



Ilustre Colegio
Oficial
de Geólogos

Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • Nº 33 • PRIMER SEMESTRE 2008



La Fuente Santa: leyenda y realidad

- Inauguración de la nueva sede en el País Vasco
- Homenaje a dos pioneros del ICOG en Asturias
- Auditorías ambientales
- Los morteros en la construcción
- Rutas geomonumentales



versos '08

VERTEDEROS Y SOSTENIBILIDAD


CONGRESO MTD SOBRE VERTEDEROS CONTROLADOS

Lugar de
celebración




Feria internacional
del desarrollo
sostenible


Bilbao 3 y 4 de noviembre de 2008

Mejores Tecnologías Disponibles (MTD)




Última normativa y Legislación en relación con vertederos e instalaciones de depósito de residuos.



Estado del arte en sistemas de tratamiento de residuos en vertederos e instalaciones complementarias.



Nuevos materiales y técnicas constructivas en vertederos.



Diseño, explotación y control de vertederos e instalaciones de depósito de residuos en conformidad con la AAI

Organiza:



Escola Geoloxía Elkargo Oribale
El Centro Geoloxía Oribale de Gobiernos del País Vasco
www.icogeuskadi.org/versos2008

Patrocinan:



Entidades Colaboradoras:





Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN
GEOLÓGICA
Nº 33 • PRIMER SEMESTRE 2008

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

COLABORADORES

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

CORRESPONSALES

LUIS ALFONSO FERNÁNDEZ PÉREZ (ASTURIAS)

SECRETARÍA

ÁUREO CABALLERO

WWW.ICOG.ES

ICOG@ICOG.ES

WEBMASTER: ENRIQUE PAMPLIEGA

DISEÑO

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

ISSN: 1131-5016

DEPOSITO LEGAL: M-10.137-1992

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

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

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

FOTO PORTADA: ACUARELA DE AUTOR DESCONOCIDO,
PINTADA APENAS UNOS MESES DESPUÉS DE CESAR LA
ERUPCIÓN DEL VOLCÁN SAN ANTONIO. FOTO CEDIDA POR
EL AHN DE MADRID, LEGAJOS CORRESPONDIENTES A LA
SANTA INQUISICIÓN

Sumario

- 2 • EDITORIAL
- 3 • LA FUENTE SANTA: LEYENDA Y REALIDAD
- 15 • IMPORTANCIA DE LOS ÁRIDOS EN EL MUNDO ACTUAL Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA Y LA ORDENACIÓN TERRITORIAL
- 25 • AUDITORÍAS AMBIENTALES
- 31 • LOS MORTEROS EN LA CONSTRUCCIÓN
- 39 • RUTAS GEOMONUMENTALES: LA GEOLOGÍA PARA LA ENSEÑANZA Y DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
- 47 • LA CONSEJERA DE MEDIO AMBIENTE DEL GOBIERNO VASCO INAUGURÓ LA NUEVA SEDE DEL ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS DEL PAÍS VASCO
- 54 • EL COMPORTAMIENTO FRENTE AL HIELO DE LA PIEDRA NATURAL
- 59 • SIRIA. CINCO MIL AÑOS DE HISTORIA NOS CONTEMPLAN
- 71 • ANAGLIFO DIGITAL DEL RELIEVE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA
- 75 • HOMENAJE A DOS PIONEROS DEL ICOG DE ASTURIAS
- 81 • WALTER ÁLVAREZ EN EL IGME
- 83 • BIOCOMBUSTIBLES, ¿ALTERNATIVA REAL?
- 85 • LA RECUPERACIÓN DE LOS HORNO DE CAL DEL ZANCAO EN VEGAS DE MATUTE (SEGOVIA)
- 94 • EMILIA PARDO BAZÁN Y EL GEÓLOGO FEDERICO BRUCK. ¿QUIÉN ERA BRUCK?
- 102 • LIBROS

El momento de las profesiones liberales

Algo se mueve en el mundo de los profesionales europeos, con la entrada en vigor de la Directiva "Servicios" (Directiva 2006/123/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006) que tiene que estar transpuesta el 28 de diciembre de 2009. La Directiva tiene como objetivo la creación de un auténtico mercado interior de servicios en 2010, para facilitar la libertad de establecimiento de los prestadores de servicios en otros Estados miembros, y mejorar la calidad tanto para los consumidores como para las empresas usuarias. En declaraciones recientes de Carlos Carnicer, presidente de Unión Profesional (UP), en Europa hay más de veinte millones de profesionales liberales, de los que un millón y medio están en España. En el año 2015, Europa necesitará 12,5 millones de técnicos cualificados procedentes, en su mayoría, de las profesiones liberales, y todos estarán ya sometidos a la nueva Directiva. A los Colegios Profesionales, como garantes de la calidad de los servicios, se les exige que aumenten y fomenten, entre otros temas, la formación continua o elaboración de códigos de conducta europeos.

Para debatir los cambios que se avecinan, la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander organizó, a comienzo del mes de julio, un encuentro sobre *La Europa de las profesiones*, dirigido por Luis Suárez, presidente del ICOG, y Juan José Badiola, presidente del Consejo General de Colegios Veterinarios de España. Allí se habló de muchas cosas pero, sobre todo, destacaron las palabras del presidente del Consejo Europeo de Profesiones Liberales (CEPLIS), Pietro A. Sardi, que anunció el interés de la Unión Europea por implantar un sistema en el ejercicio de las profesiones liberales similar al modelo anglosajón, aunque, matizó, que eso no se puede hacer por decreto, porque en Gran Bretaña ha costado dos siglos generar la cultura profesional que tienen. Se trata de liberalizar el mercado para aumentar la competitividad y la calidad de los servicios. Ya se empezó con esta política hace poco tiempo cuando se prohibieron no sólo los honorarios mínimos de los Colegios, sino incluso los orientativos. Sardi destacó que los profesionales, por estar en contacto directo con la ciudadanía, estamos capacitados para transmitir a los políticos, y su acción política, lo que se debe incorporar a la normativa europea. De ahí que la UE reconozca la autorregulación de los profesionales.

El valor añadido de las organizaciones colegiales españolas y sus homólogas en Europa reside en la capacidad de evaluación y acreditación de las competencias del profesional en activo. En esta línea, es un principio muy importante acreditar a la sociedad nuestra competencia profesional. Hay que ir sustituyendo la autorización por la ACREDITACIÓN. ¿Le suena esto? El ICOG ya expide desde hace años los títulos profesionales para ACREDITAR a la sociedad que un colegiado está capacitado para ejercer como profesional. ¿Qué se exige? Pues tener experiencia probada y una formación continua. Eso es lo que resulta que quiere ahora Europa. También busca, y en eso no le falta razón, desvestir a los Colegios Profesionales del viejo absolutismo corporativo que impide la libre competencia.

En ciertos sectores sociales y políticos hay todavía una reticencia a incorporar a los profesionales en el debate sobre el papel de los profesionales liberales en el desarrollo social. En este sentido, parece que los Colegios no sólo tenemos como enemigos a los viejos liberales europeos (sobre todo anglosajones), sino a algunos gobiernos que no nos admiten como interlocutores a la hora de preparar iniciativas legislativas, a las propias organizaciones empresariales o a los sindicatos.

El problema de querer liberalizarlo todo es que el sistema se guía sólo por el negocio, es decir, por ganar dinero, independientemente de la calidad del servicio. ¿Es eso lo que quieren algunos en Europa? Mal vamos los profesionales si se ultraliberaliza el mercado. ¿Dónde quedan la calidad y la garantía del trabajo bien hecho? Desde hace muchos años, los Colegios y Asociaciones Profesionales están garantizando estos servicios a través de controles colegiales. En el caso concreto del ICOG, hay pruebas más que suficientes para demostrar la función social del Colegio. Se ha comprobado, por ejemplo, que la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación ha supuesto una garantía de calidad y seguridad para el ciudadano, como demuestra el descenso de siniestros en la edificación. El coste del Seguro de Responsabilidad Civil asociado al visado es tan bajo que nadie puede decir que sea un factor inflacionario. ¿Le costaría lo mismo el seguro al colegiado que quisiera asegurar individualmente su trabajo? Pues no. Todos sabemos que no es lo mismo un seguro individual que uno colectivo. El aumento de la inflación está en otros parámetros que nada tiene que ver.

La Fuente Santa: leyenda y realidad

‘Nullus fons non sacer’ (No hay fuente que no sea sagrada)

Este artículo narra el anhelo de una isla por rescatar una fuente que un aciago día sepultó un volcán. Comienza relatando cómo era, dónde surgía el mítico manantial termal y quiénes fueron los ilustres enfermos, historiadores y visitantes que la conocieron. Prosigue con su brusca desaparición por la erupción de un volcán, sepultándola bajo toneladas de piedras, escorias y coladas de basalto. Continúa describiendo cómo inútilmente y durante tres siglos intentaron encontrarla, participando en la búsqueda ingenieros y geólogos de renombrado prestigio internacional. Y termina detallando la forma en que recientemente se descubrió y desenterró la Fuente Santa, mediante una obra de ingeniería realmente singular, proyectada y dirigida por la historia, la geología y la hidroquímica.

TEXTO Y FIGURAS | Carlos Soler Licerias, ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

FOTOS | Roberto de Armas y Carmelo Martín

Palabras clave

Fuente Santa, La Palma, erupción de San Antonio

Acerca de cómo era y para qué servía la tan nombrada Fuente Santa

La Fuente Santa era un manantial termal que brotaba al pie de un elevado acantilado costero en la punta sur de la isla de La Palma (Canarias). Desde la conquista de la isla por las huestes de Don Alonso Fernández de Lugo en el año 1493, los castellanos conocieron y se maravillaron de las virtudes curativas de este naciente. Rápidamente, la fama de sus espectaculares curas corrió por toda la cristiandad y tan sólo 40 años después atrae ya a ilustres visitantes. El primero de ellos fue Don Pedro de Mendoza y Luján, nombrado por el emperador Carlos I, adelantado de los Mares del Sur. Este soldado ejemplar, curtido en las guerras contra Francia, participó en el Saco de Roma y decían que allí acrecentó su fortuna pero también se contagió de sífilis, aquella terrible enfermedad venérea que trajeron los españoles de América y que mató en Europa a reyes y emperadores como Francisco I y Maximiliano I. Fue la penosa enfermedad, la fama de la fuente y el fracaso de las



Figura 1. Retrato de Alvar Núñez Cabeza de Vaca, segundo adelantado de los Mares del Sur. Estuvo durante una larga estancia en la isla de La Palma visitando la Fuente Santa. Su visita obedecía a su interés por las curas y a todo lo concerniente a la medicina debido a su particular odisea en tierras americanas. Durante diez largos años recorrió el camino entre La Florida y México ejerciendo de esclavo, obrero y, por último, de curandero. Al final de su periplo fue recibido por Hernán Cortés cuando le seguían y aclamaban como hechicero más de 5.000 indios. Durante su epopeya como adelantado descubrió las cataratas de Iguazú. Había nacido en Jerez de la Frontera, era el tercero de seis hermanos, el mayor de los varones, y como él mismo dice en sus Naufragios: "[...] era hijo de Francisco de Vera y nieto de Pedro de Vera, el que ganó a Canaria, y su madre se llamaba Doña Teresa Cabeza de Vaca...".

famosas curas del médico sevillano Juan Bautista Monardes y su "guayaco", los que hicieron que Don Pedro, camino de la conquista de Uruguay, Paraguay y Argentina y de la fundación de la Ciudad de Nuestra Señora de los Buenos Aires, recalara en Canarias, dejara anclados los diecisiete buques y sus 2.500 hombres durante un mes, mientras se curaba en la Fuente Santa.

Pero no fue el único conquistador que visitó la fuente ya que, tres años más tarde, la fama de sus curaciones atrajo a otro de los grandes: Don Alvar Núñez Cabeza de Vaca (figura 1). Era éste un apasionado de la medicina, adquirió la afición durante su periplo de diez años por la parte meridional de América del Norte, periodo de tiempo en el que conoció de primera mano el desastre de la expedición de Pánfilo Narváez a La Florida, la esclavitud a mano de los indios, su ascenso a curandero y su entrada gloriosa en la Ciudad de México, recibido por Hernán Cortés y seguido por 5.000 indios que le aclamaban como gran chamán. Su obsesión por los tratamientos médicos hizo que recalase en La Palma en el viaje

que hizo al archipiélago para reclamar su derecho al título de adelantado de Las Islas Canarias que tenía en pleito con Don Alonso Fernández de Lugo. En esta isla, y bañándose en las aguas de la Fuente Santa, supo de la desastrosa expedición de Don Pedro de Mendoza y de su trágica muerte. Con la exclusividad de la noticia, Don Alvar viajó todo lo rápido que en esa época se podía hacer, hasta llegar a Valladolid, donde convenció al emperador, a cambio de renunciar a sus derechos sobre Canarias, para que le nombrase segundo adelantado de los Mares de Sur. Así fue, y su expedición resultó tan desastrosa como la primera.

Ambos ilustres visitantes conocieron la fuente tal y como había permanecido desde antes de la conquista de la Corona de Castilla, cuando sólo los auaritas, primitivos habitantes de La Palma, la conocían y la llamaban *Tagragito*, que significaba agua caliente. Brotaba al pie de un acantilado de 150 metros de altura y, donde el mar había formado una pequeña rasa costera con los callaos de playa, se encontraban dos charcas (figura 2). El nivel oscilaba con la marea y, según el momento, presentaba mayor o menor temperatura. La primera de éstas, la más cercana al acantilado, estaba dedicada a San Lorenzo y sus aguas eran más calientes, superando los 40 grados. Entre ésta y la orilla de la playa se situaba la otra, dedicada a San Blas, que, al estar más cerca del mar, estaba llena de agua tibia, próxima a los 30 grados. En ambas charcas, más otras que algunos enfermos pudientes excavaban en el conglomerado costero, se daban los tratamientos que curaban la lepra, sífilis, elefantiasis, reuma y todas aquellas enfermedades de piel y del aparato digestivo que entonces afligían gravemente a la humanidad.

Durante el tiempo en que manó el maravilloso nacimiento fue visitado por innumerables viajeros pero sólo dos nos dejaron un testimonio escrito de su visita. El primero fue Fray Gaspar Frutuoso, que en su libro *Saudades da Terra* da una cita escueta de la fuente: "una fuente muyto quente que se secó e tornó a brotar". Mucho más amplia fue la cita de otro franciscano que, 50 años más tarde, en 1601, la visitó y dejó escrito que "una

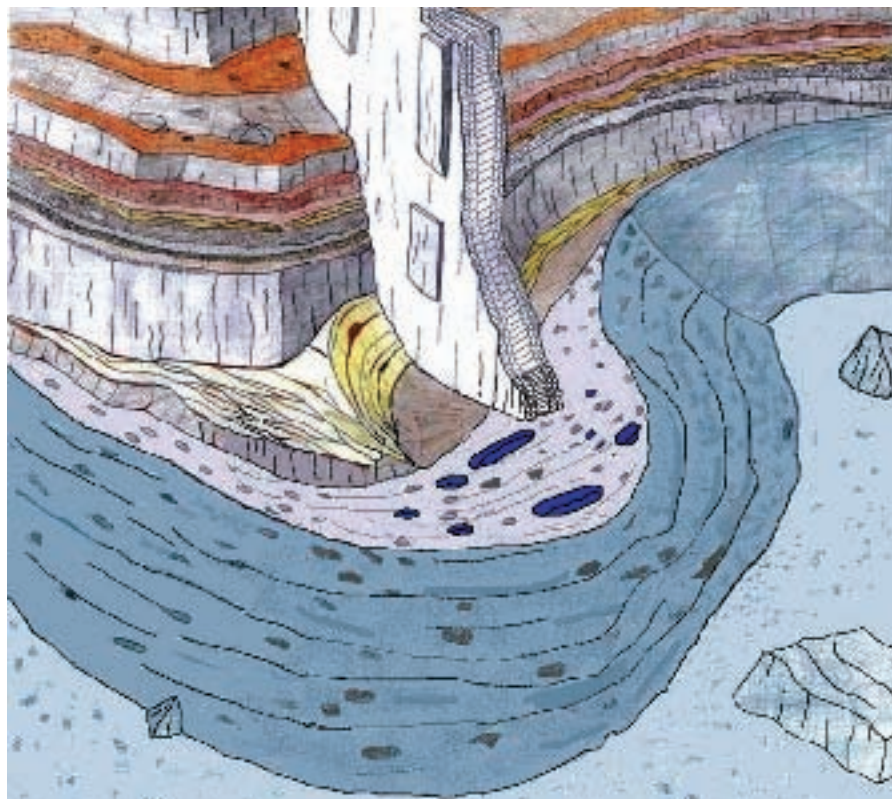


Figura 2. Dibujo de la costa donde manaba la Fuente Santa, al pie de un acantilado de 150 metros de altura, formado por la erosión del mar sobre un terreno compuesto por la apilación sucesiva de coladas y escorias volcánicas, y atravesado en toda su altura por un potente dique intrusivo.

fente que nace a la orilla del mar no se puede aprovechar de ella, si no es de bajamar, porque, cuando crece, la cubre; y sale tan caliente que, puesta una lapa del mar en el nacimiento del agua, se despide de la concha". Ambas citas aportan ciertas claves que, como se verá más adelante, fueron útiles para encontrar el manantial.

