo turolense Manuel Esteras, llegar a Galve, conocer a José María Herrero y que él nos mostrara y explicara con la pasión que le caracterizaba sus grandes hallazgos, el más espectacular, un fémur fosilizado, del posteriormente bautizado como *Aragosaurus*. Además del fémur, nos mostró parte de su enorme colección ¡Qué pasión, qué inteligencia, qué clarividencia, la de José María! Y el mérito extraordinario



José María Herrero Marz nació en Galve (Teruel), el día 27 de julio de 1925, y falleció en el mismo lugar, el 20 de mayo de 2012. Aunque únicamente realizó estudios primarios en la escuela de su pequeña localidad, desarrolló de forma autodidacta las ideas de historia natural que le transmitió su maestro, D. Luis Jarque Cervera, lo que le permitió descubrir los primeros dinosaurios de España.

Tuvo una larga y fructífera vida. Supo compaginar sus tareas agrícolas cotidianas y administrativas, en varias cámaras agrarias de la zona de Aliaga, con su gran pasión: la paleontología. Con la ayuda de sus once hijos y diecisiete nietos, atesoró una ingente colección de restos de dinosaurios, parte de los cuales fueron punto de partida para la definición de *Aragosaurus* y *Galvesaurus*. Y no solamente fueron dinosaurios. De las arcillas jurásicas separó innumerables restos de reptiles, mamíferos, peces, etc. Una parte importante, tanto de aquéllos como de éstos, todavía permanecen pendientes de clasificación.

Para divulgar sus hallazgos, José María creó el Museo Paleontológico de Galve, germen del posteriormente denominado Territorio Dinópolis de Teruel, contribuyendo a que su localidad natal, Galve, y toda la provincia turolense sean conocidas por su importante acervo paleontológico.

de haber sido autodidacta y de enseñarnos una paleontología que ni en la universidad nos la habían mencionado.

Cuántas horas y horas habrías dedicado a leer, en los largos días de invierno, la información que caía en tus manos, para conocer y explicar a tus dinosaurios, como tu lo hacías. Y para éste, entonces estudiante turolense, qué alegría que su provincia poseyera tales tesoros y la provincia entera constituyese un compendio geológico, en la que habían existido hasta dinosaurios.

Posteriormente, ya en los años noventa, visitamos con frecuencia tu casa y tu museo, y siempre nos sorprendías. Ya no solamente eran los grandes saurios, habías lavado toneladas de sedimentos del Jurásico-Wealdense y con tu gran tesón, con la ayuda de tu lupa binocular, con pinceles y punteros

habías separado y clasificado numerosísimos restos de microfósiles, desde esporas y semillas de plantas hasta dientes, escamas y mandíbulas de peces, y numerosos restos de micromamíferos. Con qué ilusión apoyado sobre tu lupa nos mostrabas los descubrimientos que habías realizado.

Gracias por todo tu esfuerzo y tesón, gracias por haber sacado a los dinosaurios del anonimato, gracias por haber ayudado al desarrollo de la geología en general y de la paleontología, en particular. Los turolenses te estaremos siempre infinitamente agradecidos por haber contribuido a que Galve, Teruel y su provincia, sean conocidos por todo el mundo.

David Navarro Vázquez
Geólogo

Diferentes fotos de su vida



III Congreso "VERSOS'12. Vertederos y Sostenibilidad"

Se consolida esta iniciativa bienal de ingeniería de vertederos en el ámbito de las MTD

Los días 21 y 22 de noviembre de 2012, organizado por la iniciativa VERSOS, impulsada por el Colegio Oficial de Geólogos del País Vasco, y con el patrocinio de diversas empresas, se celebró en el palacio Euskalduna de Bilbao la tercera edición del Congreso "VERSOS-Vertederos y Sostenibilidad. Mejores Tecnologías Disponibles".

TEXTO | Guillermo Bernal, Alfonso García de Cortázar, Miguel Gómez y Aitor Zulueta, geólogos.

Palabras clave
Vertederos, VERSOS, sostenibilidad, Mejores Tecnologías Disponibles.

Durante los días 21 y 22 de noviembre de 2012, se ha celebrado en el palacio Euskalduna de Bilbao la tercera edición del congreso sobre Mejores Tecnologías Disponibles (MTD) en el ámbito de la ingeniería de vertederos: VERSOS'12.

VERSOS'12 ha supuesto una iniciativa que, con una frecuencia bienal, se ha convertido ya en un referente a nivel estatal entre los certámenes cuya temática sea la Tecnología e Ingeniería de vertederos, instalaciones que, pese a estar consideradas como la última opción en la jerarquía de sistemas de tratamiento de residuos, siguen siendo necesarios en cuanto que son la única alternativa para los residuos no valorizables.

Esta edición se ha centrado en el sellado, recuperación ambiental, usos y control posclausura de vertederos y suelos contaminados. El Congreso ha supuesto una excelente oportunidad de intercambio de conocimientos en el ámbito de las MTD, fomentando la exposición de experiencias y aspectos prácticos, con un enfoque eminentemente aplicado de interés para las empresas del sector (constructoras, suministradoras y gestoras), para la Administración y demás agentes implicados.

El formato del Congreso ocupó dos jornadas: el primer día y la mañana del segundo, dedicadas a la exposición de comunicaciones y experiencias en relación con los temas propuestos, dedicándose la tarde del segundo día a la visita de distintas instalaciones de gestión de residuos.

El número de asistentes a las jornadas ha sobrepasado las 100 personas, siendo significativa la presencia de asistentes de prácticamente la totalidad de las comunidades autónomas, además de asistentes de otros países de la Unión Europea, como es el caso de Alemania o Italia.

En total, se impartieron 20 ponencias de alto contenido técnico a lo largo de 6 sesiones, en la que se trataron aspectos tales como los procedimientos legales, la gestión y control de



emisiones, las mejores técnicas constructivas, los controles y usos posclausura, así como los mercados emergentes.

La iniciativa VERSOS cuenta con una web (www.versos.org.es) que mantiene la vocación de constituirse en el principal referente de las



Figura 1. Inauguración del congreso. De izquierda a derecha: Guillermo Bernal (VERSOS), Miguel Gómez (presidente del Colegio de Geólogos del País Vasco-VERSOS), Juan Ignacio Escala (director de Calidad Ambiental del Gobierno Vasco) y Ángel Leiro (presidente del grupo español de la Asociación Internacional de Geosintéticos-IGS).

Mejores Tecnologías Disponibles en el ámbito de la ingeniería de vertederos y donde pueden encontrarse todas las ponencias de este congreso, de los dos anteriores y del resto de actos organizados, así como artículos técnicos, legislación, enlaces con las MTD, hojas y métodos de cálculo, intercambios-foros de opinión, certámenes, eventos y novedades de mercado.

Inauguración

El acto de inauguración (figura 1) lo inició Guillermo Bernal en nombre de VERSOS. A continuación intervinieron Ángel Leiro (presidente del Grupo español de la Asociación Internacional de Geosintéticos-IGS), Miguel Gómez (presidente de la Delegación en el País Vasco del Colegio Oficial de Geólogos y miembro del comité organizador),

cerrando el acto Juan Ignacio Escala (director de Calidad Ambiental del Gobierno Vasco).

Ponencias

Con la sala llena de asistentes (figura 2), comenzaron las sesiones de trabajo.

Primera sesión de ponencias

En la primera ponencia, Hipólito Bilbao (Gobierno Vasco) habló sobre el nuevo decreto vasco de Entidades Colaboradoras de la Administración (ECA) y de sus implicaciones en la gestión de vertederos. En la segunda, Asier Córdoba (Ekoiure) disertó sobre el nuevo régimen de producción y gestión de RCD en el País Vasco. Por último, Isabel González (Xunta de Galicia) presentó la Orden de esta comunidad referente a la regulación

sobre el Control de Calidad en la instalación de geosintéticos y la Vigilancia y Control Ambiental posclausura.

Segunda sesión de ponencias

La segunda sesión, dedicada a la gestión y control de emisiones, contó con dos ponencias. Leire Escolar (IHOBE), en la primera ponencia, y Jacobo Patiño (FCC Servicios Ciudadanos), en la segunda, presentaron interesantes trabajos sobre el tratamiento del biogás generado en un vertedero clausurado de Bizkaia y sobre el uso de una central de micro-cogeneración para la valorización de biogás en un vertedero de rechazos de Galicia.

Tercera sesión de ponencias

La tercera sesión, dedicada a las MTD en técnicas constructivas y materiales, contó con 7 ponencias que ocuparon el resto del día. Beatriz Mateo (CEDEX) habló sobre las características de las bentonitas utilizadas en las Barreras Geosintéticas Arcillosas (GBR-C). Andrés Marín (CETCO) sobre el diseño de las barreras GBR-C en función de la permeabilidad frente a lixiviados. Tras el merecido almuerzo, Moreno Scotto (Maccaferri-Bianchini) expuso el estado del arte en Italia del uso de geosintéticos en sellados. Burkard Lenze (NAUE) expuso diferencias experiencias sobre el uso de geosintéticos en cubiertas de vertederos con pendientes pronunciadas. A continuación, Patricia Amo (Huesker) presentó numerosos casos prácticos de refuerzos del terreno con geomallas para recuperaciones medioambientales. Jorge Gutiérrez (Intermas) habló sobre experiencias en el drenaje de vertederos clausurados con distintos materiales. La última ponencia del día la impartió Javier Moreno (Terratest) en relación con el sellado, recuperación ambiental, usos y control posclausura de vertederos y suelos contaminados. La primera jornada finalizó con un animado turno de preguntas.

Cuarta sesión de ponencias

La cuarta sesión contó con 4 ponencias relacionadas con el control posclausura. Agustín Larrea (Geotecnia Larrea) fue el primer ponente, que habló sobre mediciones reales de asientos y desplazamientos en vertederos. A continuación, Amaia Lobo (Universidad de Cantabria) presentó un ejemplo de seguimiento integrado en un antiguo vertedero. Por su parte, Alfonso Aizpiri (Lurgintza) resaltó el papel de las entidades de inspección medioambiental (ECA) en el desarrollo de los planes de vigilancia y control de vertederos. Por último, Aitor Zulueta (VERSOS) resaltó importantes aspectos relacionados con el sellado, recuperación ambiental y usos posclausura de vertederos y suelos contaminados. La sesión finalizó con su correspondiente turno de preguntas y debate.



Figura 2. Vista general de la sala.



Figura 3. Acto de clausura. De izquierda a derecha: Aitor Zulueta (VERSOS), Mikel Huizi (director gerente de Garbiker-Diputación Foral de Bizkaia) y José Luis Barrera (vicepresidente del Colegio de Geólogos de España).

Quinta y sexta sesiones de ponencias

Tras la pausa-café, se dio inicio a la quinta sesión, que contó con dos ponencias que versaron sobre los usos posclausura. Carlos Luengo (Gobierno Vasco) explicó el procedimiento administrativo a la hora de autorizar los usos posclausura sobre vertederos. Por su parte, Aina Canaleta (TIRME) presentó la primera experiencia de entidad de *landfill mining* realizada en el Estado, concretamente en Mallorca.

La sexta sesión contó con una única ponencia, impartida por Mikel Ibarra (ACLIMA), que proporcionó a los asistentes una visión precisa de las oportunidades de negocio en el campo de la gestión y clausura de vertederos en Brasil. Con un participativo turno de preguntas se dieron por finalizadas las sesiones de ponencias.

Acto de clausura

El acto de clausura (figura 3) lo inició Aitor Zulueta, en nombre de VERSOS, que agradeció el apoyo de los patrocinadores así como la asistencia de todos los presentes, especialmente a las personas y empresas participantes en las tres ediciones, emplazándoles a todos ellos al 4º congreso a celebrar dentro de 2 años, VERSOS'14. A continuación, José Luis Barrera, vicepresidente del Colegio Oficial de Geólogos, puso de relieve el éxito de público cosechado por este congreso a pesar de la situación económica que atravesamos y, en especial, la gran aceptación que tenía la visita de campo que se iba a realizar a continuación, a la que asistieron finalmente 55 personas. Por último, Mikel Huizi, director gerente de Garbiker, empresa de la Diputación Foral de Bizkaia



Figura 5. Vista aérea de las instalaciones visitadas.

que gestiona diversos vertederos entre otras instalaciones de gestión de residuos, resaltó la importancia de este tipo de encuentros y destacó la potencialidad de los vertederos clausurados como emplazamientos válidos para diferentes actividades generadoras de empleo.

Visita técnica

Después de realizar una rápida visita al Museo de la Minería del País Vasco, situado en el municipio de Ortuella, y de degustar un surtido *lunch* en las propias instalaciones del museo (figura 4), se inició la visita a las instalaciones de gestión de residuos existentes en la zona de Orkonera (Ortuella), de la empresa Garbiker, y emplazadas en un área de antigua explotación minera (figura 5).

Se visitó una planta de tratamiento de residuos voluminosos construida sobre un vertedero (balsa) de lodos, una planta de reciclaje de RCD construida sobre un relleno heterogéneo y un vertedero de RNP colmatado (figura 6) donde se prevé implantar un uso posclausura. El responsable técnico de Garbiker, que ya previamente había realizado en el museo minero una presentación sobre este emplazamiento, realizó diferentes explicaciones sobre la problemática de cada una de las instalaciones, que fueron complementadas con intervenciones de varios asistentes que, de una u otra manera, habían participado en el desarrollo de las mismas.

Hacia VERSOS'14

El proyecto VERSOS continúa. Nuestra propuesta sigue siendo abrir esta iniciativa a todos los geólogos y técnicos interesados en el ámbito de la ingeniería de vertederos, con el objetivo de conseguir una pluralidad disciplinar aún mayor tanto en ponentes como en asistentes.



Figura 6. Asistentes a la visita a las instalaciones de tratamiento de residuos de Garbiker en Orkonera (Ortuella-Bizkaia).



Figura 4. Visita-lunch en el Museo de la Minería del País Vasco (Ortuella-Bizkaia).

Emilio Elízaga Muñoz, in memóriam (1992-2012)

El 5 de septiembre de 1992 falleció en Madrid Emilio Elízaga Muñoz, geólogo del Instituto Geológico y Minero de España, y de cuya Oficina Regional de Valencia era, a la sazón, director.

Con este motivo, y al cumplirse veinte años de esa fecha, se decidió llevar a cabo un pequeño, pero sentido homenaje por parte de sus amigos y compañeros más cercanos, en la sede del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos en Madrid.

Al mismo asistieron en torno a una treintena de personas y se recibieron más de medio centenar de adhesiones provenientes de rectores, catedráticos y profesores de diversas universidades, así como de diversos ministerios y organismos oficiales, además del IGME, lógicamente.

En dicho acto, se leyeron dos escritos, uno redactado al efecto por Ángel García Cortés, como compañero del Instituto Geológico, y el otro obra de José Antonio Águeda Villar y de Jaime Palacio Suárez-Valgrande, en sus calidades de profesor y compañero de promoción, respectivamente, y amigos de Emilio, todos ellos.

Asimismo, se proyectó una de las películas que en su día produjo y supervisó, sobre patrimonio y puntos de interés geológico de la cordillera Cantábrica.

Biografía

Emilio Elízaga nació en Madrid el 22 de junio de 1945 y cursó la licenciatura en Ciencias Geológicas, en la Universidad Complutense (1966-71).

Durante los veinte años que, hasta su fallecimiento, estuvo dedicado a la Cartografía Geológica (Plan MAGNA), Emilio supervisó sesenta y cuatro hojas a escala 1:50.000, y nueve a escala 1:25.000, siendo coautor de once de ellas, así como responsable, e igualmente coautor, de los apartados de estratigrafía y sedimentología de las memorias correspondientes.

Al campo de la Geología Ambiental, de la que fue pionero en España, le dedicó gran parte de su tiempo. Lo atestiguan, no sólo sus ciento veintiuna publicaciones de tipo científico, sino también la multitud de conferencias y cursos impartidos, artículos y libros de divulgación, su dedicación personal a grupos de trabajo multidisciplinarios y las labores de dirección en las diversas áreas de la Geología Ambiental y la Ordenación del Territorio.



Retrato de Emilio Elízaga.

Fue el principal impulsor del Grupo Español correspondiente, y posteriormente fundador de la Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio (SEGAOT), en la que ostentó, durante años, el cargo de secretario general. Igualmente, fue pionero e impulsor en España del desarrollo y ejecución del inventariado, catalogación, divulgación y protección del patrimonio geológico, y aunque los referidos trabajos ya dan fe suficiente de la valía personal de Emilio y de su notable dedicación a las labores que tuvo encomendadas, es en los campos de actividad relacionados con el patrimonio

geológico, donde destaca como un auténtico pionero a escala nacional.

Él inició el Inventariado y Catalogación de los Puntos de Interés Geológico y Minero de España, e intervino, y fue pieza clave, en el desarrollo de su metodología, divulgación y protección.

Quince años después de su muerte, se creó en el IGME el Área de Patrimonio Geológico y Minero, y en este homenaje, al que se está haciendo referencia, se ha propuesto por parte del actual director de la misma «que emulando a algunas cátedras universitarias con subvención privada, merecería denominarse 'Área Emilio Elízaga'».

Breve semblanza de Emilio Elízaga Muñoz

Cuando ingresé en el Instituto Geológico y Minero de España, a mediados del año 1981, tuve pronto la oportunidad de comprobar las magníficas cualidades humanas de Emilio Elízaga. Su nombre perdurará en el recuerdo de todos cuantos lo conocimos y tratamos, como un profesional competente, un compañero ejemplar y un amigo leal.