A comienzos del siglo XVII, la fama de sus curaciones fue creciendo y logró que el nombre de la Fuente Caliente, como así la llamaban en esa época, se conociera en Europa y América. A medida que transcurría el siglo, la fama fue aumentando hasta lograr que la isla de La Palma ostentara el mayor tráfico de pasajeros y que su renta per cápita fuera la mayor de Canarias. El lugar pasó a llamarse Fuencaliente y allí nacían pueblos al amparo de prestar sus servicios a los enfermos. Ése fue el caso de Las Indias, llamado de esta forma por la riqueza de sus habitantes que, a cambio de hospedaje o comida a los pacientes, engrandecieron su fortuna de una forma ostensible. La fama del manantial termal traspasó la frontera natural de los océanos y pronto sus

asombrosas curaciones pasaron a ser consideradas milagrosas, y fue así cuando cambió su nombre por el de la Fuente Santa, convirtiéndose en el balneario más famoso del Atlántico.

Pero... cuando mayor era la santidad de sus aguas, cuando la riqueza fluía a raudales por la isla y cuando la salud había dejado de ser un problema para sus habitantes... todo acabó bruscamente.

En donde se describe cómo desapareció la Fuente Santa

El sábado 13 de noviembre de 1677 entró en erupción la montaña de Los Corrales en el mismo término de Fuencaliente. Los ruidos y los temblores iniciales dieron paso a la apertura de una grieta que desde el pie de la montaña se dirigió hacia la parte más alta del acantilado que albergaba la Fuente Santa. Pocas horas después surgieron las bocas del averno, hasta veinte se contaron por donde se vomitaban piroclastos y coladas. Todos los flujos de lava se reunieron en un solo brazo que se dirigió hacia el oeste cayendo por el acantilado costero y creando una rasa litoral que,

a golpe de lava, fue agrandando la isla. Los palmeros, acostumbrados a estas demostraciones de la fuerza de la naturaleza, años antes habían presenciado la erupción de 1649, comenzaron a preocuparse muy seriamente con ésta. La grieta se dirigía hacia el sur y, hacia esa misma dirección, corrieron las coladas que fluyeron el 17 de noviembre. Rápidamente se dio la voz de alarma; el río de lava se dirigía hacia las escotaduras del acantilado, allí mismo donde a su pie surgía la Fuente Santa. Unos dicen que fue por intercesión divina, otros porque en el último momento el río incandescente se canalizó por una pequeña barranquera, el caso es que la colada se desvió hacia el sur precipitándose por los escarpes del acantilado.

La Palma respiró aliviada creyendo que todo había pasado y, cuando más tranquila estaba, llegó el 23 de noviembre. Esta vez, con una colada hacia el oeste y otra hacia el sur, la siguiente que brotó de las veinte bocas del averno se canalizó en el espacio que dejaron las dos y sin remedio, por más que de nuevo lo intentaran los palmeros, la colada fue acercándose al borde del acantilado. Mucho antes de llegar empezó a empujar hacia el vacío todas las piedras y escorias que, a modo de morrena, llevaba arrastrando por delante. Al caer todo ese material iba derrumbando el propio acantilado, y unos y otros fueron cayendo sobre la Fuente Santa, sepultándola bajo toneladas de piedras. Cuando la colada llegó al borde del acantilado, éste se había convertido en una rampa que aprovechó el río de lava para encauzarse y llegar hasta el mar donde creó una rasa costera, sepultando con ello lo que ya había sido previamente enterrado.

Los palmeros y todos aquellos enfermos que aguardaban turno para la fuente asistieron perplejos e impotentes al espectacular desastre. Nadie daba crédito a lo que veía y mucho menos valoraba lo que había sucedido. La erupción continuó durante dos meses más pero ya ninguna persona le prestó atención; el mal estaba hecho, la Fuente Santa yacía enterrada bajo 50 metros de piedras, escorias y basalto y la costa se había retirado 300 metros mar adentro. Y fue entonces cuando la isla tomó conciencia de lo que había perdido; así comenzó la desesperación. Nunca el lamento de una isla fue mayor.

Donde se relatan los intentos que se hicieron para encontrar y rescatar la Fuente Santa

Tras el desastre, la población de la isla se vio inmersa en la apatía. Fueron los enfermos, aquellos desesperados que guardaban su turno y que ahora se encontraban lejos de su tierra y sin esperanza, los que comenzaron a moverse solicitando ayuda para rescatar la fuente. Se unieron en largas procesiones que recorrían la isla pidiendo algo donde aferrar su esperanza. Las autoridades civiles y eclesiásticas, al igual que los restantes palmeros, estaban divididos en dos opiniones opuestas. Por una parte estaban los que decían que si la fuente la sepultó un volcán, y al ser manifestaciones de la cólera divina, el hombre nunca debía desenterrar aquello que Dios sepultó. Por otro lado, estaban los antecesores de la fecunda ilustración palmera que, aun siendo mucho menos numerosos, opinaban, no sin cierto arrojo, que los volcanes eran obra de la naturaleza y ésta podía ser si no dominada, sí al menos enmendada por el hombre.

Los desórdenes, las discusiones y los escritos dirigidos a La Laguna y más tarde a Madrid, provocaron que El Santo Oficio tomara la decisión de nombrar a Don Juan Pinto de Guisla, a la sazón primer oficial de la Inquisición en Canarias, con el cargo de visitador eclesiástico de la isla y con

el encargo específico de emitir un informe que relatase lo que había sucedido y concluyera con la posibilidad de encontrar el manantial. Don Juan era palmero y de ilustre familia; su hermano mayor Antonio era en ese momento la primera autoridad militar de La Palma. Enseguida pudo apreciar la desesperación de la isla y el miedo que tenían las autoridades a los altercados del orden. El resultado final de la visita fue la emisión de un informe que se guarda en los archivos de las iglesias de San Antonio y San Blas en La Palma y en el Archivo Histórico Nacional de Madrid, donde también se custodia, junto con un relato de la erupción de Nicolás de Sotomayor (*figura 3*), una acuarela en la que se puede apreciar el dramatismo de lo acontecido (*figura 4*): el incendio de las casas, la desaparición de un pueblo con su ermita, la muerte por inhalación de gases de Juan Cabrera con su ganado y los perros, los piroclastos saliendo de la montaña de Los Corrales y girando en el aire, la caída de las coladas por las escotaduras del acantilado anegando la orilla del mar y, en la esquina inferior derecha, cómo una avalancha de piedras cae por el acantilado sepultando la fuente sin remisión. En este mismo informe del visitador se niega la posibilidad de desenterrar la fuente pero, además, y esto será un importante foco de dudas para el futuro, plantea una seria incertidumbre acerca de si tras la erupción seguirá manando la Fuente Santa.



Figura 3. Escrito de 1678 realizado por Nicolás de Sotomayor por encargo del Ayuntamiento de Santa Cruz de La Palma. En él se relata, día a día, la erupción del San Antonio contando los pormenores, la pérdida de la Fuente Santa y los daños provocados.

Aun así hubo un grupo de palmeros y enfermos que decidieron arriesgarse a excavar; la necesidad de sobrevivir empujó a unos a buscar su salud y a otros a rescatar la fuente de sus ingresos. Fue en 1687, diez años después de la erupción, y cuando aún se encontraban frescos los recuerdos, cuando comenzó la excavación de un pozo, en mitad de la pendiente del alud que había enterrado la Fuente Santa. Se emplazó en la vertical del lugar donde antiguamente manaba y se pudo hacer en el sitio exacto gracias a los restos del acantilado que no habían sido cubiertos por la erupción. Tras varios meses de penoso trabajo tuvieron que desistir. El material que extraían, formado por piedras del tamaño de un puño, no tenía ninguna cohesión; a medida que profundizaban las paredes se derrumbaban; más que un pozo estaban haciendo un embudo. Tan grande se les hizo la boca que amenazaba con caer sobre ellos el talud de 100 metros de altura. Aunque fracasaron, la importancia de este intento es fundamental puesto que será el único que se emplace en el lugar exacto; los demás se realizaron por personas que no vieron la Fuente Santa. Resulta asombroso que esos mismos autores del primer intento se dieran cuenta de ese hecho y, antes de abandonar, dediquen todos sus esfuerzos en marcar el lugar exacto donde se encontraba enterrada. Decían unos que esta señal consistía en una excavación alargada, pero había otros que decían que la señal era una gran cruz de piedra que marcaba el emplazamiento. Fuera una u otra el caso es que 50 años más tarde ya nadie sabía dónde estaba enterrada la fuente; las señales se habían perdido o se pensaba que al ser dos tan dispares ninguna era correcta. Lo que nadie nunca pudo imaginar era que ambas señales fuesen la misma.

A partir de este momento, los intentos por recuperar la fuente se sucederán. Hay tantos, que coinciden con las dieciséis generaciones que desde entonces transcurrirán. Más de tres siglos de tentativas en las que reiteradamente se repetirá la misma secuencia: convencimiento de conocer el lugar exacto, secretismo del emplazamiento, búsqueda de los medios humanos y materiales, inicio entusiasta de la excavación del pozo,

Salvo alguna honrosa excepción, los dieciséis intentos de encontrar la Fuente Santa tienen en común dos cosas: todos creen saber el lugar en el que se encuentra y siempre la obra de excavación es mediante pozo. Sin embargo, ningún emplazamiento se hace en un sitio ya ensayado y siempre tuvieron que abandonar porque las paredes se caían

parada por derrumbes, búsqueda de soluciones, abandono definitivo, difusión de las virtudes de la Fuente Santa y divulgación del secreto para que otros la desentierren (figura 5). En esos momentos, dos dificultades se acumulaban en esa búsqueda desesperada: excavar un pozo de 50 metros de profundidad en un material sin cohesión y saber el lugar exacto donde emplazarlo.

Muchos fueron los que lo intentaron, entre ellos gente de la isla de La Palma como Juan de Paz, cura párroco de Las Breñas en el siglo XVIII; Manuel Díaz Hernández (figura 6), otro sacerdote liberal, constitucionalista y, por ello, desterrado de su isla por Fernando VII y su absolutismo; Luciano Hernández Armas, maestro y secretario del Ayuntamiento de Fuencaliente, durante 70 años nunca dejó de intentar recuperar la fuente; o el último de ellos, Emilio de La Cruz Cabrera, un hombre especializado en pozos de hasta 400 metros de profundidad y con presencia de gases volcánicos. La dificultad que

entrañaba encontrar una fuente tan nombrada y buscada atrajo a ingenieros y geólogos, españoles y extranjeros, de la talla de Leopoldo von Buch, Fernández Maquiería, Lucas Fernández Navarro (figura 7), Juan Godet, Enrique Gabala, Antonio Joseph Palmerini y Juan A. Kindelán (figuras 8 y 9). Incluso científicos como Alexander von Humboldt y escritoras como Dulce María Loynaz se refirieron a ella y a la importancia que tendría su descubrimiento.

Salvo alguna honrosa excepción, los dieciséis intentos de encontrar la Fuente Santa tienen en común dos cosas: todos creen saber el lugar en el que se encuentra y siempre la obra de excavación es mediante pozo. Sin embargo, ningún emplazamiento se hace en un sitio ya ensayado y siempre tuvieron que abandonar porque las paredes se caían. La conclusión de los hechos es clara: el pozo no es el método apropiado y nadie sabía realmente dónde estaba enterrada la Fuente Santa.

El descubrimiento

En 1995, el Ayuntamiento de Fuencaliente, concretamente su alcalde Pedro Nolasco Pérez, encargó a la Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias que estudiase la posibilidad de encontrar y rescatar la Fuente Santa. Poco después, me nombraron director de las labores de investigación. Lo primero que hice fue averiguar qué era aquello que había que buscar y por dónde había que buscarlo. Para ello comencé leyendo los escritos que se custodiaban en los archivos municipales, pasé luego a los archivos insulares, entre ellos los de las sociedades culturales como La Cosmológica o la Económica de Amigos del País, seguí en los museos militares y acabé en el Archivo Histórico Nacional de Madrid. Los datos que obtuve, muchos de ellos manejados por los que me precedieron en la búsqueda, eran variados en su temario y algunos incluso dudosos en su posible autenticidad. Mientras unos eran claramente ciertos, porque los atestiguaban ciencias como la geología, había otros que por su procedencia podían ser tachados, en el mejor de los casos, de leyenda. Entre los primeros estaba la extensión de terrenos que ganó al mar la erupción del



Figura 4. Acuarela de autor desconocido, pintada apenas unos meses después de cesar la erupción del San Antonio. En el dibujo se observan todos los males que provocó la erupción: graneros y casas quemadas, campos y cosechas devastadas, pueblos y ermitas enterrados, hombres y ganado muertos por asfixia y la Fuente Santa cerca de quedar sepultada por una avalancha de piedras y escorias. Foto cedida por el Archivo Histórico Nacional de Madrid, legajos correspondientes a la Santa Inquisición.

San Antonio: debajo de esos materiales y en la antigua línea de costa debía yacer sepultada la Fuente Santa. El problema era que la extensión posible abarcaba una franja de tres kilómetros de largo por 400 metros de ancho. Demasiada superficie para un caudal pequeño aunque fuese caliente. Entre los datos ciertos también se podían incluir aquellos que aportaban los escritos de los dos únicos autores que visitaron la fuente, Frutuoso y Abreu Galindo. El segundo dijo:

El agua salía tan cerca del mar que en pleamar la mar la cubría.

Puesta una lapa en su agua al punto se desconchaba.

Había uno más, luego se comprobó que también aportaba una pista acerca del entorno de la fuente, se deducía de la escueta referencia del fraile portugués: el hecho de que una descarga mareal pudiese cesar y la imposibilidad de que

eso sucediese en un acuífero costero daban una pista para encontrar la fuente, aunque entonces no fui capaz de verla. Por último, estaban las leyendas; consistían en testimonios que se transmitieron de padres a hijos durante las generaciones que transcurrieron desde su desaparición. Se podían sintetizar en dos frases que repitiéndose continuamente se mantuvieron durante siglos:

El agua brotaba al pie de un elevado risco de color plumizo.

El agua manaba de un terreno de tan blanda naturaleza que con una lanza fácilmente se hacían regatones.

También hay que incluir en este apartado media docena de planos donde se situaba la fuente, elaborados desde la segunda mitad del siglo XVIII. Dibujos que se guardaban celosamente, heredándose de padres a hijos, custodiados como si fuesen, y nunca mejor dicho, el plano del tesoro enterrado en la isla.

Estas cuatro frases, junto con la señal de la excavación alargada o la gran cruz de piedra, eran las piezas del puzzle que había que encajar para encontrar lo desaparecido. Incluso teniendo en cuenta que las dos últimas, en principio, parecían contradecirse: si el risco era de color plumizo y elevado, debía ser duro y más aún siendo un acantilado batido por el mar, ¿cómo entonces el agua brotaba por su pie en un material tan blando?

Tal y como se puede apreciar en las fotografías que acompañan al artículo (figuras 10 y 11), el lugar donde desapareció la Fuente Santa era un malpaís volcánico de una agresividad sólo comparable con su belleza. Por todos lados aparecían escorias que más que puntiagudas desgarraban aquello que tocaban, las suelas de los zapatos se desgastaban y cortaban en sólo una mañana, el color negro atraía el calor y, bajo un tibio sol, el efecto sofocante era demoledor. Luego estaban los desniveles; continuamente era un subir y bajar agarrándose de esas escorias lacerantes y teniendo cuidado de no pisar trozos de coladas que basculaban o se partían.

Para iniciar las labores de investigación se propuso utilizar sondeos a rotación con extracción de testigos, empleando las máquinas del Laboratorio de Carreteras, y perfectamente asesorados por el geólogo Luis Hernández

Muchas fueron las horas pasadas recorriendo ese espectacular malpaís, unas veces buscando cualquier pista, otras intentando encontrar e identificar los intentos que nos precedieron, y siempre creyendo ver una cruz de piedra en un erial de peñascos.

El reconocimiento geológico de ese inhóspito malpaís nos llevó a ser capaces de distinguir los restos del terreno aportado por el volcán San Antonio (1677) de las coladas recientes del Teneguía (1971). Poco a poco empezamos a darnos cuenta de la diferencia entre unas y otras y cómo las de este último sepultaron los intentos de búsqueda de los que nos precedieron. No lo teníamos nada fácil, la naturaleza se había encargado de borrar muchas de las huellas de nuestros antecesores.