Era la época probablemente más gloriosa del IGME, con grandes programas nacionales de infraestructura geológica y minera, como el Plan Nacional de Investigación Minera, el Plan MAGNA de cartografía geológica a escala 1:50.000, el Plan Nacional de Abastecimiento de Aguas a Núcleos Urbanos, el Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas, el Programa de Investigación de Fondos Marinos, o los programas para la ejecución de cartografías temáticas: hidrogeológica, geotécnica, metalogenética, de rocas y minerales industriales, etc.

Pero como contrapunto de esta envidiable actividad, la situación interna del Instituto estaba en cierto modo enrarecida por tensiones laborales, inicialmente solapadas pero que fueron aflorando con rapidez. A la entonces tirantez entre ingenieros de minas y geólogos, felizmente hoy superada, se añadían las diferentes situaciones y problemáticas que correspondían a colectivos diversos de contratados laborales y contratados administrativos, unos interinos, otros fijos, otros eventuales. Emilio, aunque padeció como otros muchos este tipo de desigualdades, supo granjearse el respeto y la simpatía de unos y otros.

Defendía sus opiniones con firmeza pero de forma afable, "salpimentando" sus afirmaciones con característicos toques de humor. Le caracterizaban su concepción divertida de la vida, su bonhomía y esa aureola de humo de su pipa, que siempre le acompañaban, tanto durante el trabajo en Ríos Rosas (sede del IGME), como en el campo o en alguna cervecería donde gustaba sentar tertulia de tarde en tarde, una vez concluida la jornada laboral.

No era pues de extrañar que los jóvenes que, como yo, nos acercábamos a él para consultarle, sintiéramos una mezcla de admiración, simpatía y respeto, que inducía a dejarnos guiar por sus conocimientos. Éstos, que eran muchos, se aplicaron en primer lugar a la dirección y supervisión de numerosas hojas del Plan MAGNA, desde el mismo lanzamiento del Plan en los albores de los años setenta del siglo XX. Las primeras hojas que supervisó fueron las de Villanueva de la Fuente, Robledo y Pozo-Cañada, en Albacete y límite de Ciudad Real, finalizadas en 1974. Su implicación en la supervisión de las hojas se hizo notar desde el principio, ya que

figura también como autor de la cartografía en la hoja de Pozo-Cañada.

Durante los veinte años que, hasta su fallecimiento, estuvo dedicado al Plan MAGNA, Emilio supervisó muchas de las hojas a distintas escalas, siendo coautor de algunas de ellas. A ello hay que sumar que realizó o participó en la realización del mapa geomorfológico en otras tres hojas 1:50.000, de los capítulos de neotectónica en ocho, y del informe de lugares o puntos de interés geológico en otras quince hojas.

Fueron también variadas las regiones donde se centraron sus cartografías y las hojas por el dirigidas: la zona Prebética (veintitrés hojas), la cuenca del Duero (veintiuna hojas), La Mancha y covertera tabular de la Meseta (catorce hojas), Menorca (nueve hojas 25.000), la cordillera Cantábrica (ocho hojas), la Depresión Intermedia (siete hojas) y la cordillera Ibérica (tres hojas).

En su última etapa de actividad cartográfica colaboró con José Baena en el mapa geológico de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, publicado en 1989.

Es de destacar también que su carácter inquieto, abierto y colaborador le llevó, en los últimos años de su vida, a participar como autor en proyectos de carácter más aplicado, como el estudio sobre el impacto económico y social de los riesgos geológicos en España, que llevó a cabo en 1988 junto con Francisco Ayala Carcedo; también en proyectos de investigación hidrogeológica, como los estudios hidrogeológicos complementarios para el emplazamiento de la central nuclear de Ascó (1990), el análisis de los aprovechamientos de aguas subterráneas en el subsistema acuífero de Vinaroz-Peñíscola (1991), el estudio hidrogeofísico del acuífero

profundo de la ribera baja de la provincia de Valencia (1990), o el estudio hidrogeológico para la mejora del abastecimiento urbano a Villanueva de Castellón (1991); y, finalmente, en proyectos de investigación minera como la investigación de diatomitas en el sur de Albacete, publicado en 1993, un año después de su muerte.

Para valorar convenientemente su mérito, hay que situarse en el contexto de 1978, cuando el IGME era un organismo autónomo dependiente del Ministerio de Industria, por lo que sus objetivos estaban centrados en el mejor aprovechamiento de los recursos minerales e hidrogeológicos. En este ambiente productivista, Emilio supo convencer al jefe de la División de Geología, Manuel Alvarado, y al director del IGME, Adriano García-Loygorri, del beneficio de conservar los recursos geológicos con interés científico, didáctico y turístico, y de la conveniencia de lanzar un programa de inventario del patrimonio geológico.

La experiencia de Emilio en sus trabajos de cartografía MAGNA le llevó a desarrollar este programa de inventario en las regiones que le eran más conocidas: entre 1979 y 1981, el inventario de la cordillera Cantábrica, que se extendió a Galicia, entre los años 1980 y 1981, el de los sectores orientales de la Ibérica y Prebética, entre 1982 y 1984, y el de la isla de Menorca entre 1985 y 1986.

Poco más de un año antes de su muerte, tuvo la suerte de presentar una comunicación con Emilio y Ernesto Gallego al primer Simposio Internacional sobre la Protección del Patrimonio Geológico, celebrado en Digne (Francia) en junio de 1991. Allí, Emilio y yo tuvimos el honor de firmar, como únicos asistentes españoles, la



En Menorca, con compañeros.



De izquierda a derecha, Emilio Elízaga, Jaime Palacio y Pepe Agueda.

Declaración Internacional de los Derechos de la Memoria de la Tierra, en cuya elaboración participamos. Guardo un agradabilísimo recuerdo de estos días de estrecha convivencia con Emilio, que me permitieron disfrutar de su extraordinaria personalidad y marcaron sin duda, a partir de entonces, gran parte de mi actividad profesional y, por ende, de la propia actividad del IGME en patrimonio geológico.

Sus últimos trabajos en este campo, ya con carácter póstumo, fueron un informe interno del IGME, dirigido por quien escribe estas líneas, sobre el concepto, situación actual de las investigaciones y perspectivas de futuro del patrimonio geológico, finalizado en 1993, y en el que participaron, además, Jaime Palacio, Antonio Cendrero, Ernesto Gallego, Jorge Morales y Javier Pedraza; así como la publicación a la que dio lugar este informe en 1996, titulada *El patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización* y realizada por el Ministerio de Obras Públicas, primera entidad de la Administración General del Estado y ajena al IGME, que se sensibilizaba por esta temática.

Muchos otros compañeros de Emilio en el IGME, quienes tuvieron con él una más prolongada convivencia, podrían haber redactado estas breves líneas. Pienso en Pedro Ruiz, Carmen Antón-Pacheco, Vicente Gabaldón, Alfredo Pérez-González, Cecilio Quesada o Roberto Rodríguez. Entiendo que mi elección ha sido debida a que, en la medida de mis posibilidades, recogí su legado e intenté que no se perdiera en el IGME el impulso que supo crear y mantener en defensa del patrimonio geológico español. Quince años después de su muerte, se creó en el IGME el Área de Patrimonio Geológico y Minero, la cual, emulando a algunas cátedras universitarias con subvención privada, merecería

denominarse "Área Emilio Elízaga". En este vigésimo aniversario de su fallecimiento, vaya para él todo nuestro agradecimiento y el más emotivo de nuestros recuerdos.

Ángel García Cortés
Madrid 2012

Emilio Elízaga Muñoz: el geólogo y su obra (1945-1992)

Estas líneas constituyen el pequeño homenaje que José Antonio Águeda Villar y Jaime Palacio Suárez-Valgrande queremos tributar a la figura del que fuera alumno, compañero y, por encima de todo, muy querido amigo, Emilio Elízaga Muñoz (Morton), con motivo del vigésimo aniversario de su fallecimiento.

Su vida breve, pero intensa, había respondido a sus deseos, escribió artículos y libros de interés permanente, realizó y dirigió la elaboración de mapas geológicos de muy buena ejecución, investigó en los lugares más apartados de la geología española, y fue pionero en España de estudios geoambientales.

Su obra, aunque interrumpida prematuramente, es hoy una realidad palpable, una extensa relación de trabajos y títulos avalan su trayectoria profesional y científica.

Si resulta difícil encontrar las palabras adecuadas para iniciar cualquier escrito, más lo es para nosotros expresar unas ideas válidas sobre la personalidad humana y científica de un amigo desaparecido. Con la obligada reflexión que proporciona el tiempo ya transcurrido, pero con el recuerdo latente de su persona, no quisieramos que el afecto que hemos sentido por Emilio Elízaga alterara la valoración de su vida y obra.

Durante su estancia en la Universidad, conoció personas y vivió un ambiente, el de la

Sección de Geológicas de la entonces Facultad de Ciencias, que iban a marcar definitivamente su vida. Su compromiso por la conquista de las libertades, su honestidad personal y su gran generosidad eran sus cualidades más significativas.

De esta etapa de su vida no podemos menos que recordar los más de veinticinco años de amistad y relación ininterrumpida que nos unieron.

En mi caso, fue en 1968, en mis primeros años como docente, cuando conocí a Emilio en la asignatura de Cartografía Geológica. Desde entonces tuve la satisfacción de contar con él como amigo y compañero. Por mi parte conectamos desde el primer día de carrera, dos años antes, en el famoso "Pisito" (Facultad de Medicina), siendo un extraordinario compañero, y el autor y responsable del alias por el que se me conoce entre amigos y colegas profesionales.

Su vida

Al finalizar la licenciatura (1971), Elízaga ejerció inicialmente su actividad profesional en la empresa de Ingeniería ESTEYCO (1971-1974) donde realizó sus primeros trabajos de Cartografía Geológica aplicada a las Obras Públicas, con los famosos y envidiados proyectos, dentro de la profesión en aquellos tiempos, de: "Estudios Previos de Terrenos", del Ministerio de Obras Públicas.

En 1974, se incorpora al Instituto Geológico y Minero de España donde realmente desarrollaría su corta pero fructífera vida profesional. Desde sus inicios como geólogo del IGME, escogió como líneas profesionales y de investigación sus dos obsesiones: el Mapa Geológico (como único método de representar el resultado de los procesos geológicos), y el análisis estratigráfico y sedimentológico, como claves de interpretación y reconstrucción de ambientes sedimentarios.

La competencia y entusiasmo que le caracterizaban se tradujeron en la realización, dirección y supervisión, de más de setenta y dos hojas del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 y 1:25.000 (MAGNA).

A pesar de su dedicación, por imperativos profesionales, a la Cartografía Geológica, supo compaginar esta especialización con el interés por el conocimiento de los procesos sedimentarios, su dinámica y significado. Esta faceta queda plasmada en los capítulos correspondientes de Estratigrafía y Sedimentología de las memorias de las hojas del MAGNA ya citadas, así como en los diversos trabajos de investigación publicados, y en la realización de su tesis doctoral, *Análisis de facies sedimentarias y petrología, de los depósitos lacustres de edad Neógeno Superior, Zona Prebética, Albacete (España)*.



Comida de la XIV a las XV promoción, 1985.

Su actividad, siempre abierta y expectante, ante nuevos campos de investigación le lleva a trabajar, desarrollar y promover una nueva especialidad: la Geología Ambiental, y especialmente en lo que hace referencia a la influencia de los procesos geológicos sobre el hombre y la de éste sobre el ambiente. En este campo, Emilio Elízaga fue principal impulsor del Grupo Español correspondiente y, posteriormente, fundador de la Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio (SEGAOT), de la que fue durante años el secretario general. Fue igualmente pionero, e impulsor en España, del desarrollo y ejecución del inventariado, catalogación, divulgación y protección del patrimonio geológico.

Su obra

El legado científico que deja Emilio Elízaga es extenso e incluye las distintas especialidades que cultivó a lo largo de su breve, pero intensa, vida profesional y científica. La relación bibliográfica supera las cien publicaciones, comprendiendo: memorias y hojas geológicas, libros, monografías, guías de campo, artículos de investigación, etc.

En su obra se pueden distinguir cuatro apartados temáticos:

- Geología Aplicada a las Obras Públicas (1972-73). Estudios previos de terrenos para vías de comunicación (futuros tramos de autovías y autopistas).
- Cartografía Geológica (1974-1986). Dirección y realización de setenta y dos hojas del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escalas 1:50.000 y 1:25.000, mapas y memorias.
- Estratigrafía y Sedimentología (1975-92). La dedicación a estos campos es un exponente más de la personalidad y afán de superación científica de Emilio Elízaga. Además de las

aportaciones científicas recogidas en las hojas MAGNA, es de destacar su aportación al conocimiento de las facies y ambientes sedimentarios continentales que se plasma en su tesis doctoral y en diecisiete publicaciones en revistas españolas y extranjeras.

- Geología Ambiental y Patrimonio (1978-92). Como ejemplo ilustrativo de su inquietud científica y de su personalidad, hemos dejado para el final la reseña de los trabajos correspondientes a Geología Ambiental, especialidad que comenzó a cultivar en el año 1978. Su atención a los problemas geoambientales no la plantea como una afición más, sino como una obligación de colaborar en un nuevo campo de investigación aplicada, en este caso, al servicio de una mayor calidad de vida.

A esta tarea, de la cual fue pionero en España, dedicó gran parte de su tiempo. Lo atestiguan no sólo sus publicaciones de tipo científico, sino también la multitud de conferencias y cursos impartidos, artículos y libros de divulgación, su dedicación personal a grupos de trabajo multidisciplinares y las labores de dirección en los diversos campos de la Geología Ambiental y la Ordenación del Territorio.

Merece especial mención, por su importancia y peso específico, más de treinta años después, el resultado de su lucha permanente por el desarrollo, divulgación y reconocimiento de algo que hoy en día está ya fuera de toda duda, tanto por su valor innegable como por el grado de aceptación social: el patrimonio geológico en España.

Fue él quien inició el Inventariado y Catalogación de los Puntos de Interés Geológico y Minero de España. Intervino en el desarrollo de su metodología, divulgación y protección. Luchó y consiguió, hace más de treinta años, la edición

de guías divulgativas (Cantabria, Asturias y Galicia), e incluso llegó a promover e intervenir en la realización de las dos primeras y únicas películas serias (por formato, guión y dirección) que se han llevado a cabo en España, sobre patrimonio geológico y los puntos de interés geológico singular.

Él y los que trabajamos con él supimos de la incompreensión, e incluso del desprecio científico que padeció esta actividad, que él siguió defendiendo a capa y espada, a pesar de ser menospreciada y tildada de "geoturismo", por no recordar otros calificativos tan injustos y despectivos como desacertados, vista la realidad actual.

¿Quién le iba a decir a Emilio Elízaga Muñoz que el Instituto Geológico y Minero de España llegaría a tener en su estructura un área específica de Patrimonio Geológico! Pero igualmente, ¿quién se atreve a afirmar que sin él, sin su esfuerzo, las cosas serían así en la actualidad?

Con harta frecuencia al escribir esta reseña, hemos tenido la sensación de estar realizando una mera exposición de la labor personal científica de Emilio Elízaga; si así ha sido, la causa es haber tenido que frenar nuestros pensamientos para evitar que los sentimientos de amistad pudieran invalidar lo auténtico de su obra. Esperamos, por otra parte, que ninguna posible subjetividad cometida empañe la obra de un hombre que, por el número y variedad temática de sus trabajos, calidad científica y, sobre todo, por el número de colegas-amigos que tuvo, se había labrado un prestigio en la comunidad geológica, a pesar de morir a una edad en la que más podía esperarse de su afán creador y capacidad de trabajo.

No quisiéramos terminar este breve perfil humano y profesional de Elízaga, sin destacar alguna de sus facetas, a nuestro entender, más importantes de su personalidad. No había en él ese aspecto externo que, a veces, da notoriedad a las personas, o ese efecto psicológico que mueve y convence por su elocuencia. Poseía una personalidad generosa que elevaba a los demás, su relación era siempre de colaboración desinteresada; no sólo ofrecía sus ideas y conocimientos, sino también su amistad, esa virtud que él profesaba en gran medida.

Esta personalidad vigorosa y creativa la mantuvo hasta el final, animando a sus amigos y compañeros, e incluso haciendo planes para un futuro que él sabía que le estaba vedado. La dignidad y entereza con que soportó su enfermedad y la lucidez de que hacía gala, fueron su última lección para todos aquellos que tuvimos con Emilio una relación de amistad personal y afecto familiar.

José Antonio Águeda Villar
Jaime Palacio Suárez-Valgrande
Madrid, 5 de septiembre de 2012

Colegio Oficial de Geólogos

Creando contigo la Geología Profesional

**Colegiación • Visado • Asesoría • Títulos Profesionales •
Formación • Bolsa de empleo • Jornadas técnicas •
Tertulias • Revista Tierra y tecnología**

www.icog.es



BARCELONA BILBAO MADRID OVIEDO ZARAGOZA

icog@icog.es - + 34 915 532 403

Es miembro de:

Federación Europea de Geólogos • Unión Profesional
Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra



ICOG

El ICOG en la XII Semana de la Ciencia

El 15 de noviembre se celebró en la sede del Colegio de Geólogos de Madrid, dentro de los actos enmarcados en la XII Semana de la Ciencia de Madrid, un geoforo dedicado a la energía geotérmica de baja entalpía en España.

TEXTO | Manuel Recio.

FOTOGRAFÍAS | Irina Tamaracca.

El geoforo contó con la participación de Íñigo Ruiz Ayesta, presidente del grupo de energía geotérmica de baja entalpía de la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA) e ingeniero industrial de la compañía Best Energy. En su exposición, Ruiz repasó algunos de los aspectos más destacados del desarrollo de la energía geotérmica en España, haciendo hincapié en las aplicaciones de energía de baja entalpía para uso residencial.