Para iniciar las labores de investigación se propuso utilizar sondeos a rotación con extracción de testigos, empleando las máquinas del Laboratorio de Carreteras, y perfectamente asesorados por el geólogo Luis Hernández. Con ellos se pretendía reconocer el terreno, diferenciando lo que era anterior o posterior a la erupción de 1677, con objeto de trazar un plano de la línea de costa primitiva y, a la vez, tomar una muestra del agua aflorada en el acuífero costero. Debido a que toda la zona



Figura 5. Plano de Antonio Joseph Palmerini dibujado en la segunda mitad del siglo XVIII (AHN. Consejos, 2828, expte. 15). Se detalla la posición del San Antonio, el pueblo enterrado, los restos de acantilado que sobrevivieron al desastre, la situación de los primeros intentos de rescate y la posición donde yace sepultada la Fuente Santa.



Figura 6. Plano a plumilla de Manuel Díaz Hernández, representa el volcán de San Antonio y los terrenos que sepultó, haciendo referencia al pueblo y la fuente enterrada.

era espacio natural protegido, se propuso ubicar los sondeos en la cuneta de la carretera, con una profundidad necesaria para alcanzar el nivel del mar o interceptar el contacto entre terrenos anteriores y posteriores al San Antonio. Desgraciadamente, el presupuesto que se nos asignó fue parco, sólo alcanzaba para

tres sondeos, pocos para tanta superficie donde buscar inicialmente. Un hecho ajeno a la Administración vino a colaborar: en esos momentos: había una empresa suiza que estaba buscando también la Fuente Santa, y les propusimos aunar los esfuerzos. El pacto que al final concluimos fue que ellos pagarían dos sondeos más



Figura 7. Reproducción de la primera página del informe de Lucas Fernández Navarro (1925), que se conserva en el archivo del Ayuntamiento de Fuencliente de La Palma. En dicho informe se estudia la manera de encontrar y desenterrar la Fuente Santa y la posible existencia de agua subterránea en el municipio.

a cambio de emplazarlos donde quisieran pero con el compromiso de opinar sobre las ubicaciones y tener acceso a los datos que se obtuvieran de los cinco sondeos.

El primer sondeo lo quisimos marcar nosotros, no en balde habíamos estudiado todos los archivos y teníamos una ligera idea de dónde empezar la búsqueda. Emplazamos y lo hicimos tras preguntar a los vecinos del lugar cuál de los pocos restos que quedaban correspondían al primer intento, aquel que se marcó con los frescos recuerdos de dónde se situaba la fuente. Se alcanzó el nivel freático, prácticamente coincidente con el nivel del mar, sin haber dejado los terrenos pertenecientes al post-San Antonio. La temperatura del agua fue de 29°C y la cantidad de sales del agua aflorada era similar a la del mar pero con la anomalía de presentar un cierto contenido en bicarbonatos. Estos resultados, aunque no eran para echar las campanas al vuelo, dejaban abierta una esperanza, amparada en que los acuíferos costeros nunca tenían más de 20°C de temperatura y que los contenidos en bicarbonatos eran prácticamente nulos.

El segundo sondeo fue para los suizos y lo marcaron hacia el sur del anterior, obteniéndose 25°C. El tercer sondeo quiso ser también de los suizos y propusieron emplazarlo en el punto intermedio entre el primero y el segundo. Nosotros aconsejamos otra ubicación diferente pero no conseguimos convencerles. Una vez perforado, y tal y como habíamos



Figura 8. Doble página del informe del ingeniero de minas Juan A. Kindelán perteneciente al IGME en Madrid. En él se da el presupuesto para la perforación de un pozo con galerías de fondo como manera de encontrar la Fuente Santa.



Figura 9. Foto del homenaje que le hizo el pueblo de Fuencliente de La Palma a los dos ingenieros de Minas y de Caminos que vinieron desde el Ministerio de Fomento de Madrid para estudiar la forma de encontrar la Fuente Santa y el abastecimiento del pueblo. Año 1927.

vaticinado, se midieron 27°C. Quedaban dos sondeos y ambos eran nuestros. De acuerdo con los datos obtenidos por los tres anteriores, desechamos el sur y emplazamos hacia el oeste, siempre en la cuneta y separado del primer sondeo unos 200 metros. El terreno pre-San Antonio se alcanzó a diez metros por

debajo del nivel del mar. En un alarde de virtuosismo, Manuel Fernández, el maestro sondista, extrajo un canto rodado que certificó sin ninguna duda la posición del contacto. La temperatura que se midió fue de 36°C; íbamos bien pero aún no teníamos temperatura suficiente para desconchar lapas. Nos quedaba un sondeo, la última



Figura 10. Foto aérea de la punta sur de la isla de La Palma. En color más oscuro y derramados por la superficie más meridional, se encuentran los piroclastos que emitió la erupción del San Antonio. Las partes más negras y brillantes son las lavas emitidas por el volcán Teleguía en 1971. El volcán de San Antonio es el cráter central situado al sur de las poblaciones de Los Quemados y Los Canarios, izquierda y derecha respectivamente. Las coladas que sepultaron la Fuente Santa surgieron al pie del volcán y en su parte sur. El acantilado antiguo se ve arriba y a la izquierda, en la foto. Continuando hacia abajo, hacia el sur, desaparece bajo las coladas del San Antonio. Aun oculto puede deducirse su posición y observar cómo algo más allá, a la altura de los dos últimos invernaderos, aparece de nuevo, ocultándose para asomar solamente unas pequeñas escotaduras hasta que se aflora nuevamente en la zona de curvas de la carretera que lleva hasta el Faro y Las Salinas. Estas últimas son claramente visibles en la foto por sus llamativos colores en la misma punta sur.



Figura 11. Foto aérea de la zona donde presumiblemente se podía encontrar enterrada la Fuente Santa. Se distinguen los derrames de las coladas que sepultaron el antiguo acantilado y con él la Fuente. Entre los derrames aparecen ventanas del antiguo acantilado que permiten intuir la forma de la antigua costa. En azul claro y a trazos se han situado los cinco sondeos de investigación que concluyeron encontrando agua a 29, 27, 25, 36 y 42°C. Con estos resultados se ponía fin a la suposición, expresada ya en 1678, por Juan Pinto de Guisla, de que las erupciones en la zona hubieran desactivado el termalismo de las aguas. Estos sondeos también permitieron definir la obra civil que debía encontrar y desenterrar la famosa Fuente Santa. Se aprecia la belleza de la playa de Echentive y, a la izquierda, con sus aguas esmeraldas, las dos charcas que aportaron datos para situar los sondeos.

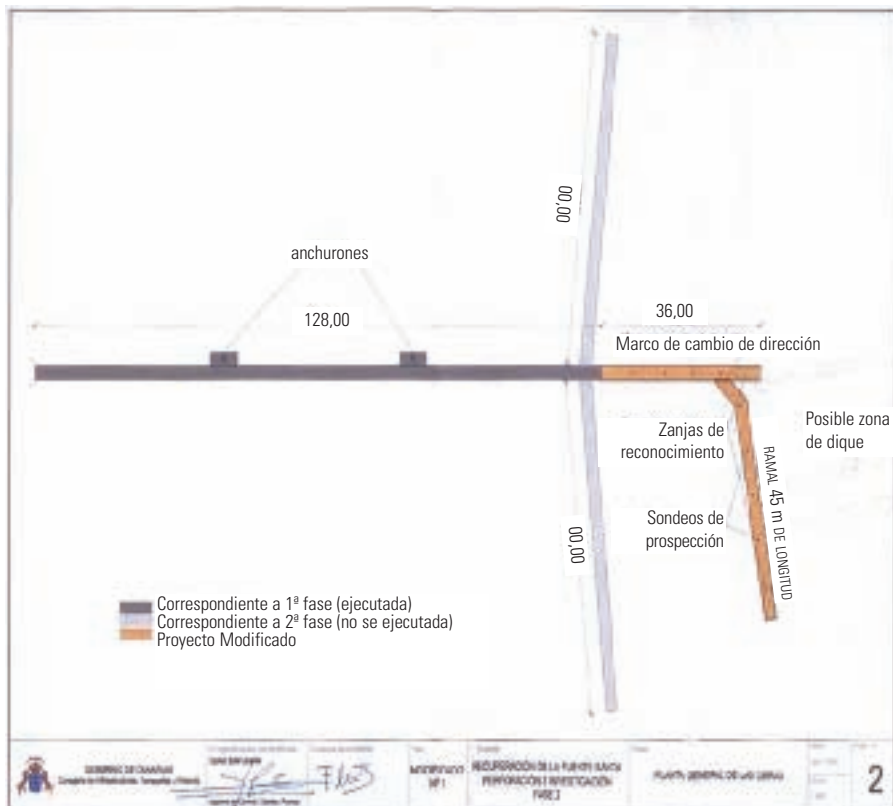


Figura 12. Plano en planta de la galería de la Fuente Santa. En color gris oscuro la traza del proyecto inicial; los dos anchurones son dos piscinas donde se estudió el grado de mezcla de las aguas y su variación con las mareas, el más alejado de la boca coincide con el sondeo S-04. En gris claro se señalan los dos ramales que inicialmente se pensaba debían encontrar la Fuente. En gris oscuro la parte realizada por la empresa Corsán-Corviam y, en naranja, la parte ejecutada por SATOCAN. La variación de trazado fue debida a que el acantilado antiguo salió más lejos de lo esperado y, mientras llegábamos, averiguamos, por los sondeos inclinados del exterior, que la Fuente estaba a la derecha de la galería. La salida del ramal a 45° en vez de a los 90° inicialmente previsto fue una ayuda para las maniobras de la maquinaria.

bala en la recámara, y barajábamos dos posibilidades: al noroeste o al noreste del anterior; con cualquiera de las dos posiciones se podía justificar el gradiente de temperaturas que hasta ese momento se había obtenido. La duda entre uno u otro emplazamiento la resolvió un detalle que siempre estuvo a nuestra vista pero en el que no habíamos recabado. Cerca de ese lugar existían dos charcas, separadas del mar apenas 100 metros y con la misma dinámica mareal que el océano, nacidas del efecto de la dinámica litoral en la zona de contacto entre los frentes de basalto de las coladas del San Antonio y los rellenos procedentes de la erosión y transporte del oleaje sobre las escorias del Teneguía. En ellas no se veían ni lapas, ni burgados (bígamos), ni cangrejos, ni algas. Únicamente, y puestos por los vecinos, se veía una bandada de lisas. Según nos dijeron, ningún otro pez o crustáceo era capaz de sobrevivir más allá de unos pocos días. Y aquí estuvo la clave, entonces, y cuando pensaba dónde colocar el último sondeo, me acordé de que las lisas son peces de desembocadura, capaces incluso de adentrarse río arriba; eso me decía que en esas charcas no todo era agua de mar. Tomamos una muestra de agua de las dos charcas y acerté, la salinidad era algo menor que la del mar pero lo importante era que el bicarbonato hacía acto de presencia, y más en la charca del este que en la del oeste. Por esa razón nos decantamos por el emplazamiento del NE. Cuando una vez hecho el sondeo se alcanzó el acuífero costero, la temperatura que obtuvimos fue de 42°C y el terreno pre-San Antonio se detectó a once metros por debajo del nivel del mar. Al fin podíamos desconchar lapas.

Con tan sólo tres sondeos habíamos demostrado que Juan Pinto de Guisla se equivocó al pensar que el poder calórico de la erupción del San Antonio había hecho desaparecer la Fuente Santa. El manantial sobrevivió a esa erupción y a todas las posteriores; seguía manando caliente y su punto de surgencia no podía estar muy lejos del último sondeo, no más allá de un entorno de 50 metros.

Lo siguiente fue redactar un proyecto de ingeniería que definiera una obra capaz



Figura 13. Vista del emboquille de la galería y del cuarto donde se guarda la maquinaria. Al fondo pueden apreciarse los restos del acantilado pre-San Antonio y de la avalancha que sepultó la Fuente Santa.

de encontrar la antigua fuente y desenterrarla. De acuerdo con la experiencia que obtuvimos de nuestros antecesores en la búsqueda, desechamos la solución de pozo. Primero porque no era la forma adecuada de excavar en ese erial de piedras sin cohesión y luego porque ubicar un pozo era presuponer que se conocía dónde estaba la fuente y eso estaba claro que ya nadie lo sabía. Tenía un cierto conocimiento de por dónde había que buscarla pero no con la precisión que exigía. Por ello, opté por una galería como método para alcanzar la zona y, ya dentro de ella, utilizar ese túnel para encontrarla. El proyecto se redactó valorándose la obra en medio millón de euros. Consistía en una galería horizontal de 2,5 x 2,5 metros de sección, con una alineación recta de 120 metros. Se suponía que con esa longitud alcanzaríamos el acantilado antiguo para abrir allí dos ramales de 60 metros de longitud, uno a cada lado de la galería que, discurriendo por la antigua costa, interceptaran el flujo del agua del manantial (figura 12). Una vez aprobado el presupuesto, la Consejería de Obras Públicas sacó a licitación la obra dividiéndola en dos fases: la primera, por un importe de 210.000 euros se adjudicó a la empresa Corsán-Corviam. Fue entonces cuando comenzamos la galería en la que habíamos depositado nuestras esperanzas de encontrar la Fuente Santa.

Emboquillamos en la playa de Echentive, justo en el frente de las coladas del San Antonio y con la solera apenas a diez centímetros de la pleamar viva equinoccial (figura 13). Definí la dirección alineando la boca con el último sondeo que debía

quedar situado en el hastial izquierdo. Comenzamos a perforar y entonces viví de primera mano los avatares y desesperaciones que padecieron los que me precedieron, y eso que era una galería y no un pozo. El material era totalmente inestable, estaba compuesto de piedras no más grandes que el puño que tan pronto eran escorias del San Antonio como rocas arrastradas del llano situado por encima del acantilado; incluso nos encontramos con bloques de esta misma pared arrancados por el colosal derrame. No tenían cohesión, era tan inestable como decían los escritos. Sufrimos de primera mano la desesperación de nuestros antecesores, incluso comprendimos mejor que nadie la razón de sus abandonos. Tanta era la inestabilidad que optamos por usar una técnica que conocí en Cabo Verde y Asturias: colocar a cada metro, ayudándonos con piquetes, los cercos metálicos de proyecto (figura 14), pero unidos mediante redondos soldados y, por detrás, colocamos las piedras grandes procedentes de la excavación, para impedir el movimiento del relleno del trasdós. Y así fuimos lentamente avanzando, de vez en cuando nos encontrábamos con las coladas del San Antonio, basálticas de grano muy fino, diaclasadas en prismas tan espectaculares como terriblemente duros que nos obligaron a emplear dinamita. Dos de estas coladas, las alcanzadas a los



Figura 14. Primeros metros de la galería de la Fuente Santa perforados con el método de escudo. Consiste en ir colocando redondos de hierro en el techo para sujetar las escorias hasta lograr excavar por debajo un metro de galería. Allí se ponía una nueva cercha que son los arcos verdes que se aprecian en la foto. El siguiente paso era colocar los redondos de hierro uniendo las cerchas y se acababa dejando las piedras más grandes, sacadas de la excavación, por detrás de estos redondos y así sujetar los materiales más pequeños para que no caigan en la galería. El resultado final es el que se aprecia en la foto; de esta forma se puede ir viendo el material que se ha ido excavando.



Figura 15. Foto del frente donde pueden apreciarse las piedras que sepultaron la Fuente y su falta de cohesión, que se traducía en una gran inestabilidad. Las piedras blancas de la parte inferior son los callaos de playa de la antigua costa. La creciente inestabilidad del material obligó a cambiar de procedimiento, se abandonaron los piquetes y la perforación en escudo para pasar a inyectar la clave de la galería mediante cinco sondeos por donde se introducía agua y cemento que, al fraguar con las escorias y los propios tubos de inyección, convertían el techo en una cúpula de hormigón armado. La mancha alargada y blanquecina en el centro de la foto es el cemento de las inyecciones de consolidación, gracias a ellas se consiguió que las piedras disgregadas se mantuvieran estables hasta que lográbamos colocar la cercha de hierro pintada de verde que se aprecia en la foto.

50 y a los 100 metros de la boca, y nos sirvieron para excavar una galería transversal del doble de sección y de quince metros de longitud. Al rebajar la solera las dejamos convertidas en dos piscinas subterráneas para medir calidades, niveles y sus variaciones con la marea. Veinte metros más adelante de la segunda piscina se acabó el presupuesto de la primera fase.

Tres años más tarde empezamos la segunda fase, con un presupuesto de 300.000 euros que se adjudicó a la empresa SATOCAN. En el tiempo que transcurrió entre una fase y otra, colocamos una máquina de sondeos en el exterior, a 30 metros por encima del frente y perforamos tres sondeos inclinados 60°: uno hacia la derecha, otro en la prolongación y otro hacia la izquierda. Los tres llegaron al acantilado antiguo antes de alcanzar el nivel del mar, y las temperaturas que se midieron fueron 52, 50 y 47°C, respectivamente. Con estos datos supimos que la fuente manaba por el hastial derecho de la galería y eso permitiría ahorrarnos el ramal de la izquierda, cuya construcción presagiaba problemas de estabilidad. Comenzamos la perforación allí donde nos habíamos quedado, a los



Figura 16. Piscina del primer anchurón durante la fase de construcción; las manchas blancas en las grietas del basalto proceden de los gases volcánicos de las coladas. El agua de la piscina está a 30°C y precipita calcita en forma de una delgadísima película superficial que flota durante el tiempo en el que el nivel de agua desciende camino de la bajamar. Cuando sube, momento de la foto, esta película se precipita hacia el fondo, engrosando una capa de barro finísimo. Antiguamente le asignaban a este barro propiedades curativas y rejuvenecedoras.



Figura 17. Detalle de las aguas del anchurón a los 100 metros de la boca. El color del agua se debe a la precipitación de aragonito. El nivel del agua y la temperatura varían con la marea dentro de la galería, produciéndose los máximos en los momentos un poco posteriores a las pleamares.



Figura 18. La foto corresponde al momento en el que apareció el dique volcánico que puede apreciarse en el lado izquierdo y por su color gris. El resto del material son las piedras y escorias que sepultaron la Fuente Santa. Se adivina el tamaño, aunque el color y la cohesión quedan enmascarados por la película de cemento que sostiene el frente impidiendo que se derrumbe. Delante de este dique supe que la Fuente Santa estaba bajo mis pies, tal y como se expone en otra figura; en su presencia y de golpe, se ordenaron todas las piezas del rompecabezas para señalar que, tras diez años de investigación, burocracia y de mil días de perforación efectiva, al final había llegado a la Fuente Santa: apenas estaba a unos pocos centímetros de distancia de su milagroso caudal.

120 metros del frente y sin haber llegado al acantilado antiguo. Si hasta aquí creíamos que la perforación fue delicada era porque no conocíamos lo que nos esperaba después. La ausencia total de cohesión, creo que derivada de la proximidad del acantilado antiguo y del proceso de relleno en forma de avalancha caída desde 150 metros de altura, nos impedía excavar la longitud de un metro para colocar la siguiente cercha. Entonces cambiamos de método. Ya que la inestabilidad era debida a las piedras no más grandes que el puño, decidimos clavar en el techo, usándolos como piquetes, unos tubos agujereados de dos metros de longitud por los que luego introducíamos una lechada de cemento a presión (figura 15). El San Antonio nos dio las piedras, nosotros poníamos el acero y el cemento, y terminábamos teniendo un paraguas de hormigón armado encima del techo de la galería. La cosa fue mejor aunque no más rápida, al menos avanzábamos, lentos pero sin paradas, siempre haciendo sondeos verticales para ir comprobando la temperatura del agua, los bicarbonatos y su aumento a medida que profundizábamos. Cuando habíamos avanzado quince metros empezó a salir por la solera un nivel de callaos que poco

a poco fue cogiendo altura, era una antigua playa adosada al acantilado: la pared no podía estar lejos (figura 16). A los 40 metros desaparecieron las piedras sueltas y, en su lugar, aparecieron unas coladas escoriáceas de basalto poroso que formaban una superposición de coladas pahoe-hoe con un ligero tono amarillento: ante nosotros se erguía la pared del acantilado, aquella misma que veían los enfermos cuando iban camino de su sanación (figura 17). Retrocedimos quince metros para iniciar el ramal en el hastial derecho; lo hicimos a 45° de la dirección principal para así facilitar la maniobra a los pequeños dumpers que extraían el material de la excavación. Perforados diez metros más, de nuevo chocamos contra la pared del acantilado, era el momento de girar otra vez 45° y ponernos en paralelo a éste, pero siempre bordeando la costa. Así fuimos durante otros diez metros más, con un hastial en el terreno antiguo y el otro en el relleno, hasta que bruscamente apareció un potente dique volcánico que, interrumpiéndonos el paso, ocupaba el tercio inferior izquierdo de la sección del frente (figura 18).

Me acuerdo como si fuera ahora mismo, nunca se me olvidará la sensación que tuve

cuando, frente a ese potente dique, me di cuenta de que había encontrado la Fuente Santa. Ante mi vista comenzaron a encajar todas las piezas del puzzle, todas las claves se reunieron para indicarme que la fuente estaba bajo mis pies.

La solera de la galería iba a diez centímetros de la pleamar, luego si la fuente salía tan cerca del mar que en pleamar la mar la cubría, era porque estaba justo debajo de mis pies.

Hasta entonces la temperatura había ido en ascenso, en ese momento excavamos y cogiendo una muestra de agua medimos casi 50°C. A esa temperatura debía desconcharse las lapas. Uno de los trabajadores trajo una docena de lapas que en tan sólo veinte segundos se separaron de la concha. Por cierto... espléndido plato culinario que merecería una denominación de origen.

La fuente manaba al pie de un elevado risco de color plumizo, el risco era el dique con su color gris inconfundible que debía destacar sobre el tono amarillento de las coladas pahoe-hoe del acantilado. Además, el dique cortando al acantilado debería



Figura 19. Final de la galería principal, al fondo puede apreciarse la superposición de las coladas pahoe-hoe que formaban el acantilado. Por delante de dicha pared del acantilado se excavó una piscina que se llena con agua de la Fuente Santa. También pueden apreciarse los callaos de playa que se usaron para revestir la galería.

sobresalir como si fuera un mascarón de proa, puesto que su dureza, ante los embates del mar, era mucho mayor que las coladas.

En cuanto a la posible contradicción, aquella que decía que el agua *brotaba en un material de tan blanda naturaleza que con una lanza fácilmente se hacían regatones*, inmediatamente cogí un redondo de acero, era lo más parecido a una lanza. Al excavar, me di cuenta de que lo hacía sobre un conglomerado, formado por los callaos de playa aglutinados por un barro apelmazado, consecuencia de la precipitación de las sales del agua de la Fuente Santa al perder temperatura y dióxido de carbono.

Solamente quedaba la cruz o la excavación alargada.

Delante de ese dique me di cuenta. Un risco de color plomizo sobresaliendo del acantilado podría ser capaz de llegar hasta lo más alto de la pared; ese mismo dique se podría localizar en las zonas del escarpe que no fueron sepultadas por el San Antonio. Salí de la galería y, conteniendo la premura, me separé de la boca lo



Figura 20. Una vez alcanzado el acantilado antiguo se comenzó a abrir el ramal de galería en el hastial derecho; era un momento delicado por la gran inestabilidad del material. Aun con todas las precauciones y con la seguridad de ir despacio, se produjo el derrumbe en el interior de la galería de la Fuente Santa, concretamente en la zona donde comienza el ramal. En primer término, de espaldas y a la derecha, José Manuel Navarro, geólogo, y, a la izquierda, Julián Mansilla, ingeniero y jefe de obra de SATOCAN. Al fondo, en primer lugar, Miguel Ángel Sicilia, y, detrás, Carlos Soler Liceras, ayudante y director de la obra, respectivamente, y ambos de la Dirección General de Aguas de la Consejería de Infraestructuras, Transporte y Vivienda del Gobierno Autónomo de Canarias.

suficiente como para tener una vista del conjunto. Me di la vuelta y miré hacia lo alto del acantilado, al lugar donde se dirigía la traza de la galería y allí la vi: un dique casi negro y vertical sobresalía en una capa marrón de escorias y piroclastos que enmarcaban una colada horizontal de basalto. El dique vertical cortaba a la colada horizontal definiendo una enorme cruz de piedra de unos treinta metros de envergadura. Todo el tiempo había estado allí, presidiendo y marcando el lugar sin que nadie la encontrara porque todos la buscamos en el suelo. Entonces me acordé de un dicho que decían acerca de la cruz: "para encontrarla había que tener fe y mirar al cielo".

Poco después, cuando la excitación dio paso al sosiego, me di cuenta de que la excavación alargada no era otra cosa que una forma de señalar lo mismo. En efecto, los que supieran que la cruz marcaba el emplazamiento de la fuente sólo tenían que excavar desde el pie de la cruz hacia abajo, siguiendo el dique, hasta llegar al nivel del mar donde encontrarían la Fuente Santa. Las dos pistas, la cruz y la excavación alargada, eran la misma.



Figura 21. Una vez estabilizado el derrumbe inicial se procedió a continuar con la excavación de los primeros metros de ramal. En la foto puede apreciarse, una vez finalizado, el entronque entre la galería principal y el ramal. El túnel de la izquierda conduce a la piscina de agua caliente y al acantilado antiguo. El ramal, túnel de la derecha, tras la curva que se ve al fondo, gira 45° y llega al dique donde mana la Fuente Santa. El pórtico que separa galería y ramal fue una de las partes más complicadas de la obra. Se resolvió construyendo un marco rectangular, hecho con vigas de hierro, que se puede observar en el techo y que es donde se apoyan las cerchas de ambos túneles. Esas mismas vigas, en los tramos verticales y en el suelo, se hormigonaron tal y como puede apreciarse en el pilar del centro de la foto.

Todos estábamos convencidos de haber encontrado el manantial, pero teníamos que demostrárselo a los demás y aquí no valían leyendas y claves, sino hechos



Figura 22. Vista del final del ramal. En primer término aparece la surgencia de la Fuente Santa y se aprecia por el color ocre la precipitación de aragonito; tras ella aparece el dique volcánico y, más al fondo, la piscina subterránea donde el agua se enfría hasta los 30°C.

Una vez aprobado el presupuesto, la Consejería de Obras Públicas sacó a licitación la obra dividiéndola en dos fases: la primera, por un importe de 210.000 euros se adjudicó a la empresa Corsán-Corviam. Fue entonces cuando comenzamos la galería en la que habíamos depositado nuestras esperanzas de encontrar la Fuente Santa

| Aniones | Resultado obtenido (mg/L) | mEq/L | % mEq/L |
|---------------------------------|---------------------------|--------|----------|
| Bicarbonato (HCO ₃) | 1876 | 30,74 | 5,95 |
| Carbonato (CO ₃) | 0,0 | 0,00 | 0,00 |
| Sulfato (SO ₄) | 3090 | 64,28 | 12,45 |
| Cloruro (Cl) | 14900 | 420,70 | 81,45 |
| Nitrato (NO ₃) | <5 | 0,00 | 0,00 |
| Fluoruro (F) | <2,0 | 0,00 | 0,00 |
| Bromuro (Br) | 63,8 | 0,80 | 0,15 |
| Nitrito (NO ₂) | <0,02 | 0,00 | 0,00 |
| Suma..... | | 516,52 | 100±0,03 |

| Cationes | Resultado obtenido (mg/L) | mEq/L | % mEq/L |
|---------------------------|---------------------------|--------|----------|
| Calcio (Ca) | 459,4 | 22,92 | 4,71 |
| Magnesio (Mg) | 911,0 | 74,96 | 15,39 |
| Sodio (Na) | 8632 | 375,50 | 77,09 |
| Potasio (K) | 521,7 | 13,34 | 2,74 |
| Estroncio (Sr) | 8,03 | 0,18 | 0,04 |
| Litio (Li) | 0,52 | 0,07 | 0,01 |
| Hierro (Fe) | 0,28 | 0,01 | 0,00 |
| Manganeso (Mn) | 3,44 | 0,13 | 0,03 |
| Aminio (NH ₄) | 0,21 | 0,01 | 0,00 |
| Suma..... | | 487,12 | 100±0,03 |

Figura 23.1. Análisis de agua de la Fuente Santa. El contenido en sales es muy alto, 30 g/l, algo inferior al valor que presenta el agua del mar. Sin embargo, estas aguas no son del mar, así lo atestiguan los altos valores en bicarbonatos, siendo su génesis la correspondiente a una mezcla de aguas termales, procedentes del agua del acuífero, alteradas por su paso por una zona de emanación de gases volcánicos, que descargan sobre un acuífero costero muy permeable.

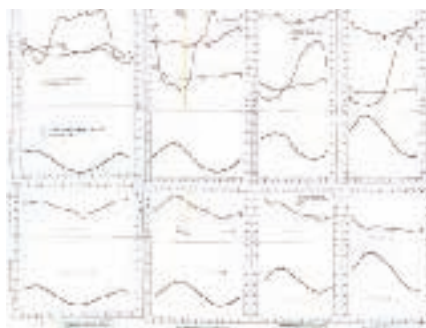


Figura 23.2. Gráficas de variación de temperatura con la marea realizadas por José Manuel Navarro Latorre. Se puede apreciar cómo los máximos de temperatura, y por tanto de caudal, coinciden ligeramente desplazados con los máximos de las mareas.

científicos demostrados. Por esa razón decidimos continuar con la galería y pasar el dique. Al otro lado, si teníamos razón, el agua del acuífero debería perder gradualmente temperatura y bicarbonatos. Una vez pasado el dique hicimos veinte metros de galería (figuras 19, 20, 21 y 22) y perforamos dos sondeos; las temperaturas que medimos fueron: 35 y 32°C. Solamente diez metros y el gradiente bajó 15°C, habíamos demostrado que la fuente estaba en el dique.

Más tarde, el laboratorio Oliver Rodés de Barcelona analizaba las aguas de la Fuente Santa (figura 23.1) y saltaba la sorpresa: las aguas eran cloruradas sódicas carbogaseosas. El contenido en sales, próximo a los 30 g/l y el valor del dióxido de carbono, 400 mg/l, las convertían en únicas en España y sólo dos balnearios europeos, Nuaheim en Alemania y Royat en Francia, podrían decir que tienen aguas similares, aunque el primero no tiene tanto gas y el segundo no presenta tantas sales disueltas. Los análisis demostraron que la fama era merecida; fue su calidad la que convirtió a la Fuente Santa en el mejor balneario del Atlántico. También, en el gráfico de temperaturas (figura 23.2), se puede observar cómo los máximos de temperatura coinciden con los máximos de marea. Por una vez, la realidad ha superado a la leyenda.

De todo esto hace ahora tres años. Visto desde la distancia parece claro que si nosotros fuimos capaces de encontrar la Fuente Santa fue porque, para buscarla, usamos cuatro ciencias, distintas pero idóneas para hallar un manantial termal. La primera fue la historia, que nos dijo lo que teníamos que buscar y nos concretó, aunque fuera de forma abstracta, la zona y las claves para encontrarla. La segunda fue la geología, que nos fue enseñando a distinguir entre lo antiguo y lo moderno, el pre o el post-San Antonio, o lo que es lo mismo: qué era lo auténtico y qué lo añadido. La siguiente fue la ingeniería, con la que definimos una obra capaz de buscar bajo tierra una fuente perdida, con un método que evitara que se nos cayeran encima todas las piedras que la sepultaron. Y por último, la hidroquímica, que con su críptico lenguaje de aniones y cationes nos fue llevando de la mano hasta el punto en el que brotaba el mítico manantial.

Bibliografía

Soler Licerias, C. (2007). *La Historia de la Fuente Santa*. Ed. Turquesa, Sta. Cruz de Tenerife. Prólogo: Alberto Vázquez Figueroa.

Importancia de los áridos

en el mundo actual y su relación con la geología y la ordenación territorial

Actualmente, la construcción, y dentro de ella la creación de infraestructuras, se ha convertido en la actividad humana que mejor define el grado de desarrollo de un país. En el caso de España ésta constituye, desde finales de los ochenta, el principal motor de su economía. A simple vista se puede observar que el bienestar de nuestra sociedad se apoya en el crecimiento global continuo de las ciudades, fomentando todas las infraestructuras necesarias para su interconexión y mantenimiento, como son: los puertos, los aeropuertos, las grandes obras hidráulicas y todas las redes de comunicación viarias, desde carreteras hasta las más modernas líneas ferroviarias de Alta Velocidad. Este desarrollo se fundamenta sobre algo tan normal a nuestra vista como desconocido para la inmensa mayoría de la sociedad, en el recurso geológico-minero de los áridos.

TEXTO | Carlos Panadero García. Geólogo.

José Luis Sanz Contreras. Dr. Ingeniero de Minas-U. P. Madrid
AEPA Castilla la Mancha

Palabras clave

Árido, hormigón, recursos naturales, técnicas geológico-geofísicas, obras singulares

Si recordamos la historia de la humanidad, a partir del momento en que el hombre se organiza en comunidades comienza su necesidad de encontrar y transportar piedra, arena y barro a los sitios donde se establece para crear las estructuras de supervivencia que facilitarán su vida e impulsarán el desarrollo de la civilización. Construye poblados con sus recintos defensivos y calzadas, así como puertos para facilitar las comunicaciones, donde éstas van creciendo en complejidad. Estas actuaciones son un reflejo de cómo el hombre va incrementando su necesidad en los materiales que utiliza como áridos, hasta que, a finales del siglo XIX, el descubrimiento del hormigón y el acero ocasionan un impulso insólito en su fabricación y consumo, dando lugar a que la "construcción" se convierta en el factor de referencia económico de todo país (figura 1).