Ruiz Ayesta recordó que, en España, la energía geotérmica básicamente se utiliza para la generación de calor y frío, y no aporta energía a la red eléctrica. Dentro de las aplicaciones de energía geotérmica de baja entalpía, existen los sistemas de uso directo de los recursos energéticos —en los que se extrae directamente el calor del subsuelo y se inyecta en los edificios— y los sistemas basados en bomba de calor, que se utiliza en aplicaciones de muy baja entalpía. Estos sistemas se basan en el uso de una bomba de calor que extraiga el calor del terreno, lo caliente aún más, y lo inyecte en el edificio. Éstas son las aplicaciones, según Íñigo Ruiz, que están más extendidas en España.

En cuanto a las particularidades del mercado español de energía geotérmica de baja entalpía, Íñigo Ruiz destacó que las instalaciones verticales son las más comunes en nuestro país, frente a las horizontales. En esta línea, recordó que nuestro país, por clima, presenta unas necesidades de planificación e instalación diferentes a las que se pueden dar en países con climas más fríos, en los que los suelos tardan más tiempo en reabsorber el calor del sol. Sobre este punto, incidió en que deben considerarse las necesidades de energía de cada proyecto para diseñar correctamente la instalación. «No es lo mismo el campo de captación de una vivienda, en la que la calefacción va a funcionar seis o siete horas al día, que el de un hotel, por ejemplo, en el que la calefacción va a funcionar constantemente», precisó el representante de APPA.

Como explicó el representante de APPA, la energía geotérmica de baja entalpía es un



Íñigo Ruiz durante su ponencia.



De izda. a dcha.: José Luis Barrera e Íñigo Ruiz.

sistema robusto, limpio, seguro y de alto rendimiento que requiere un mantenimiento mínimo, frente a sistemas como la calefacción por gas, que conlleva un alto consumo de energía. No obstante, Íñigo Ruiz reconoció que uno de los principales obstáculos para el desarrollo de la energía geotérmica somera en España es la falta de formación específica de los profesionales que trabajan en este sector. “La energía geotérmica de baja entalpía requiere de un equipo multidisciplinar”, subrayó Ruiz Ayesta. En su opinión, estos equipos deben estar integrados por ingenieros, arquitectos y geólogos que sean capaces de



Vista de los asistentes.

planificar y ejecutar perfectamente los proyectos de geotermia somera.

Otro de los problemas detectados por este experto para el desarrollo de la energía geotérmica en España es la falta de una normativa específica sobre instalaciones de este tipo, lo que genera inseguridades tanto entre las empresas del sector como entre los consumidores. En este sentido, y para concluir, avanzó que la APPA está trabajando ya en un proyecto para desarrollar un sello de calidad que certifique a las empresas que operan en el sector de la geotermia.

XVIII Premio San Viator de Investigación

Colegio San Viator Madrid

El día 6 de octubre de 2012 tuvo lugar, a las 11:00 horas, en el salón de actos del colegio San Viator de Madrid, la ceremonia de entrega de galardones de la XVIII edición del certamen. Allí había más de trescientas cincuenta personas, entre estudiantes y profesores premiados, familiares, miembros del jurado, representantes de las entidades colaboradoras y patrocinadoras, directores..., provenientes de todos los puntos geográficos de nuestro país.

TEXTO | José Luis Barrera.
FOTOS | Colegio San Viator.

El centro San Viator, colegio concertado de la Comunidad de Madrid, siempre ha tenido una especial sensibilidad por mejorar la calidad de la enseñanza de su alumnado, no limitándose a la mera impartición de los contenidos curriculares sino a proporcionar una educación integral a sus alumnos y alumnas. Siguiendo esta política, el colegio ha impulsado, desde siempre, programas en los que los alumnos sean los protagonistas principales de su propia educación, convirtiéndose en constructores de su personalidad y, en definitiva, de su futuro.

Dentro de este marco, surge el Premio San Viator de Investigación en Ciencias y Humanidades. La idea original, nacida hace ya dieciocho años, ha tratado de potenciar la “pequeña

investigación” que los alumnos de BUP y COU pudieran realizar.

El acto de entrega de galardones

El acto fue presidido por la secretaria de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación, Carmen Vela, quien habló de manera cercana y amena sobre la educación, la investigación y el futuro. La acompañaron en la Mesa de Presidencia (*figura 1*), Ángel Algarra, consejero del Tribunal de Cuentas y miembro de nuestro Jurado de Honor; María Rodríguez, directora del Centro Nacional de Investigación e Innovación Educativa, del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte; Luis Pires, subdirector General de Evaluación y Análisis, de la Consejería de Educación,

Juventud y Deporte de la Comunidad de Madrid; Cristina de la Calle, Coordinadora Institucional del CSIC de la Comunidad de Madrid; César Gallo, vicepresidente de la Fundación REPSOL; Daniel Segovia, director de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III; Mónica de Linos, directora de la Fundación ICO; José Morillo, subdirector general de Ordenación y Desarrollo de Centros de la Universidad San Pablo CEU; Álvaro J. García, director del Centro de Innovación Experimental del Conocimiento de la Universidad Francisco de Vitoria; Almudena Díez, directora del Programa de Formación e Investigación de la Fundación Rafael del Pino; Carmen Caballero, directora de Convenios Española de Santander Universidades y, acogiéndoles



Figura 1. Panorámica de la mesa presidencial. De izquierda a derecha: Álvaro J. García (director Centro de Innovación Experimental del Conocimiento), José Luis Céspedes (director Titular San Viator), Almudena Díez (directora Programa Formación e Investigación), Mónica de Linos (directora Fundación ICO), César Gallo (vicepresidente Fundación Repsol), Ángel Algarra (consejero Tribunal de Cuentas), Carmen Vela (secretaria de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación), María Rodríguez (directora Centro Nacional de Investigación e Innovación Educativa), Luis Pires (subdirector General de Evaluación y Análisis), Cristina de la Calle (coordinadora Institucional CSIC), Daniel Segovia (director Escuela Politécnica), José Morillo (Universidad San Pablo CEU) y Carmen Caballero (directora de Convenios Española).



Figura 2. De izquierda a derecha: Luis E. Suárez, presidente del ICOG, Carmen Vela, secretaria de Estado, y José Luis Barrera, vicepresidente del ICOG.

a todos, José Luis Céspedes Ruiz, director titular del Colegio San Viator.

Por parte del ICOG asistieron su presidente, Luis E. Suárez, y su vicepresidente, José Luis Barrera, que departieron con la secretaria de Estado sobre la situación y la importancia de la Geología en la ciencia y sociedad españolas (figura 2). El Colegio de Geólogos patrocina, desde hace años, el Premio Futuros Geólogos, siendo el ganador este año el centro I.E.S. Santa Engracia, de Linares (Jaén), orientado por el profesor J. A. Quesada Béjar, con las alumnas R. Cazorla Castillejo y V. Serrano Adán, que realizaron el trabajo titulado: *La explotación de los granitos próximos a Linares (Jaén). Una alternativa a la economía de la comarca linarense*.

En el jurado ha estado, por parte del ICOG, Jesús Martínez Frías, que realiza una labor encomiable en el análisis y selección de los trabajos de geología.

Tras la entrega de galardones, el acto finalizó con un interesante concierto del Coro de Cámara de la Universidad Politécnica de Madrid, dirigido por Javier Corcuera. El acompañamiento al piano fue realizado por Miguel Ángel Arqued, antiguo alumno de nuestro centro.

Como ya anunciamos, el acto se retransmitió, de nuevo, vía Internet, gracias a la colaboración de la Universidad Europea de Madrid, siendo una vez más un éxito.

miravé
CLÍNICA DENTAL

Haremos que tu sonrisa sea la que siempre has soñado

Promoción Especial
para el Colegio de Geólogos y familiares directos

Servicios Gratuitos:

- Visita (consulta y revisión)
- Ortodoncia (1a visita)
- Visita prótesis
- Fluoración (infantil y adultos)
- Radiografías intraorales
- Extracción de puntos de sutura

Servicios por sólo 20€

- Extracción dental simple
- Visita de urgencias de día
- Ortopantomografía
- Higiene dental
- Enseñanza de Higiene Oral

Hasta un 20% de descuento:

- En el resto de tratamientos en cualquier especialidad

Últimos servicios: ortodoncia invisible, detección de cáncer oral.

Servicio de Urgencias

Con presencia de dentista
24 horas/365 días

Miravé Tuset - Tuset, 36, bajos - Barcelona 08006
Miravé Travessera - Trav. de Gràcia, 71, bajos - Barcelona 08006
www.clinicamirave.es - sap@clinicamirave.es - Tel. 932 176 889

Profesor Dr. Emile Den Tex (1918-2012)

TEXTO | Charles E. S. Arps & Peter Floor.

TRADUCCIÓN | Manuel Regueiro.

El 3 de enero de 2012 falleció, a la edad de noventa y tres años, Emile den Tex, profesor emérito de petrología, mineralogía y cristalografía de la Universidad de Leiden (más tarde de Utrecht). Fue un miembro muy activo de la comunidad geológica holandesa “Grand Homme” que jugó un papel decisivo en las Ciencias de la Tierra holandesa tras la II Guerra Mundial.