En esta búsqueda, el papel de la geología ha sido de especial relevancia por cuanto una de sus funciones ha consistido en la identificación y clasificación de los materiales de la corteza terrestre bajo



Figura 1. Algunas construcciones, formadas por acumulación directa de áridos de gran tamaño, como este puerto de Estaca de Bares, remontan su origen a la época fenicia.

aspectos mineralógicos y petrológicos relacionados con los distintos ambientes geológicos que los han generado, y cuya expresión más práctica ha devenido en un registro cartográfico, cada vez más amplio y detallado. Esta cartografía hoy día se integra en los Servicios de Información Geográfica (S.I.G.), esenciales en la Ordenación Territorial de las Comunidades. Si además le añadimos el apoyo de otras ciencias afines (especialmente la geofísica), la geología se convierte en una herramienta fundamental en la determinación de las mejores zonas

de aporte de áridos, para cada situación concreta, así como para establecer, a nivel general, qué "formaciones" constituyen los depósitos más óptimos para su explotación con menores recursos económicos. En este sentido, la geología ha contribuido a hacer, de un recurso geológico-minero como los áridos, materiales de reservas ilimitadas ayudando enormemente al progreso de otras ramas de la ciencia y la ingeniería aplicadas a los materiales de la construcción.

Pero todo progreso implica continuos cambios que también afectan a la idea que tenemos de las cosas, y no ha sido menos en este tema. El camino recorrido por el hombre para suministrarse materiales que ha utilizado como áridos ha hecho que, en la actualidad, su concepto, simplificado en las palabras grava y arena o áridos gruesos y finos, no haga referencia a una génesis geológica determinada, sino que establece dos conjuntos de materiales, de origen natural, artificial o reciclado, separados por un tamaño límite. Así, se denomina gruesos a los tamaños

Las áreas más superficiales de la corteza continental terrestre se han convertido, independientemente de la mayor o menor dificultad en su extracción, en almacenes prácticamente ilimitados de áridos, sometidos a condicionantes medioambientales y de Ordenación Territorial

superiores a 4 mm, arenas a los que se sitúan entre 4 mm y 63 micras y finos a los que se sitúan por debajo de las 63 micras y cuya aplicación principal está destinada a la construcción o a otros usos industriales dependientes de los mismos.

Materiales baratos y reservas ilimitadas

La dificultad que conlleva el transporte de los áridos hasta su lugar de utilización ha obligado, desde el principio, al aprovechamiento y optimización de los recursos naturales de cada zona, derivando la búsqueda hacia yacimientos localizados en las proximidades del lugar donde se iban a emplear, a fin de que resultaran fáciles de transportar y rentables económicamente. Este inconveniente se solucionó, en gran medida, al comprobarse que se podía

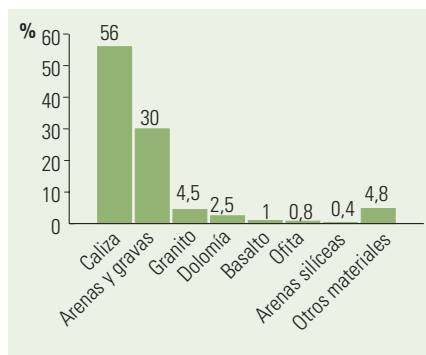


Figura 2. Tipos de sustancias en el consumo de áridos.

utilizar un amplio abanico de rocas, sueltas o agregadas, como áridos, condicionadas por la naturaleza y génesis geológica, la dificultad de su extracción y la aplicación a la que se destinarían. En consecuencia, las áreas más superficiales de la corteza continental terrestre se han convertido, independientemente de la mayor o menor dificultad en su extracción, en almacenes prácticamente ilimitados de áridos, sometidos a condicionantes medioambientales y de Ordenación Territorial, acotados por la legislación vigente.

Bajo esta perspectiva, es normal que las rocas que sirven de suministro de áridos sean muy variadas, ocupando casi todo el espectro geológico. No obstante, en España, más de la mitad de la producción de áridos procede de calizas (56%) seguidas de gravas y arenas (30%) y un amplio abanico para el restante 14%, del cual el granito ocupa el lugar preponderante (4,3%) (figura 2).

Visto así, no es de extrañar que en todas las clasificaciones de consumo y



Figura 4. Planta provisional de elaboración de hormigón montada en las inmediaciones de un tramo de AVE. Se pueden apreciar los acopios de áridos de distintos tamaños.



Figura 3. Frentes de arranque en una cantera.

producción de áridos, el principal grupo que las integra sea el de los áridos naturales que hace mención explícita a esta parte superficial de la corteza terrestre y que, a nivel de aplicación en construcción e ingeniería, se subdivide en granulares (gravas y arenas que se extraen directamente de graveras) y de machaqueo (rocas químicas, metamórficas o endógenas que se extraen de canteras y se someten a trituración y molienda) (figura 3).

La importancia de los áridos como principal constituyente de las obras de ingeniería implica, a su vez, la condición de material "barato". Así, en los proyectos de ejecución de construcción de autovías y carreteras es obligado contemplar un estudio previo de puntos de extracción (préstamos) cercanos a la obra, donde se instalan centros de explotación de áridos y/o plantas de fabricación de hormigón y de mezclas asfálticas (figura 4). Una prueba de que esto es un hecho que se viene realizando desde siempre la encontramos en los restos de antiguas canteras



Figura 5. Cantera de caliza donde la extracción es mediante voladuras con incidencia en el medio.

o de graveras en las inmediaciones de lugares donde se han llevado a cabo importantes construcciones, constituyendo un importante pasivo ambiental a restituir. Actualmente, este tipo de explotaciones deben de integrarse dentro de los Planes de Ordenación Territorial, con programas de desarrollo sostenible donde se contemplen los tres pilares básicos: técnico, ambiental y social (figura 5).

Los áridos como principal constituyente del hormigón

Términos como hormigón y cemento son de uso muy normal en el ámbito de la construcción y, de hecho, no tenemos problemas en señalar fácilmente su presencia allí por donde miremos. No obstante, es más desconocido el hecho de que el componente fundamental del hormigón son los áridos, en cantidades que pueden suponer hasta un 80% de su peso, dependiendo de las dosificaciones realizadas; es decir, de cada m³ de hormigón, en torno a 1.800-2.000 kg corresponden a áridos que pueden ser de distintos tipos.

Importancia y consumo de los áridos

Una idea de la importancia y la aplicación de los áridos en la vida corriente nos la ofrecen los datos referidos a su consumo en el año 2006. De casi 600 millones de toneladas consumidas en este periodo, el 85% se destinaron a la construcción y, dentro de ésta, la mayor parte se empleó en la elaboración de hormigón, seguida a distancia por los utilizados en la ejecución de carreteras; el restante 15% se dedicó para usos industriales de los cuales la fabricación del cemento alcanzó un 80% de este último valor. Por tanto, en un hormigón podemos decir que, a excepción del agua de amasado, y un porcentaje mínimo de aditivos químicos, el resto es una mezcla de áridos naturales, granulares o de machaqueo (actualmente también entra cierta cantidad de áridos artificiales) de los que la porción correspondiente al cemento sufre un tratamiento de molienda, cocción y adición de otros elementos, que le confieren las propiedades aglomerantes y lo hacen diferente de los otros áridos

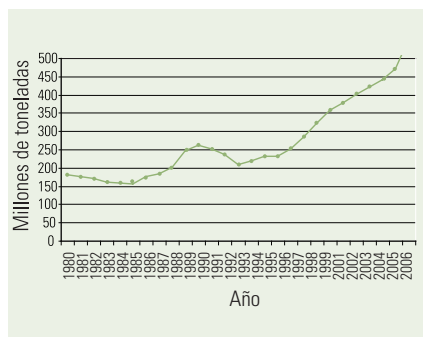


Figura 6. Consumo de áridos para la construcción.

que, por definición, deben ser la parte inerte de esta mezcla. Por tanto, es fácil comprender la cantidad ingente de áridos que hay que buscar para poder fabricar y abastecer de hormigón una obra, o bien la necesidad de acopiar primero y suministrar después estos materiales para su uso, sin ligantes, en grandes obras de ingeniería civil que tienen lugar en nuestro país. A todo ello hay que añadir el consumo de mantenimiento de las obras de nuestras ciudades (figura 6).

Siendo más explícitos, podemos decir que en la actualidad, en España, el ratio de consumo de áridos es superior a las diez toneladas por habitante y año.

Dosificación y trabajabilidad: un avance importante en la construcción

El producto final que ve el ciudadano corresponde, la mayor parte de las veces, a hormigón, o dicho de otra forma, a áridos unidos entre sí mediante aglomerantes o ligantes, de los cuales, el más conocido es el cemento. Bajo unas proporciones adecuadas de áridos con distintas granulometrías a las que añadimos otras cantidades dosificadas de cemento y agua, obtenemos un hormigón (cuando las granulometrías comprenden grava, arenas y finos) o un mortero (cuando las granulometrías están dentro del intervalo arena-finos). Estos hormigones pueden resultar de alta resistencia. Dar con las proporciones adecuadas de árido-cemento-agua es lo que se denomina dosificación y es un aspecto fundamental de cara a que el producto resultante sea duradero después de su fraguado (solidificación de todos los

componentes a partir de las reacciones químicas que se producen por la hidratación del cemento) y trabajable durante su fase líquida.

La trabajabilidad es otra propiedad muy importante del hormigón, que ha supuesto un avance considerable en las construcciones realizadas por el hombre. Si hasta finales del siglo XIX se recurría a extraer trozos de roca que se tallaban en unas dimensiones determinadas y se transportaban en cantidades muy limitadas, y con gran esfuerzo, para posteriormente apilarlas según los diseños arquitectónicos del momento, el hormigón, como mezcla fluida, permite que las partículas de las fracciones granulométricas de unas rocas pueden ser transportadas por medios mecánicos en grandes cantidades, impulsarlas a grandes distancias o alturas mediante sistemas de bombeo, para que, puesto en moldes con la forma que se desea (encofrados), ir construyendo estructuras cada vez más complicadas y audaces que quedarán con las consistencias y resistencias de una roca dura, o muy dura, tras su fraguado.

Ya que los áridos son el constituyente principal del hormigón, serán los que condicionen su resistencia final en gran medida, por lo que cobra especial relevancia su naturaleza, forma, textura y, especialmente, lo que hemos denominado dosificación. Dosificar un hormigón consiste, en esencia, en dar con la distribución adecuada de tamaños de partícula de cara a que los huecos mayores sean ocupados por otras partículas de menor tamaño y así sucesivamente, de forma que la porosidad intergranular sea suficiente para ser rellenada con la mezcla agua-cemento. Esta última es la encargada de cementar todas las partículas de una pasta que, tras su fraguado, dará lugar a una estructura sólida y compacta, resistente y duradera (figura 7 superior).

En este juego de granulometrías, para obtener una estructura compacta, también es fundamental la forma y textura de los áridos para cuando se requiera una porosidad intergranular determinada

Actualmente, los requisitos de calidad del hormigón son muy variables gracias al amplio espectro de mezclas de áridos y cementos que se pueden unir, generando así un producto de resistencias finales muy distintas que permiten realizar desde simples obras hasta complicadas soluciones técnicas con especificaciones y estándares precisos y rigurosos. Un hormigón bien dosificado dará siempre la resistencia requerida y quedará reflejado en un valor de rotura a compresión simple, obtenido a partir de muestras-probetas. Este valor de rotura debe ser inferior al de rotura del árido, también ensayado a compresión simple, por lo que el agrietamiento y la rotura de la probeta en condiciones de sollicitación extrema en la ejecución del ensayo se producirán a través del contacto de la pasta de cemento con el árido. Por este motivo, los áridos silíceos con valores de rotura muy elevados (superiores a 100 MPa) son preferibles respecto a otras rocas como las calizas.

Similitudes entre algunas rocas detríticas, el hormigón y los morteros

Desde un punto de vista geológico, o más bien petrológico, los hormigones y los morteros no dejan de ser una reproducción artificial de aquello a lo que la naturaleza y el tiempo, en forma de compactación (deposición y acumulación: diagénesis), sollicitaciones y deformaciones, han dado lugar: rocas denominadas conglomerados y areniscas. Éstas forman parte del grupo de las rocas detríticas que proceden del desmantelamiento por erosión de otras rocas madre de muy variada naturaleza y que, mediante agentes como el transporte por corrientes de agua o el aire, se seleccionan y acumulan para que, con el tiempo y por el peso de sucesivas capas, se transformen en rocas de materiales sueltos. Dependiendo de la energía del medio que las transporta, tendremos granulometrías muy variadas siendo las corrientes líquidas (medios fluviales) las más efectivas al ser capaces de transportar desde limos hasta grandes bloques; en cambio, el viento sólo movilizará partículas muy finas.

El mecanismo de deposición y enterramiento de estas rocas da lugar a un proceso, salvando las distancias, similar a la dosificación y posterior fraguado de una mezcla de áridos, cemento, agua y los correspondientes aditivos. Las variaciones de energía de sedimentación ocasionan una alternancia de tamaños de partículas y clastos que facilita una estructura donde los huecos dejados por los más grandes los ocupen otros de menor tamaño. La posterior compactación crea una reorganización estructural de la mezcla a fin de disminuir la porosidad, además de poner en movimiento los fluidos ocluidos en esta masa que, por contacto con las partículas minerales, se cargan en elementos que precipitarán en los huecos residuales (generalmente compuestos carbonáticos y aluminatos). Como paso final al cierre total de la porosidad, con el aumento en el tiempo de sollicitaciones y deformaciones del terreno, se generarán presiones intergranulares cuyo resultado final será el de una arenisca o un conglomerado muy resistente (*figura 7 inferior*).

Dependiendo del espesor acumulado se tendrá un valor de presión que será fundamental en el resultado final, bien generando una roca cementada, bien un material suelto (que en geotecnia se denominaría "suelo", con un significado distinto al suelo geológico). Por tanto, los depósitos fluviales (en todas sus variedades: abanicos, coluviones, eluviales, etc.) formados recientemente (cuaternarios), es decir, sin tiempo para que se produzcan grandes acumulaciones y los procesos geológicos transformen el sedimento en roca, constituyen yacimientos potenciales de áridos por su facilidad de extracción y por su naturaleza litológica.

Yacimientos de áridos naturales granulares

Si en un hormigón tenemos áridos en fracciones granulométricas de grava-arena-finos y cemento, agua y aditivos, en un conglomerado tenemos también los mismos componentes, llamándose al conjunto grava-arena, esqueleto,

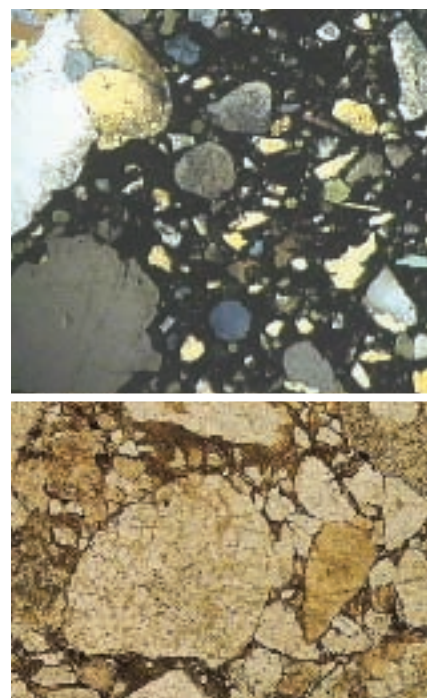


Figura 7. Fotografías de láminas delgadas observadas al microscopio. La imagen superior corresponde a un hormigón y, la inferior, a una roca detrítica de tipo conglomerado. Se pueden apreciar las similitudes que existen entre ambas.

y al elemento que los liga, igualmente cemento. Es más, el parecido o la imitación de la naturaleza llega hasta el límite de que en un hormigón los áridos pueden ser redondeados o bien angulosos (generalmente fruto de un proceso de trituración y machaqueo) y en una roca conglomerática puede ser bien una pudinga (de partículas redondeadas) bien una brecha (de clastos angulosos). Vistas estas similitudes, es normal entonces que una de las fuentes de abastecimiento de áridos más buscadas sean los depósitos detríticos continentales, que a nivel de explotación se denominan graveras y forman el subgrupo de los áridos naturales granulares. Sus ventajas principales radican en la facilidad de explotación, directamente con palas y/o retroexcavadoras, siendo los procesos de preparación sencillos.

En el otro extremo del grupo de los áridos naturales se encontrarían los que se explotan en canteras desarrolladas en macizos rocosos e integrarían el resto de rocas, sedimentarias, metamórficas o ígneas, que necesitan de arranque con voladuras controladas y procesos de molienda hasta obtener los tamaños

requeridos, denominándose estos materiales áridos de machaqueo.

Desde el ámbito geomorfológico, los depósitos que dan lugar a los áridos naturales granulares caracterizan ambientes de sedimentación muy variados:

- *Eluviales*: normalmente arenas gruesas procedentes de la alteración *in situ* de rocas graníticas. Forman los típicos suelos denominados *ranker*.
- *Coluviales*: son depósitos gravitacionales apoyados sobre laderas y procedentes de la denudación, en muchos casos, del material sobre el que apoyan.
- *Abanicos aluviales*: pueden rellenar grandes extensiones (Cuenca de Madrid) y presentar espesores importantes con rangos granulométricos muy amplios que van desde arenas gruesas hasta importantes contenidos de finos.
- *Depósitos fluviales tipo braided y meandriforme*: generan las típicas barras y terrazas que dan lugar a un material con predominio de gravas, generalmente redondeadas y de superficie no muy lisa e importantes intercalaciones de arenas. Se consideran los yacimientos más idóneos para la elaboración de hormigones ya que necesitan de muy poco o nulo tratamiento para su uso.
- *Mantos eólicos*: generalmente formados por niveles arenosos finos muy seleccionados.

De todos ellos son los depósitos fluviales los que ofrecen unos áridos de mayor calidad en cuanto a naturaleza, forma y textura y, sobre todo, por facilidad de extracción y procesos de tratamiento sencillos. Es prácticamente un material de uso inmediato, con el que se realizan las dosificaciones de los hormigones que alcanzan importantes niveles de calidad.

Técnicas geológicas aplicadas en la identificación y valoración de yacimientos naturales granulares (graveras)

La figura del especialista en geología es imprescindible en la localización y valoración de yacimientos de áridos

y no sólo desde el lado de la aplicación pura de esta especialidad que le permite determinar las zonas más óptimas, sino también, en un compromiso cada vez más importante con el conocimiento técnico de los métodos de extracción y producción: la implicación con el medioambiente, el ámbito de la seguridad, así como, en la evaluación económica del proyecto (figura 8).

En definitiva, en el desarrollo sostenible de una determinada área, la geología, y dentro de ella la geofísica, cuenta con una serie de recursos y medios propios que ha ido desarrollando con el tiempo y que le han permitido corroborar ciertas hipótesis y explicar interrogantes que eran respondidas con meras especulaciones.

Como punto de partida para la localización de un yacimiento, la cartografía geológica realizada en el proyecto MAGNA ofrece un conocimiento en detalle de los materiales que afloran en superficie en cuanto a litología, génesis y relaciones cronoestratigráficas. Apoyándose además en las modernas técnicas de fotografía aérea y de información por satélite, así como en los trabajos de campo, los geólogos e ingenieros pueden determinar zonas potencialmente idóneas para su aprovechamiento como canteras y graveras (figura 9).



Figura 8. Gravera restaurada.



Figura 9. Actividades extractivas.

Una vez localizada la zona, viene el estudio de detalle para establecer superficies y volúmenes de explotación, así como la obtención de muestras para su análisis que califiquen el material de cara a su utilización como árido.

Este paso debe implicar rapidez y economía de medios ya que muchas veces, tras estos preliminares, queda descartada la zona como aprovechamiento, perdiéndose el dinero invertido. Por ello, en el caso de los yacimientos de tipo gravera, se recurre a una combinación de métodos geomecánicos (sondeos y catas) y geofísicos (tomografía eléctrica y métodos radiactivos) que reducen el dinero invertido en el reconocimiento. La secuencia óptima de un estudio tipo viene siendo la siguiente, por orden de ejecución:

1. Localización de yacimientos potenciales a partir de geología de campo y técnicas geofísicas.
2. Delimitación mediante perfiles de tomografía eléctrica de la extensión del yacimiento. Con la interpretación de los datos se seleccionarán las ubicaciones más idóneas de los ensayos geomecánicos (sondeos a rotación y/o rotopercusión, catas) a fin de minimizar su número.
3. Ejecución de sondeos geomecánicos (rotación y/o rotopercusión)

La cartografía geológica realizada en el proyecto MAGNA ofrece un conocimiento en detalle de los materiales que afloran en superficie en cuanto a litología, génesis y relaciones cronoestratigráficas

instrumentados con tuberías piezométricas de PVC y la realización de catas.

4. Testificación radiactiva de los sondeos instrumentados.
5. Toma de muestras y realización de ensayos.

La **tomografía eléctrica** es una técnica geoelectrónica de medición, no destructiva, que proporciona una sección vertical con la distribución de resistividades del subsuelo a lo largo de un perfil longitudinal y con la forma de una sección gráfica bidimensional. Aunque existen varias técnicas de campo para la obtención de tomografías eléctricas, la mayoría de ellas se ejecutan mediante la ubicación de una serie de electrodos dispuestos a una distancia determinada sobre la superficie del terreno.

Los datos así obtenidos se analizan e interpretan y, a partir de la distribución de resistividades del subsuelo, se consigue representar las estructuras y sus límites, de una manera lo más aproximada posible a la realidad geológica existente en el subsuelo.

El objetivo que se persigue con la realización de estas tomografías eléctricas es obtener, de forma rápida, un modelo a escala reducida de la disposición de los distintos materiales del subsuelo de la zona de estudio, abarcando grandes extensiones con vistas a minimizar el número de sondeos geomecánicos a realizar y también a indicar la ubicación de los mismos en puntos de emplazamiento idóneos. Como anteriormente se ha citado, la disposición de los materiales del subsuelo en el modelo está en función de su respuesta

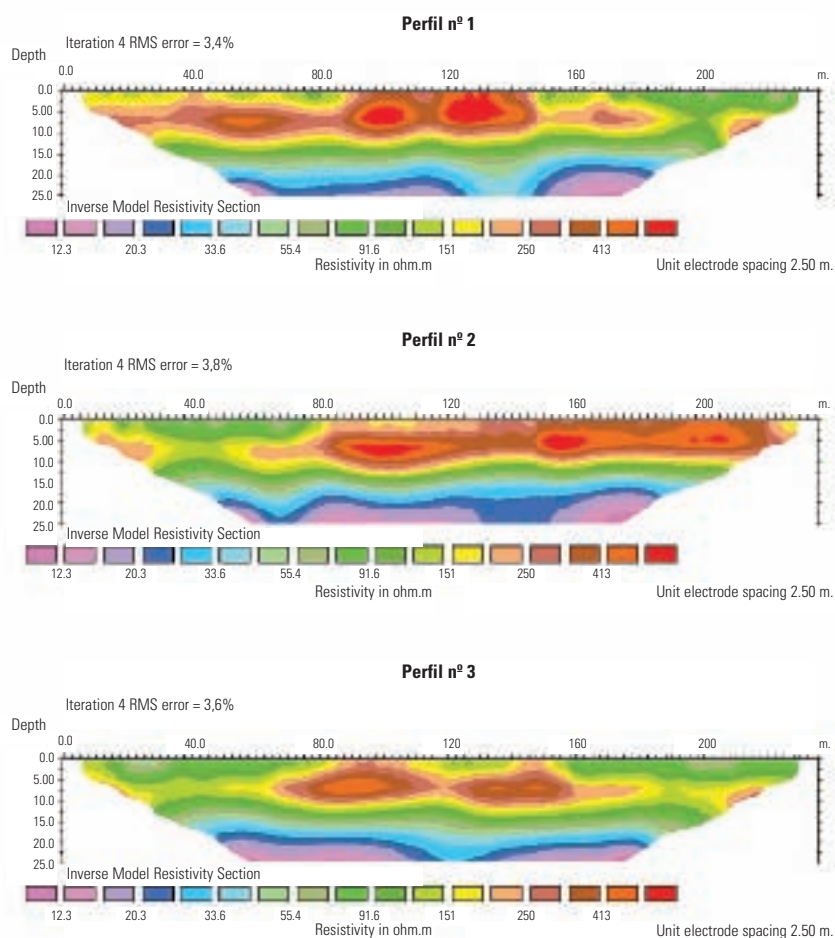


Figura 10. Perfiles de tomografía eléctrica de un aluvial: las arenas y gravas se caracterizan por valores de resistividad altos. En este caso, son anormalmente altos, ya que las gravas y cantos son de cuarcita. Por otra parte, se observa claramente la forma canalizada que adoptan estos depósitos. Tienen espesores de no más de siete metros, y son muy superficiales, teniendo una gran extensión lateral. Se encuentran englobados en materiales arcillosos de resistividades del orden de 30 ohmios por metro correspondientes a una llanura de inundación.

eléctrica ante el parámetro de la resistividad (figura 10).

De todos los métodos conocidos, los **sondeos geomecánicos** constituyen la prueba más cara y, en consecuencia, la que se debe reducir al máximo. A partir de la información aportada por la tomografía eléctrica se marcarán los

puntos de ejecución de sondeo sobre las zonas que presentan más interrogantes. De no ser así, habría que realizar una cantidad importante para reconocer toda la extensión del yacimiento. Hay que resaltar que a diferencia de los macizos rocosos (canteras), donde los sondeos recuperan una columna testigo muy fiable para su estudio, las gravas, como depósito



Figura 11. Máquina de sondeos para perforar a rotación con extracción de testigo continuo en terraza aluvial del Río Júcar: Las gravas y arenas se han podido recuperar ya que el tamaño de partícula, en general, es inferior al de la batería y no es un material altamente agresivo, por lo que no ha sido necesario emplear agua ni diamante.

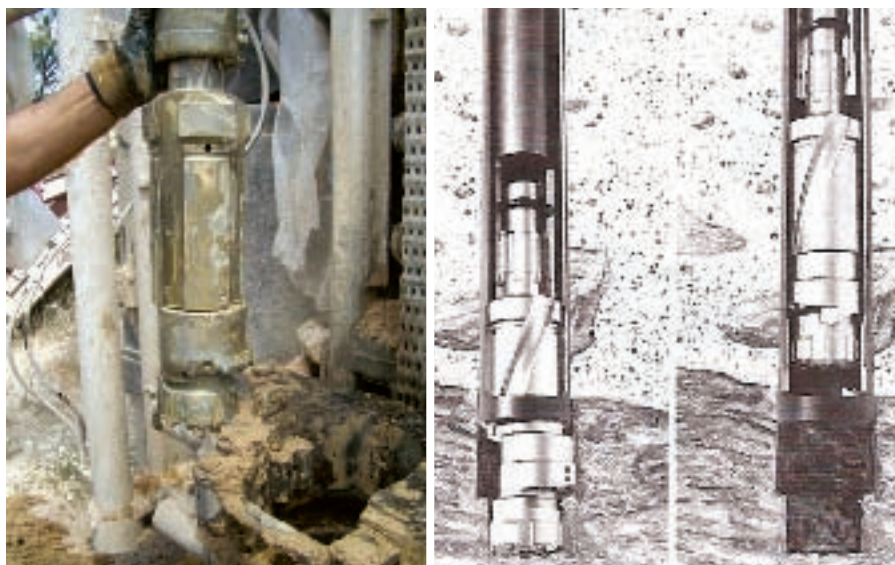


Figura 12. Sistema ODEX de perforación a destroza: inventado por las casas ATLAS COPCO/SANDVIK. Consiste en un martillo de fondo dotado de excéntrica y cabeza de golpeo que arrastra una tubería de revestimiento, la cual facilita colocar por su interior otro tipo de tuberías para distintos ensayos. Este método, basado en la rotoperación, avanza rompiendo el terreno por lo que si el tamaño de la partícula es grande (grava) sufre una fracturación que lo reduce en tamaño y forma respecto a sus dimensiones originales. Además, la inyección de aire "lava" las partículas finas.

vertical en el terreno real. Esto se debe a que la rotoperación produce la fracturación de las gravas disgregándolas en fragmentos menores que no son representativos del tamaño y forma reales y que, por necesitar de aire para percutir, también darán lugar a un "lavado" de los finos.

Además, cualquier testificación debe tener en cuenta que el detritus que sale al exterior vendrá contaminado de las paredes durante el ascenso desde el fondo del sondeo. No obstante, este tipo de perforaciones, sobre todo las que se realizan con el método ODEX (figura 12), consiguen rendimientos altísimos, pudiéndose atravesar depósitos aluviales de potencias considerables, con la ventaja de ir revistiendo al mismo tiempo que se profundiza, por lo que se podrán dejar colocadas tuberías de PVC piezométricas, para control del nivel freático, así como para la introducción por su interior de sondas radiactivas con las que se pueden realizar ensayos tipo gamma natural, conductividad y resistividad. Los datos obtenidos nos servirán para interpretar los sondeos y una posible correlación y también configurar espacialmente las distintas capas del aluvial.

En muchas ocasiones, si la potencia del aluvial no es importante, se recurre a sustituir los sondeos por catas que, ejecutadas por retroexcavadoras convencionales, pueden alcanzar profundidades de entre 5-7 m. Los trabajos de campo a desarrollar van

sedimentario, se revelan como uno de los materiales más complicados de perforar, e involucran equipos muy preparados tanto a nivel humano como mecánico sin proporcionar una información adecuada, si la experiencia en este tipo de trabajos es poca (figura 11).

El sondeo geomecánico abarca unos diámetros de perforación que oscilan entre 36 mm y 146 mm, pero en el caso de las gravas es necesario trabajar en el límite superior de este intervalo, pues sólo las partículas que tengan un diámetro más pequeño entrarán en el tubo sacatestigo (batería) teniéndose que cortar a rotación aquellas que los superen, para lo cual, será necesario el empleo de un fluido de refrigeración de la corona de corte (normalmente agua) que eliminará por lavado gran parte de las fracciones finas. Además, las gravas conllevan una elevada abrasividad que obligará normalmente a utilizar coronas de diamante. Para que se mantengan estables las paredes del sondeo deberán instalarse tuberías de revestimiento. Es posible que en estos sondeos se detecte la presencia de agua correspondiente a un nivel freático, parámetro que deberemos de datar y controlar. En resumen, los sondeos en gravas dependen de equipos de

perforación muy especiales y caros, ya que son necesarios diámetros de perforación grandes, con útiles de corte (coronas) frecuentemente de diamante, para obtener una información relevante del material real que existe.

Toda esta problemática hace que sea muy normal, para abaratar costes y aumentar rendimientos, recurrir directamente a sondeos destructivos o perforaciones a destroza que emplean la rotoperación (martillos en fondo o en cabeza) para avanzar y extraer, no ya un testigo, sino un ripio sobre el cual se puede cometer el error de testificar una columna que se desviará de manera notable sobre la



Figura 13. Entubación de un sondeo realizado a rotoperación, con PVC ranurado y colocación de macizo de grava (para filtro de finos). Por el interior del PVC se puede hacer descender una sonda para testificación radiactiva del sondeo (imagen de la derecha).



Figura 14. Planta de tratamiento.



Figura 15. Árido subbalasto.

a permitir testificar su litología y tomar muestras en buenas condiciones para analizar en laboratorio. Este tipo de reconocimiento es rápido y barato, por lo que siempre se realiza.

El último paso consiste en la testificación radiactiva de los sondeos geomecánicos que han quedado entubados con PVC mediante una sonda emisora de radiación que se hace descender por el interior de la tubería. La más empleada es la gamma-natural y permite obtener datos muy valiosos que completan la información recogida con las técnicas anteriores. Las diagráfias de rayos gamma posibilitan la identificación de las formaciones geológicas en función de sus niveles de emisión de radiactividad natural. Las formaciones con elevado

contenido en arcillas, feldespatos, micas o esquistos, son ricas en isótopos radiactivos y, por lo tanto, se caracterizan por altas emisiones de radiación gamma. Por el contrario, las arenas, areniscas, gravas, etc., compuestas esencialmente por sílice estable, emiten baja radiactividad, al igual que las carbonatadas. La entubación, a su vez, permitirá llevar un control del nivel freático mediante medida directa de su cota (figura 13).

La información adquirida en la secuencia de pasos descrita, una vez interpretada por el especialista en geología, dará una idea muy completa de las posibilidades del recurso en cuanto a materiales que la integran, volúmenes y facilidad de su extracción.