Tuvo también una notable influencia en el avance del conocimiento de la geología de Galicia, por lo que ya destacamos su papel a este respecto en un artículo publicado en el nº 25 de *Tierra y Tecnología* del año 2003 (pp. 37-46).

Tras su doctorado en 1949, den Tex marchó a Australia, un paraíso para los petrólogos, con afloramientos precámbricos muy diferentes de los de Europa, donde se convirtió en un especialista en petrofábricas lo que a la postre significó el advenimiento de la petrología microestructural como especialidad.

En 1959, den Tex aceptó la cátedra de petrología en Leiden. Los trabajos del grupo de Leiden en Galicia, iniciados por W. P. de Roever y continuados por den Tex, dieron lugar a casi veinte años de una amplísima cartografía geológica, unas diez tesis doctorales y numerosas publicaciones. El carisma y la personalidad de Emile atrajeron a un gran número de estudiantes lo que permitió que el grupo ampliara la zona cartografiada. El interés por los trabajos de este grupo fue gradualmente en ascenso incluso entre los jóvenes colegas de España y Portugal, que les visitaron en el campo y en Leiden. Den Tex y su equipo apoyaron desde el principio las *Reuniones sobre Geología de Galicia y Norte de Portugal*, iniciadas por el doctor Isidro Parga-Pondal y el profesor Carlos Teixeira, y cuyo objetivo era reunir a los numerosos estudiantes españoles, portugueses y extranjeros que trabajaban en la zona para intercambiar información y métodos aplicados de trabajo, conscientes de la necesidad de compartir conocimientos y experiencias en beneficio de todos y del país anfitrión. De estas reuniones surgieron el mapa geológico de síntesis a escala 1:500.000 y diversas publicaciones en común.

En 1970, el profesor Michot de Lieja (Bélgica) pidió a den Tex que organizara la excursión



El profesor Den Tex.

a Galicia del año 1971 de la “Asociación para el estudio de las zonas profundas de la corteza terrestre” (AZOPRO). A pesar de la pesadilla logística que implicó su organización, debido a que coincidió con el Año Santo Compostelano, el evento, que tuvo una notable asistencia de españoles y portugueses, fue un gran éxito.

En la clausura de su cuarta reunión, los componentes del grupo de trabajo de Galicia propusieron organizar en la Galicia occidental la quinta reunión de 1977 sobre el tema de las rocas máficas gallegas. La iniciativa fue respaldada

Tuvo también una notable influencia en el avance del conocimiento de la geología de Galicia



El grupo de geólogos en Santiago de Compostela.



El profesor Den Tex en su despacho.

El carisma y la personalidad de Emile atrajeron a un gran número de estudiantes

de modo entusiasta por den Tex ya que era una excelente oportunidad para presentar los resultados del trabajo geológico de los estudiantes y para discutir el modelo de la pluma mantélica para la interpretación de la geología varisca del noroeste peninsular. En las sesiones de la quinta Reunión, den Tex y sus colaboradores presentaron ante una audiencia internacional el nuevo modelo conceptual (pluma mantélica/sistema de rift/modelo de aulacógeno). Las excursiones se organizaron en torno a las evidencias de campo del modelo máfico presentado, en los complejos de Cabo Ortegal, Teixeira-Sobrado, Melide, Santiago-Monte Castelo, la "Fosa Blastomilonítica" y complejos relacionados. La reunión fue un gran éxito ya que estimuló un apasionante debate que continuó durante muchos años, y condujo a reajustes del modelo y a la elaboración de otros modelos alternativos por colegas de Salamanca, Oviedo, Madrid y Granada.

De 1976 a 1978, las cartografías de sesenta y dos trabajos de máster y diez tesis doctorales, se sintetizaron en ocho hojas 1:100.000 y una leyenda. Los resultados y asesorías de Leiden fueron también muy útiles en la elaboración de los mapas del plan de cartografía geológica MAGNA realizados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

En 1967, el grupo de Ciencia de la Tierra de Leiden era uno de los mejores de Europa, con tres profesores al frente: Emile den Tex en petrología, Henk Zwart en geología estructural, Piet Hartman en cristalografía, todos reputados líderes en sus respectivas disciplinas. No obstante, el grupo tuvo que adaptarse al cambio estructural impuesto por el Ministerio Holandés de Educación y Ciencia. Según el ministerio, había demasiados departamentos de geología en Holanda para pocos estudiantes, y demasiados profesores muy onerosos, una carga que «el país no podía soportar». Tras encendidos debates, Leiden claudicó y se fusionó con Utrech, situada en el centro del país. La recompensa fue un edificio enorme e hipermoderno en el entonces recién inaugurado campus de Uithof de la Universidad de Utrech. Emile den Tex fue el primer decano de la Facultad, y casi hasta su jubilación consiguió, con diplomacia y suave autoridad, gestionar un gran grupo, a pesar de las fuertes diferencias de tradición y cultura.

Con la muerte de Emile den Tex, las Ciencias de la Tierra han perdido a un pionero del enfoque profesional, que en la segunda mitad del siglo XX modernizó profundamente las metodologías de investigación y los conceptos de nuestra dinámica Tierra.

Como persona se le echará de menos por sus muchos amigos y colegas.

El geólogo Jorge Civis, nombrado nuevo director del Instituto Geológico y Minero de España

Textos | José Luis Barrera.

El pasado 1 de noviembre, ha sido nombrado nuevo director del IGME, el catedrático de Paleontología de la Universidad de Salamanca, Jorge Civis Llovera (julio, 1948). Es el segundo geólogo que ocupa este cargo desde que se creó este organismo en 1849 (en ese momento, creado como Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino). El primero fue el catedrático de petrología sedimentaria de la UCM, José Pedro Calvo Sorando.

Civis es licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Barcelona (1970) y doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad de Salamanca (1975).

Ha sido director del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca así como director gerente de la Fundación General de dicha universidad. Igualmente, ha impartido clases en la Universidad de Barcelona y en la Universidad del País Vasco. En el año 1981 fue nombrado catedrático de Paleontología de la Universidad de Salamanca.

Jorge Civis ha participado como investigador principal o miembro del equipo de investigación en varios proyectos de carácter internacional y nacional, publicando más de dos centenares de artículos en revistas científicas y participando en múltiples congresos dentro y fuera de nuestro país. Sus líneas de investigación son Micropaleontología del Neógeno en Cuencas Continentales y Micropaleontología del Neógeno y Cuaternario en Cuencas Marinas.

Tiene amplia experiencia en la organización de actividades de I+D como:

- Presidente del Comité Organizador de la IV Jornadas de Paleontología (Salamanca, 1988).
- Presidente del Comité Ejecutivo del III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología (1992).
- Presidente del Comité Ejecutivo del Second Congress RCANS "Main changes in marine and terrestrial Atlantic real during Neogene" (octubre 1997).
- Presidente del Comité Ejecutivo del MAEGS, 11.- International Congress of Association of European Geological Societies (1991).
- Vicepresidente del V Congreso Geológico de España y 1º Word Geologist Professional Meeting (Alicante, 2000).

- Presidente del Comité Ejecutivo del Fourth Congress RCANS "The Atlantic Neogene in the International Year of the Earth Planet" (2008), Buenos Aires, Argentina.

Ha sido presidente de la Sociedad Geológica de España, desde 1998-2001; vicepresidente de la Sociedad Geológica de Francia; presidente y vicepresidente de la Asociación Europea de Sociedades Geológicas, así como miembro del Comité Asesor Científico del Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana. Desde 2009 es miembro de la Academia de las Ciencias de Lisboa, Portugal.

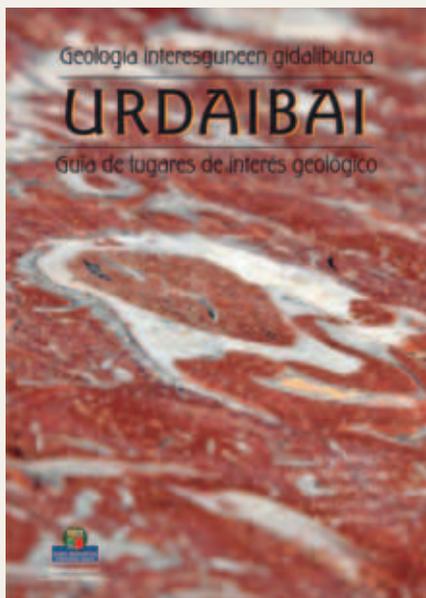
Entre los puestos de gestión que ha ostentado hay que destacar: representación, como presidente de la SGE, en los MAEGS (Meeting of Association of European Geological Societies) celebrados en París (1990), Lisboa (1992) y Praga (1997); director del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca durante 7 años; vicepresidente de la Société Geologique de France (vicepresidencia extranjera) (1991); presidente Honorífico del IX Congreso Latinoamericano de Geología-Caracas (1995); chairman del Regional Committee on Atlantic Neogene Stratigraphy (IUGS) (1997-98); presidente de la Ponencia 5 (Ciencias de la Tierra) de la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (años 1999-2000); director gerente de la Fundación General de la Universidad de Salamanca (2003-2007); vocal de la Comisión Nacional de Geología (O.M. diciembre 2003; MCYT) y miembro de la Comisión Ejecutiva (2003-2009); comisario de la Exposición Año Internacional Planeta Tierra (2008-2009); presidente de la Association of European Geological Societies (1998); miembro del Comité Asesor Científico del CNIEH (Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana) de Burgos.