Aplicación de los áridos a obras singulares: ejemplos

La ejecución de construcciones civiles y la edificación es cada vez más exigente técnicamente y requieren la aplicación de materiales de alta calidad y un control exhaustivo. Estas obras, denominadas singulares, no sólo hacen referencia a aquellas que utilizan el árido directamente sin necesidad de elementos aglomerantes o ligantes, sino que la singularidad implica, entre otras condiciones, que no vale cualquier tipo de áridos ni de cementos. Así, por ejemplo, las prestaciones que se requieren a algunos hormigones deben cumplir con niveles muy altos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad. Igualmente, los áridos deben ser de unas granulometrías,



Figura 16. Formación del terraplén nuclear mediante vertido y compactación de áridos finos mezclados con cemento (imagen izquierda). Se realizan tongadas de poco espesor que se ensayan para controlar la densidad mediante un equipo nuclear (imagen derecha). Sobre este terraplén se colocará el subbalasto y el balasto.

naturaleza y formas muy concretas. También, es frecuente que el árido sea mezcla de distintas litologías y fracciones granulométricas y que procedan de yacimientos más específicos, que, a su vez, pueden requerir de técnicas mineras de arranque como las voladuras controladas para, a continuación, el todo uno pasar a las plantas de tratamiento del material (plantas de trituración, molienda y clasificación (figura 14) hasta la obtención de la granulometría requerida para la construcción de la obra.

En ambos casos hay numerosos ejemplos, de los que comentaremos algunos de clara actualidad, y es seguro que surgirán nuevas aplicaciones que requerirán el empleo de áridos cada vez más exclusivos.

Áridos sin ligantes

Las modernas líneas de AVE son un claro ejemplo de uso de áridos sin ligantes que necesitan un exhaustivo control en su calidad y puesta en obra. En este ejemplo, la parte más sensible y complicada de diseñar es el terraplén sobre el que emplazar las vías. El terraplén consta, esencialmente, de una plataforma formada de áridos seleccionados que, debidamente compactados, permiten obtener un suelo geotécnico con unas propiedades iguales o superiores a las de un suelo natural de alta capacidad portante. Sobre esta plataforma se extiende otra capa llamada subbalasto (figura 15) a la que sigue otra

denominada balasto, integrada de árido de granulometría gruesa, de alta resistencia, con caras de fractura y formas donde la presencia de lascas debe ser mínima y limpio de finos, por lo que normalmente será de naturaleza silíceo y procedente de machaqueo, con un intervalo de granulometrías que oscila entre 32 y 50 mm. El balasto tiene que formar una estructura muy estable donde las partículas encajen entre sí y permitan un buen drenaje. Al mismo tiempo, debe aguantar la fuerte abrasión que suponen estados de tensiones estáticas y dinámicas transitorias, muy elevadas debidas al paso de los trenes. Los espesores de la plataforma de subbalasto y de balasto deben ser obtenidos por los cálculos estructurales necesarios, con el objetivo de reducir al mínimo las deformaciones y asentamientos de las vías (figura 16).

Terrenos con resistencias a corte muy bajas (cohesiones $c_u < 0,2-0,6 \text{ Kp/cm}^2$) y valores de golpeo (N) del ensayo SPT entre 5-15, tanto granulares con finos, sueltos, y cohesivos blandos, son tratados con métodos que emplean las técnicas de mejora de terrenos de vibrodesplazamiento y vibrosustitución, con las cuales se consigue aumentar la densidad relativa elevando su resistencia y reduciendo los asentamientos.

Estas técnicas consisten en crear un hueco mediante un vibrador de grandes dimensiones, que entra en el terreno por

su propio peso o con la ayuda de un fluido de barrido (aire o agua). El hueco se rellena de grava a través de un tubo acoplado al vibrador según avanza la perforación, o bien, mediante grava dispuesta en superficie de tal forma que se permita caer por su propio peso, conforme avanza el vibrador. La grava puede ser redondeada o de machaqueo, uniforme y con diámetros variables entre 25 y 50 mm. El árido es compactado por el vibrador generando una columna-pilote denominada columna de grava, produciéndose al mismo tiempo una estabilización del terreno circundante a la columna por el empuje lateral del vibrador y la presencia de la grava. Sobre estas columnas se podrían apoyar cimentaciones directas o incluso realizar los terraplenes para líneas de AVE (figuras 17 y 18).

Áridos mezclados para hormigón

Dentro de este grupo es de destacar el desarrollo actual que están teniendo los hormigones de alta resistencia (HAR) que tienen valores de resistencia a compresión simple a 28 días superiores a 80–100 MPa. Estos hormigones permiten obras de ingeniería singulares como grandes viaductos o estructuras muy esbeltas donde el hormigón tiene que resistir importantes esfuerzos tanto a compresión como a flexotracción. En estos casos, no sirven todos los áridos y se buscan mezclas granulométricas muy controladas, de áridos



Figura 17. Ejecución de columnas de grava. Esta técnica fue desarrollada por KELLER y, con el tiempo, ha ampliado su campo de actuación a prácticamente todos los tipos de "suelos". En la imagen se ve el vibrador que se encargará de realizar el hueco.



Figura 18. Al tiempo que entra el vibrador en el terreno se aporta grava que irá relleno el hueco y simultáneamente será compactada por el vibrador, creando la columna-pilote que puede tener diámetros comprendidos entre 80-120 cm.



Figura 19. Puente de la Hispanidad (Valladolid). La utilización de hormigones de alta resistencia (HAR) permite realizar obras de diseños técnicos cada vez más complicados.



Figura 20. Materiales reciclados.

silíceos naturales o de machaqueo, con cementos de alta resistencia. Se incorpora, en ocasiones, ciertas proporciones de áridos artificiales muy finos, como son las cenizas volantes que permiten incrementar considerablemente la resistencia final del hormigón y aumentar la trabajabilidad, mejorando su respuesta ante ciertas agresiones del medio o del terreno donde van a quedar incluidos (figura 19).

Futuro de los áridos

El aumento del bienestar de las sociedades avanzadas y las que aspiran a conseguir un grado de desarrollo que las acerque a las anteriores depende, en un alto porcentaje, del uso de áridos en sus múltiples aplicaciones. Además, independientemente de los vaivenes de la economía mundial, el crecimiento de la población conllevará inexorablemente a un aumento paralelo en el consumo de los áridos.

Es cierto que se puede contar con la superficie terrestre como reserva. Pero en algunas áreas, el uso desordenado de los recursos naturales ha producido desequilibrios muy importantes como impactos ambientales, agotamiento de reservas, etc., por lo que, sin renunciar al desarrollo social y económico, deben aplicarse criterios creativos de desarrollo sostenible en aquellas zonas que potencialmente pueden ser yacimientos de áridos, dentro de unos planes de ordenación territorial que contemplen estos tipos de usos del suelo y también dentro del marco legislativo vigente.

Por otra parte, el concepto moderno de árido no se identifica con una naturaleza y génesis concretas, pues, a raíz del despegue industrial, se vienen consolidando dos nuevas fuentes de suministro de materiales en su utilización como áridos, a saber:

- Ciertos subproductos generados en la industria siderúrgica (escorias de altos hornos) y en las centrales térmicas (cenizas volantes o humos de sílice) que han dado lugar al subgrupo de los áridos artificiales o secundarios. Considerados hasta hace poco como residuos con el problema añadido de su eliminación, han pasado a ser materiales cada vez más solicitados como aditivos en hormigones, morteros y asfaltos, ya que mejoran considerablemente su calidad y resistencia.
- Los materiales reciclados (figura 20) procedentes de demoliciones. La incorporación de estos materiales al ciclo de vida ha dado lugar a los áridos reciclados y, aunque está limitada su utilización, pueden sustituir en un determinado porcentaje (8%) a los áridos naturales en determinadas aplicaciones. Son también una alternativa para eliminar residuos que, de otra forma, acabarían en vertederos, consiguiéndose con ello reducir la incidencia ambiental.

Bibliografía

- ACP ESTUDIOS (2005-2006). Geotecnia y Geología aplicadas a la construcción y al estudio de graveras.
- Adams, A.E., Mackenzie, W.S. y Guilford, C. (1984). *Atlas of Sedimentary Rocks Under the Microscope*.
- Bustillo, M., Calvo, J.P. y Fuego, L. (2001). *Rocas Industriales: tipología, aplicaciones en la construcción y empresas del sector*. Editorial Rocas y Minerales.
- GEOCISA. Laboratorio de Petrología y Hormigones.
- INGECAL (2004-2007). Tomografía Eléctrica aplicada a la construcción y a la valoración de graveras.
- Martínez, J. y Ruano, P. (1984). *Agua Subterráneas; captación y aprovechamiento*. Longman Group Limited. 2ª impresión (1987).
- Mingarro, F. y Ordóñez, S. (1982). *Petrología Exógena I. Hipergénesis y sedimentogénesis alóctona*. Editorial Rueda.
- Romana, M. (2007). *III Curso sobre técnicas de mejora del terreno*.
- Sanz Contreras, J.L. *Los áridos en la construcción: tecnología y requerimientos en calidad, medio ambiente y seguridad a estos materiales para sus distintas aplicaciones*. Curso de doctorado. Universidad Politécnica de Madrid-ETS Minas.

Auditorías ambientales

Hoy en día, cada vez va siendo más importante la concienciación de la población, en general, por salvar el medio ambiente, que cada vez está más dañado. En este artículo se hace una breve introducción a las auditorías ambientales.

TEXTO | María Valverde Hernández. Licenciada en Ciencias Geológicas. Auditora de Intecsa-Inarsa, S.A.

Palabras clave

Auditorías, sistema de gestión ambiental, diagnóstico ambiental, evidencias, hallazgos de auditorías

El término auditoría ambiental se suele utilizar sin demasiado rigor, empleando dicho término tanto para una auditoría de sistema de gestión ambiental, como para un control de vertidos, la evaluación del grado de cumplimiento de la legislación o la comprobación mediante una auditoría de las buenas prácticas ambientales. Según la Norma UNE-150010 EX referente a "Tipos de auditorías medioambientales", se distinguen distintos tipos de investigaciones ambientales que estudian, examinan y controlan aspectos relacionados con el medio ambiente, pero no evalúan la gestión ambiental de los mismos. Para su mejor comprensión se definen a continuación los siguientes términos:

- **Estudios:** consisten en una investigación detallada y compleja de carácter científico, encaminada a determinar la problemática según la experiencia existente.
- **Diagnósticos:** tratan de determinar la problemática que se está dando, según sus manifestaciones (*figura 1*).
- **Evaluaciones:** determinan la problemática e incluyen su valoración.
- **Inspecciones:** pretenden determinar el cumplimiento de la legislación vigente.

La evaluación es el reflejo de la situación de una organización con respecto al medio ambiente, en un momento concreto del tiempo, mientras que la auditoría es una herramienta que nos permite decidir que se está actuando, o se ha actuado, de acuerdo a lo establecido. Es decir, comprueba el grado de cumplimiento de un objetivo.



Figura 1. Vertido sin control al mar.

- **Auditoría ambiental:** según la norma anteriormente mencionada es "un examen metódico e independiente que se realiza para determinar si las actividades y resultados relativos al medio ambiente satisfacen las disposiciones previamente establecidas y para comprobar que estas disposiciones se llevan a cabo y que son adecuadas para alcanzar los objetivos previstos". Según la norma ISO 14010, auditoría ambiental se define como "un proceso de verificación sistemático y documentado de recogida y evaluación objetiva de las evidencias de la auditoría, para determinar si las actividades, hechos, condiciones y sistemas de gestión ambiental o información sobre estas materias son conformes con los criterios de auditoría, y de comunicación de los resultados de este proceso al cliente".

Objetivos de una auditoría

La auditoría ayuda al conocimiento de la situación actual de la empresa frente, entre otros, a la legislación existente. Se la puede definir como una herramienta de gestión, ya que verifica si las actividades y resultados relativos al medio ambiente se cumplen; es decir, si se alcanzan los objetivos impuestos y si además existe un cumplimiento de las normas establecidas, y si éstas son adecuadas para conseguir los objetivos.

Tipos de auditorías

En función de los posibles objetivos de una auditoría podemos hablar de diferentes tipos de auditorías ambientales (*tabla 1*):

Tabla 1. Tipo de auditorías

| En función de QUIÉN audita | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Internas: la propia empresa realiza un autocontrol de su funcionamiento, como técnica de mejora. | | Externas: una contratación externa analiza la empresa para obtener garantías de cumplimiento para una contratación, la obtención de una certificación, etc. |
| En función de QUÉ se audita | | |
| De producto: para la obtención de la etiqueta ecológica. | Técnicas: para auditar los procesos, desde el punto de vista ambiental. | De organización: con respecto al cumplimiento de la legislación, de los objetivos o del sistema implantado. |
| En función del ALCANCE | | |
| Parcial: limitada a determinados elementos, procesos puntuales. | | Global: del sistema completo. |
| En función de CUÁNDO se audita | | |
| Programada: existe una planificación y se sabe de antemano que se va a proceder. | | Imprevista: debido a la aparición de algún problema de calidad ambiental. |

Hay que tener en cuenta que desde el punto de vista ambiental, los únicos datos objetivos de referencia los tenemos en los límites de los elementos que las leyes básicas de residuos, de aguas y de protección atmosférica fijan para los principales contaminantes de tipo industrial

De entre todas ellas, nos vamos a centrar exclusivamente en las auditorías de organización, sin entrar en consideración sobre las auditorías técnicas ni las de producto, aun cuando gran parte de lo que va a ser descrito en el texto posterior sea también aplicable a estos otros tipos.

A su vez, dentro de las auditorías ambientales de organización pueden distinguirse varios subtipos característicos. Concretamente, según la norma española UNE 150010 EX, entre estas auditorías se encuentran:

Auditorías de los sistemas de gestión ambiental

“Evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva que se realiza para determinar si el sistema de gestión ambiental y el comportamiento ambiental satisfacen las disposiciones previamente establecidas, si el sistema se ha implantado de forma efectiva y si es adecuado para alcanzar la política y objetivos ambientales de la organización.”

Auditorías de cumplimiento con la legislación ambiental

“Examen de las prácticas operativas y controles vigentes implantados en las instalaciones en relación con los requisitos legales aplicables (Unión Europea, Estatal, Autonómica y Local).”

Auditorías de cumplimiento de objetivos ambientales

“Análisis para determinar si los logros ambientales están en conformidad con los objetivos establecidos.”

Pueden considerarse además otros tipos de auditorías ambientales no contempladas en la citada norma, pero con una cierta importancia en la práctica cotidiana:

- Auditorías de riesgo ambiental
- Auditorías de declaración

Todas ellas pueden agruparse en dos grandes categorías, que trataremos por separado:

- Auditorías de cumplimiento o conformidad
- Auditorías de riesgo ambiental

Auditorías de cumplimiento o conformidad

Constituye lo que podemos denominar “auditoría básica ambiental” y consiste en el examen de las prácticas operativas y controles implantados en la empresa, en relación con las disposiciones legales y reglamentarias vigentes.

Esta clase de auditorías son complejas en su preparación, ya que requieren analizar la legislación ambiental en vigor desde el nivel más global (europeo) hasta el nivel local (Ayuntamiento).

Es importante conocer muy bien el tipo de proceso industrial para así seleccionar y analizar la legislación aplicable, de forma que la preparación y realización de la auditoría se realice a un coste razonable.

Dado que el objetivo fundamental es conocer el grado de cumplimiento de la legislación, será necesario, en algún caso, llevar a cabo una caracterización de los residuos, vertidos, emisiones a la atmósfera, etc.

Estas caracterizaciones requieren una evaluación precisa del proceso industrial y de las materias primas y auxiliares utilizadas, de forma que los análisis que realicemos sean lo más representativos posibles.

Hay que tener en cuenta que desde el punto de vista ambiental, los únicos datos objetivos de referencia los tenemos en los límites de los elementos que las leyes básicas de residuos, de aguas y de protección atmosférica fijan para los principales contaminantes de tipo industrial.

Antes del inicio de la auditoría debe llevarse a cabo una fase de preparación, en la cual se procede a la recopilación de toda la documentación posible sobre la instalación que se pretenda auditar.

Además, se debe analizar y seleccionar la legislación aplicable. Es recomendable

utilizar listas de comprobación con objeto de asegurarse de que se tienen en cuenta todos los requisitos legales.

Se pueden elaborar listas de comprobación relativas a:

- Información general sobre la empresa
- Permisos y autorizaciones
- Documentación de la planta
- Aspectos generales de la planta
- Descripción de los procesos unitarios
- Identificación y caracterización de residuos y emisiones
- Análisis de las entradas de materiales
- Identificación de materias primas
- Análisis de las salidas de productos y subproductos
- Análisis de los sistemas y actividades de gestión de residuos

En la preparación de la auditoría, la documentación que debe revisarse para analizar el proceso de producción, tal como se ha mencionado anteriormente, podrá ser la siguiente:

- Diagramas de flujo generales
- Diagramas de flujo de cada proceso
- Red de colectores y arquetas
- Balance energético y de materiales existentes
- Diagrama de instrumentación y de las instalaciones de bombeo
- Manuales de operaciones y descripción de los procesos
- Inventarios de flujos de productos, residuos y emisiones
- Cantidades y costes de eliminación/gestión de los residuos
- Equipos de limpieza y procedimientos de manipulación de residuos
- Órdenes de compra de materias primas
- Especificaciones de las materias primas y los productos acabados
- Cronogramas de producción
- Auditorías ambientales y de residuos y emisiones, ya realizadas
- Legislación sobre residuos, emisiones, vertidos... (estatal, autonómica y local)
- Programas de gestión ambiental vigentes

Posteriormente, se analizará todo el proceso de producción. Para ello, se llevará a cabo una serie de etapas tales como:

- Reuniones con el personal de la planta, previamente planificadas
- Identificación de los procesos unitarios
- Identificación y caracterización de residuos, vertidos y emisiones
- Visita orientativa a las instalaciones
- Construcción de los diagramas de flujo

Para hallar el balance de materiales, se debe tener en cuenta las pérdidas debidas al almacenamiento y manipulación de materias primas, así como el consumo de agua y energía.