En unas recientes declaraciones a la prensa, ya como director del IGME, Civis aseguraba que uno de los retos del IGME y de la Geología española en general es acercarse más a los ciudadanos: "Desde mi punto de vista, la sociedad desconoce en gran medida la importante función del geólogo y la importancia que tiene la Geología en la creación de infraestructura del conocimiento



en el ámbito de la ciencias y tecnologías de la Tierra. Quizá somos poco conscientes de que la Tierra es el soporte físico de la vida y que también es vulnerable. Nos acordamos cuando alguna catástrofe natural nos produce efectos negativos o irreparables o cuando algún recurso, como el agua, nos falta. De todos modos es un problema que merece una profunda reflexión y que atañe ya, desde sus comienzos, a los diferentes niveles del sistema educativo".

El Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, ICOG, valora positivamente el nombramiento de Jorge Civis como nuevo director del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y muestra su satisfacción por el hecho de que la máxima institución geológica del país la dirija de nuevo un geólogo cuyo perfil profesional es muy próximo a las actividades centrales del Servicio Geológico español. El Colegio recuerda que siempre ha apostado por que el IGME sea un organismo dual de investigación y de servicios a los ciudadanos y las administraciones, por lo que con este nombramiento espera se retome esa línea.

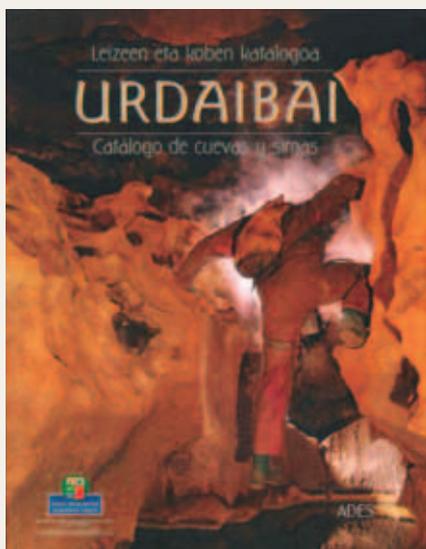


Título: Urdaibai. Guía de lugares de interés geológico
 Autores: Mendia, M.; Monge-Ganuzas, M.; Díaz, G., González, J.; y Albizu, X.
 Editorial: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno vasco. ejgpublicaciones@ej-gv.es
 ISBN: 978-84-457-3220-5
 Depósito legal: VI 810-2011
 Páginas: 333

Urdaibai. Guía de lugares de interés geológico

Esta publicación permite acercarse a ese libro escrito en las rocas, minerales, fósiles, sedimentos y procesos geológicos de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. La publicación toma como referencia el trabajo de inventario de los Lugares de Interés Geológico de Urdaibai, realizado por la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea en colaboración con la Oficina Técnica de Urdaibai. Se describen las zonas geológicamente más interesantes de la Reserva de la Biosfera, su origen y evolución ambiental a lo largo del tiempo, la evolución de los climas del pasado y del presente y la consiguiente evolución de la vida.

La edición está ampliamente ilustrada con mapas, esquemas y fotos a todo color. Un buen libro para conocer la realidad geológica de la Reserva.



Título: Urdaibai. Catálogo de cuevas y simas
 Autores: Asociación Deportiva Espeleológica Saguzarrak (ADES), Monge-Ganuzas, M.; Urrutia, S.; López-Quintana, J.C.; Rodríguez, P.; Achurra, A.; Aramburu, A.; Iriarte, E.; Morales, T. y Fernández de Valderrama, I.
 Editorial: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco
ejgpublicaciones@ej-gv.es
 ISBN: 978-84-457-3096-6
 Depósito Legal: BI 2353-2010
 Páginas: 545

Urdaibai. Catálogo de cuevas y simas

Dentro del excelente patrimonio natural de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai destacan las cavidades, cuevas y simas que fueron el primer hogar que dio cobijo a los antiguos habitantes del valle. Además de albergar un invaluable patrimonio arqueológico, las cuevas también albergan una biodiversidad poco conocida y un importante patrimonio geológico. La publicación es un reconocimiento al trabajo de los autores que durante tres décadas han llevado a cabo el intenso trabajo de descubrir, explorar, cartografiar y catalogar todas las cavidades que en este volumen se describen, además de prestar sus impresionantes imágenes, redactar los textos y realizar los diagramas descriptivos.

El libro recoge 235 cavidades, que no son sino "una muestra de lo mucho que queda por descubrir, tanto porque seguro que existen más, como por el entramado de conductos subterráneos existentes" en la Reserva.

La edición está ampliamente ilustrada con mapas, esquemas y fotos a todo color.



Título: Juan Vilanova y Piera (1821-1893), la obra de un naturalista y prehistoriador valenciano

Autores: Francisco Pelayo López y Rodolfo Gozalo Gutiérrez

Edita: Diputación de Valencia, 2012. Servicio de Investigación Prehistórica del Museo de Prehistoria de Valencia

Colección: Serie de trabajos varios, número 114

Páginas: 323

ISBN: 978-84-7795-627-3

Juan Vilanova y Piera (1821-1893), la obra de un naturalista y prehistoriador valenciano

Cuando el naturalista valenciano don Juan Vilanova y Piera (1821-1893), en el año 1854, comienza su experiencia docente en el Museo de Ciencias Naturales de Madrid, tiene 33 años. Considera que ya ha completado su formación en Europa como geólogo y paleontólogo y se siente llamado a contribuir a la modernización de nuestra enseñanza universitaria y de la sociedad en general a través de las ciencias de la Tierra aplicadas a la agricultura y a la minería. Es una sociedad, la española, erizada de dificultades políticas y administrativas, de carencias institucionales y de constricciones ideológicas.

En esta densa y extensa monografía, exhaustivamente fundamentada en documentación inédita, los profesores Francisco Pelayo (CSIC, Madrid) y Rodolfo Gozalo (Universidad de Valencia) nos introducen en la aventura apasionante de un científico en el contexto de medio siglo de la historia de España. Asistimos a sus avatares académicos, a la complejidad y diversificación de sus trabajos geológicos, a la trayectoria humana, social, política e ideológica del honesto Juan Vilanova y Piera. Asistimos a su formación en Europa en el contexto de una ciencia de paradigmas emergentes tras la difusión de las ideas de Charles Lyell. Seguimos sus huellas en la presencia en la Universidad de Madrid y en el Museo de Ciencias Naturales, abriendo ventanas en la enseñanza de la Geología y de la Paleontología y dedicado a la difusión social de los conocimientos sobre las raíces de la humanidad, la congruencia entre sus creencias religiosas y el conocimiento científico, y enredado en las polémicas sobre el darwinismo.

Vilanova era un hombre honesto consigo mismo. De talante conservador pero dialogante, nunca aceptó las ideas evolucionistas, pero estuvo abierto a la posibilidad de que la ciencia le mostrase lo contrario. Quería pruebas fehacientes e intervino en la reinterpretación no evolucionista de las supuestas pruebas que otros aducían, como es el caso del famoso Eozoon canadiense o del Protriton. Al final de sus días, se sentía aprisionado entre dos fuerzas. Por un lado, el evolucionismo iba tomando cuerpo y se sentía atacado; y por otro, las fuerzas más conservadoras lo consideraban tibio al no condenar desde la ciencia la posibilidad de la evolución biológica y humana.

El presente libro —como afirma el prólogo de Bernat Martí Oliver— representa la culminación de una larga y profunda investigación sobre Juan Vilanova y Piera, que además nos ofrece nuevos y muy valiosos elementos, inéditos hasta el momento, que serán objeto de futuros estudios; esto es, la catalogación del Fondo Documental Juan Vilanova y Piera del Museo de Prehistoria de Valencia.

A sus autores de deben importantes aportaciones previas, entre las que podemos destacar la biografía y la bibliografía de J. Vilanova publicada por el profesor Rodolfo Gozalo en el volumen de Homenaje a Juan Vilanova y Piera que diversas instituciones valencianas le dedicaron en el centenario de su fallecimiento, en 1993. Por otro lado, destacamos los estudios del doctor Francisco Pelayo sobre la formación científica de J. Vilanova en Europa, de 1995, así como la amplia investigación sobre el modo y el alcance del enfrentamiento entre creacionistas y evolucionistas, entre los seguidores del paradigma catastrofista de Cuvier y el darwinismo gradualista dentro del mundo intelectual español del siglo XIX.

Y todavía hemos de recordar el trabajo conjunto de V. L. Salavert (recientemente fallecido y a quien dedican el volumen), F. Pelayo y R. Gozalo sobre *Los inicios de la Prehistoria en la España del siglo XIX* (publicado en 2003), que incluye el análisis de la gestación y contenido del libro de Juan Vilanova y Piera, *Origen, naturaleza y antigüedad del hombre*, publicado en 1872. Una obra, casi simultánea en el tiempo de la obra antropológica de Charles Darwin, que puso al alcance de la sociedad española los conocimientos europeos del momento sobre la prehistoria. Se incluía una información geológica y paleontológica igualmente actualizada, y una exposición detallada de las cuestiones a debate, caso del llamado transformismo, además de una recopilación detallada y rigurosa de los yacimientos prehistóricos conocidos en España, entre los que ocupan un lugar destacado los descubiertos por Vilanova en tierras valencianas.

El volumen se estructura en nueve capítulos a los que se añaden ocho apéndices. Los cuatro primeros tienen una cierta unidad cronológica y se refieren a la biografía y obra de Vilanova: su perfil humano y familiar, su formación, el periplo europeo, su magisterio en la Universidad de Madrid y en el Museo de Ciencias Naturales y su tarea como divulgador científico.

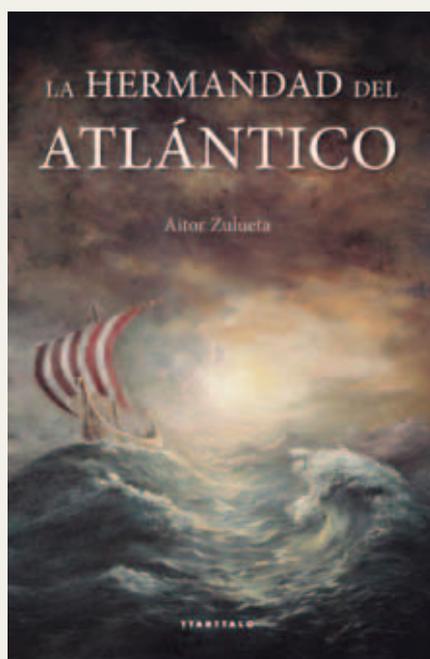
Los capítulos V y VI se centran en la aportación de Vilanova a las Ciencias Geológicas y a la Paleontología, así como su aportación a la Arqueología Prehistórica. Un capítulo especial (VII: "Creacionismo y antidarwinismo en Vilanova) analiza el espinoso tema de la actitud crítica constructiva de Vilanova ante el transformismo darwinista.

Los dos últimos capítulos contienen el catálogo pormenorizado en ocho apartados del Fondo Documental Juan Vilanova (donación Juan Masiá Vilanova) depositado en el Museo de Prehistoria de Valencia, así como una extensa y exhaustiva bibliografía muy bien estructurada.

Los ocho apéndices, de muy desigual importancia, refieren, entre otros asuntos, el texto del ejercicio de oposición a la cátedra de Historia Natural de la Universidad de Oviedo, el manuscrito a Revista Minera sobre terminología geológica, el texto sobre concordancia entre Génesis y Ciencia, y las Medallas y condecoraciones de Juan Vilanova.

Un interesantísimo estudio documental que nos acerca a la figura de uno de los pilares de la geología y de la paleontología en España en el contexto social de su época: D. Juan Vilanova y Piera.

Leandro Sequeiro



Título: La hermandad del Atlántico
 Autor: Aitor Zulueta Telleria
 Editorial: Ttarttalo
 Año: 2012
 ISBN: 987-84-9843-375-3
 Páginas: 356
 Precio: 22 €

La Hermandad del Atlántico. Una novela de aventuras sobre vikingos escrita por el geólogo Aitor Zulueta

A principios del siglo XI, Eneco de Baigorri anhela conocer qué hay más allá de la línea del horizonte que contempla desde su Vermelio natal. En un viaje al puerto de La Rochelle (Francia), conoce a navegantes francos y vikingos y con ellos se embarcará en una aventura que lo llevará a descubrir otros pueblos diseminados a orillas del Atlántico.

Ya en el siglo XXI, el doctor Holger Boenisch descubre en Ribe, Dinamarca, la tumba de una mujer de nombre no escandinavo, María de Baigorri, asociada a una organización comercial que ningún libro de historia recoge. Boenisch recorrerá medio mundo hasta dar con la verdadera historia de La hermandad del Atlántico.

Aitor Zulueta recrea con maestría el mundo dinámico de la Europa del siglo XI que difícilmente transmiten los libros de historia. Una Europa totalmente ajena a la historia más conocida del Mare Nostrum y donde la aventura y los valores puros tienen un premio: la supervivencia.

El autor: Aitor Zulueta (Bermeo, 1966) es licenciado en Ciencias Geológicas. Entre sus ocupaciones profesionales, ha sido profesor universitario y, actualmente, es consultor en ingeniería ambiental, campos aparentemente lejanos a la literatura. Creció en un ambiente poco expuesto a influencias de otras culturas, salvo sus lecturas —Julio Verne, Mark Twain o Robert Louis Stevenson—, que leía y releía sin parar. Amante de las culturas germánicas y de los viajes, ha recorrido gran parte del norte de Europa, incluyendo la mayoría de las islas noratlánticas. En *La hermandad del Atlántico*, su primera novela, publicada por la editorial Ttarttalo, ha volcado sus sueños de aventura y sus conocimientos.

El libro es un relato de aventuras con trasfondo histórico que combina, entre dos historias paralelas separadas por diez siglos, literatura con numerosos apuntes procedentes de referencias científicas.

Además de en la propia web de la editorial, la novela está disponible en los principales puntos de venta por Internet, como Amazon, El Corte Inglés, FNAC o Casa del Libro.

Normas de publicación

Principios generales

- Los artículos deberán ser originales, estar escritos en castellano y no estar publicados en ninguna otra revista.
- El comité editorial revisará los manuscritos y decidirá su publicación o devolución.

Texto

- Se entregará en un archivo Word, en cualquier tipo y tamaño de letra.
- Para calcular la extensión se informa de que 800 palabras son una página editada de la revista.
- Todas las ilustraciones (mapas, esquemas, fotos o figuras) y tablas serán referenciadas en el texto como (*figura...*) o (*tabla...*).
- Las referencias bibliográficas dentro del texto se harán siempre en minúscula.

Tablas

Toda información tabulada será denominada "tabla" y nunca "cuadro".

Figuras

- Todas las ilustraciones se considerarán figuras.
- Las figuras se reseñarán dentro del texto como (*figura...*).
- Es recomendable una o dos figuras por cada 800 palabras de texto.
- El tamaño digital de todas las figuras deberá ser > de 1 mega.
- NO SE ADMITEN ILUSTRACIONES DE INTERNET, salvo casos excepcionales.
- Cada figura se entregará en un archivo independiente.
- Los pies de figura se incluirán en una página independiente dentro del archivo de texto.

Estructura del artículo

- Los artículos tendrán un **título**, seguido de un **post-título** (entradilla, a modo de resumen).

Detrás se pondrá el nombre del autor/es, con la titulación que tenga, y a continuación se incluirán **palabras clave** (entre tres y cinco).

Al final del artículo podrán incluir **agradecimientos**.

- El texto general estará dividido en epígrafes, pero NUNCA se comenzará poniendo la palabra "Introducción".

Bibliografía

Las referencias bibliográficas se reseñarán en minúscula, con sangría francesa, de la siguiente manera:

Barrera, J. L. (2001). El institucionista Francisco Quiroga y Rodríguez (1853-1894), primer catedrático de Cristalografía de Europa. *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza*, (40-41): 99-116.

El nombre del autor presentará primero su apellido, poniendo sólo la inicial en mayúscula, seguido de la inicial del nombre y del año entre paréntesis, separado del título por un punto.

Los titulares de artículos no se pondrán entre comillas ni en cursiva. Los nombres de las revistas y los títulos de libros se pondrán en cursiva.

Envío

Los manuscritos se remitirán por correo en un CD o por correo electrónico a:
Tierra & Tecnología, Colegio Oficial de Geólogos:
C/ Raquel Meller, 7, 28027 Madrid.
Tel.: + 34 915 532 403
icog@icog.es

Copias

Los autores recibirán un PDF y varios ejemplares de la revista completa. Se devolverán los materiales originales.





www.icog.es/gq2013

IX Congreso Ibérico XI Congreso Nacional de **GEOQUÍMICA**

Soria, 16-18 septiembre 2013
Campus Universitario | Duques de Soria



ORGANIZAN

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
COLEGIO OFICIAL Y ASOCIACIÓN DE QUÍMICOS DE MADRID
CONSEJO SUPERIOR DE COLEGIOS DE INGENIEROS DE MINAS
GRUPO DE GEOQUÍMICA DE SOCIEDAD GEOLÓGICA DE PORTUGAL



Asociación
Químicos
de Madrid



Colegio Oficial
Químicos



Consejo Superior de Colegios
de Ingenieros de Minas



CENTRO DE ASTROBIOLOGÍA

CSIC