Para calcular las salidas de productos, subproductos, residuos y emisiones, se contará con la cuantificación de éstos, y con la determinación de los volúmenes de subproductos que se reciclan, sin olvidar revisar los registros de residuos y emisiones, y los procedimientos de gestión. Se elaborará un resumen con la información de entrada y salida.

Aunque la información pueda obtenerse mediante observación física y por medio de mediciones, se da la circunstancia de que muchas de las medidas fundamentales varían considerablemente en el tiempo y/o en el espacio, y que algunas mediciones son difíciles de obtener con la exactitud requerida. Por ello, y para obtener datos significativos, es necesario planificar cuidadosamente los programas de muestreo, el control de calidad y los periodos de tiempo adecuados, dado que mediciones directas realizadas en el limitado periodo de una auditoría pueden conducir a resultados engañosos.

Por estas razones, es conveniente que en las auditorías se examinen no sólo los registros de las actividades de control, sino también la base del programa de muestreo y los procedimientos que garantizan el eficaz control de calidad del muestreo y los procesos de medida.

Como mínimo, los aspectos que deben ser objeto de consideración en una auditoría ambiental son los siguientes:

- Evaluación, control y prevención de las repercusiones de la actividad sobre los diversos comportamientos ambientales

- Criterios de gestión, ahorro y elección de energía
- Criterios de gestión y ahorro del agua
- Política de reducción, reciclado y reutilización, transporte y eliminación de residuos
- Planificación de productos (diseño, envasado, transporte, utilización y eliminación)
- Política y medios de prevención de accidentes
- Procesos de producción (criterios de selección, afecciones ambientales, mantenimiento de las instalaciones)
- Sistemas de depuración (rendimientos, controles, mantenimientos, etc.)
- Sistemas analíticos de control (homologaciones, calibraciones, mantenimientos)
- Materias primas, criterios ambientales de selección
- Información, formación y participación del personal en temas ambientales
- Mecanismos de comunicación al exterior (público y autoridades)
- Mecanismos de respuestas (inspecciones y formularios de autoridades y/o quejas públicas)

Posteriormente, se evaluarán las prácticas operativas y se analizarán los procedimientos y registros, de manera que se podrán identificar los aspectos ambientales, y el grado de adecuación de la empresa a la legislación ambiental vigente, proponiendo las oportunas medidas de mejora al respecto.

Por último, se procederá a la realización del informe de auditoría pertinente, detallando:

- Grado de cumplimiento con la legislación y reglamentación en vigor
- Medidas de corrección

Auditorías de riesgo ambiental

Este tipo de auditorías nos permiten evaluar el riesgo en que, desde el punto de vista ambiental, está incurriendo la empresa.

Realizadas bajo esta óptica, son de gran utilidad para determinar el valor patrimonial

de la empresa a efectos de financiación, compra-venta, seguros, avales, etc.

La auditoría para determinar el riesgo ambiental de una empresa se basa en evaluar, no solamente el grado de cumplimiento con la legislación en vigor, sino también la capacidad de la empresa para afrontar a corto y medio plazo los retos ambientales que han de abordarse, por una legislación cada vez más restrictiva.

La metodología para la realización de estas auditorías es similar a otro tipo de auditorías ambientales, pero añade una complejidad al tener que determinar los riesgos ambientales derivados de la falta de capacidad de la empresa para adaptar los procesos y productos a la evolución de la legislación ambiental.

Evidentemente, el riesgo ambiental de una empresa es inversamente proporcional a su capacidad para innovar y adaptar sus procesos a la legislación vigente y futura.

Un riesgo elevado merma el valor patrimonial de la empresa y, por lo tanto, la capacidad de negociar un precio de compra o venta de mercado. Esta merma del valor patrimonial puede suponer, además, una retirada de la confianza de los inversores, y una mayor dificultad de captación de fondos a través de créditos, subvenciones, etc.

El informe de auditoría debe indicar claramente los riesgos ambientales actuales y futuros en que incurre la empresa por:

- No cumplir con la reglamentación y leyes en vigor
- No poder adaptarse a la reglamentación y legislación de próxima aplicación

Los riesgos deberán ser evaluados desde el punto de vista del daño a las personas, al medio ambiente y ecosistema, en términos, por ejemplo, de:

- Elevado
- Moderado
- Bajo

Asimismo, el informe deberá determinar en qué tipo de responsabilidades

administrativas, civiles o penales puede incurrir la empresa en función del tipo y magnitud del riesgo identificado.

Como vemos, en este tipo de auditorías deben intervenir auditores con experiencia en análisis de riesgos, y en la elaboración del informe se deberá contar con la ayuda de expertos en el área jurídica medioambiental.

Auditorías de declaraciones medioambientales

Cada vez son mayores los mecanismos de control que la Administración utiliza para conocer la contaminación que las industrias generan en forma de residuos, efluentes, vertidos y emisiones a la atmósfera.

Este control impuesto en la legislación vigente implica que las empresas deben inventariar y declarar los residuos que generan, declarar la cantidad y calidad de sus vertidos y analizar, registrar e informar de las emisiones que generan.

Además de estas declaraciones obligatorias, la empresa puede optar voluntariamente por realizar una declaración pública de su comportamiento ambiental.

En una empresa que posea varios centros industriales es necesario que estas declaraciones se realicen con criterios similares y según datos objetivos y fiables.

Previamente a enviar estas declaraciones a la Administración o hacerlas públicas,

puede ser conveniente realizar una auditoría según procedimientos internos, reglamentación y legislación aplicable.

Este tipo de auditorías tiene por objeto comprobar que los datos de la declaración tienen trazabilidad con los que figuran en los registros ambientales de la empresa, que su cumplimentación es correcta y se elaboran con criterios previamente definidos y homogéneos, en todos los centros.

Estas auditorías sirven también para evaluar si su gestión medioambiental es adecuada y se realiza con criterios de minimización de la contaminación y optimización de costes.

La metodología de las auditorías de declaraciones medioambientales se basa en contrastar los documentos que van a difundirse al exterior con los registros internos de la empresa.

Dado que las declaraciones medioambientales deben ser firmadas por el director general o una persona de la Alta Dirección con poder en la empresa, una cumplimentación inadecuada puede dar lugar a sanciones administrativas, que pueden llegar incluso al cierre de la empresa, además de las responsabilidades civiles o incluso penales que pueden derivar, si se ocasionan daños al medio ambiente.

Es pues importante que, periódicamente, se audite la cumplimentación de dichas declaraciones antes de su difusión al exterior.

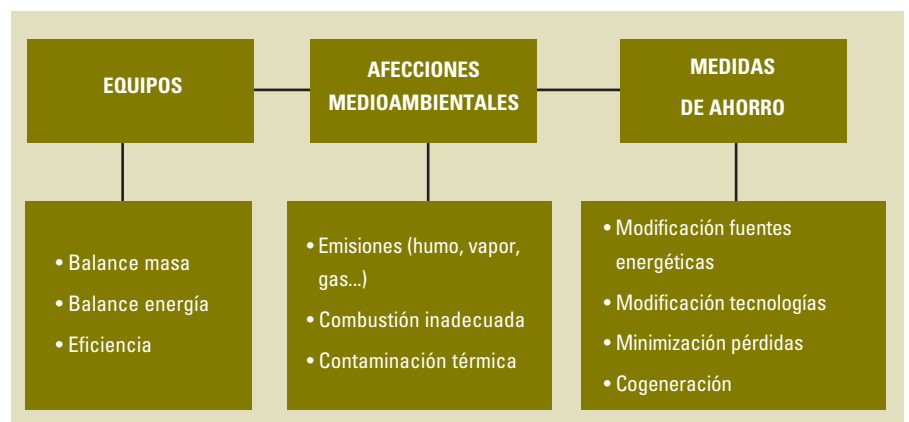


Figura 2. Esquema de las auditorías energéticas.

Auditorías energéticas

La selección, utilización y ahorro de la energía constituye uno de los capítulos importantes de la gestión ambiental de una empresa.

Una adecuada gestión y utilización de la energía, además del ahorro económico que conlleva para la empresa, contribuye a una reducción en el consumo de recursos, especialmente los no renovables.

El objetivo de una auditoría energética es conocer la situación energética de una empresa, diagnosticar los puntos débiles y proponer las soluciones más eficaces y económicas.

Para conseguir este objetivo es preciso evaluar una serie de parámetros a través de un balance de energía (figura 2).

Los datos y parámetros que es preciso evaluar son:

- Esquema de procesos, asegurándose que no han variado
- Esquema de vapores y condensados, comprobando las posibles modificaciones
- Caudales de vapor
- Presiones de proceso
- Temperatura de proceso
- Consumo eléctrico (parámetros) en motores y centros de transformación
- Parámetros de funcionamiento de calderas, hornos, secaderos, etc.
- Naturaleza e intensidad de la luz eléctrica de la instalación y oficinas
- Funcionamiento de los equipos informáticos
- Facturas de energía eléctrica
- Facturas de combustible
- Termografías (puntos fríos y calientes)

A partir de la evaluación de estos parámetros, podemos diagnosticar la situación energética de la empresa, conociendo:

- Fuentes de suministros energéticos
 - Energía eléctrica
 - Combustible
 - Consumo total de energía

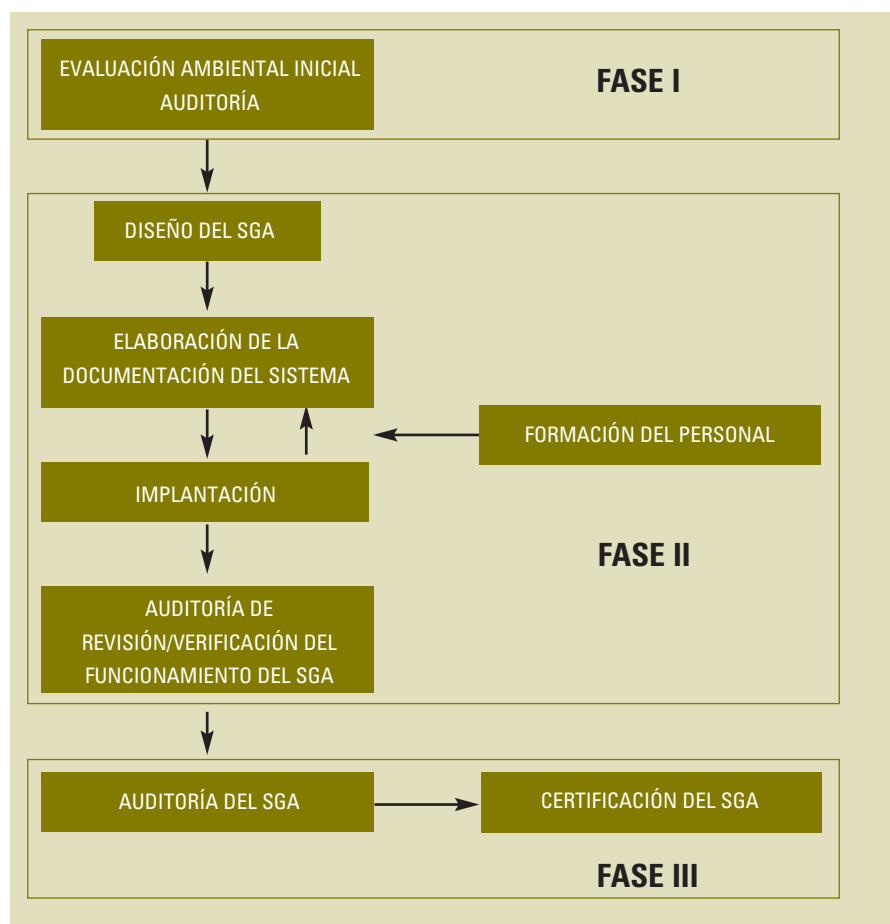


Figura 3. Fases de implantación de un Sistema de Gestión Ambiental en una empresa

- Equipos consumidores de energía
 - Consumo
 - Tipos de energía
- Diagrama de flujo energético de la industria
- Ratios energéticos; comparación con los del sector

Conocidos los puntos débiles desde el punto de vista energético, se propondrán medidas encaminadas a mejorar el ahorro y la conservación de la energía a través de una optimización en la transformación de la energía térmica y de los consumos eléctricos.

Las soluciones técnicas pasan a veces por inversiones que, a corto plazo, no son vistas como rentables, sino como un gasto sólo rentable a largo plazo. En general, son soluciones encaminadas a reducir lo más posible el costo energético por kilogramo de producto. Entre ellas se encuentra la instalación de sistemas que puedan proporcionar dos o más formas de energía a partir de un combustible

Las soluciones técnicas pasan a veces por inversiones que, a corto plazo, no son vistas como rentables, sino como un gasto sólo rentable a largo plazo

(cogeneración), sobre todo porque en España existe un diferencial grande entre los precios de la energía térmica y eléctrica.

Auditorías en la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental en una empresa

En la implantación de un sistema ambiental en una empresa, las auditorías

Los registros se conservarán con el fin de demostrar el cumplimiento de los requisitos del Sistema de Gestión y dejar constancia de la medida en que se han alcanzado los objetivos previstos

son unos instrumentos fundamentales. Las fases para la implantación de un sistema de gestión ambiental se describen en la (figura 3).

Por lo tanto, la *primera fase* consiste en una revisión inicial, antes de realizar la elaboración del Sistema de Gestión Ambiental (SGA). Para dicha revisión se deben incluir los siguientes datos:

- Determinar las exigencias legales tanto a nivel internacional, como nacional, autonómico y local.
- Recogida de datos referentes a actividades, productos y servicios, y analizar los mismos.
- Determinar los aspectos ambientales (significativos y no significativos) relacionados con las actividades, productos y servicios.
- Implicar a la dirección y al personal con un reparto claro de responsabilidades técnicas y personales.
- Redactar y difundir la declaración de política ambiental, que oriente sobre

los principios que regirán en un marco de desarrollo sostenible.

En una *segunda fase* se procederá a diseñar el Sistema de Gestión Ambiental (SGA) más adecuado en función de los aspectos identificados durante la revisión inicial. Las actividades a realizar en esta fase son:

- Desarrollo de la política ambiental al máximo nivel directivo. Esta política recogerá los principios de actuación de la empresa y tendrá como objetivo garantizar el cumplimiento de todos los requisitos legales ambientales que sean aplicables.
- Elaboración de la documentación del sistema: manual y procedimientos.
- Definición de objetivos y metas ambientales que se persiguen y de los mecanismos o medios para conseguirlos.
- Definición de responsabilidad y autoridad del personal que gestiona y controla los trabajos que afecten al medio ambiente, con el nombramiento de un responsable de gestión, con autoridad y responsabilidad para velar por la aplicación y mantenimiento del sistema.
- Evaluación y registro de los aspectos ambientales de las actividades de la organización en las instalaciones, con la inclusión de los que se consideren más significativos: emisiones, vertidos a las aguas, residuos urbanos y peligrosos, contaminación del suelo, olores, polvo, ruidos, repercusiones sobre los ecosistemas, utilización de combustibles, etc.
- Definición del control operacional de los aspectos ambientales evaluados. Establecimiento de procedimientos operativos y verificación del cumplimiento de los requisitos.
- Programación de actuaciones en función de objetivos y metas planteadas,

estableciéndose calendario, medios y responsabilidades.

- Revisión del sistema de gestión mediante un programa de auditorías internas.

Los registros se conservarán con el fin de demostrar el cumplimiento de los requisitos del Sistema de Gestión y dejar constancia de la medida en que se han alcanzado los objetivos previstos.

La dinámica de implantación del Sistema de Gestión Ambiental posteriormente a su diseño, se lleva a cabo de la siguiente manera:

- A través del establecimiento y aplicación, por parte de las diferentes organizaciones, de políticas, programas y sistemas de gestión en relación con sus centros de actividad.
- Mediante la evaluación sistemática, objetiva y periódica del rendimiento de dichos elementos. Estas evaluaciones deben incluir la evaluación y registro de datos sobre los recursos naturales, energía utilizada, emisiones, contaminación acústica y, en general, todas las actividades que produzcan o puedan producir un impacto negativo en el medio ambiente.

Tercera fase. Una vez comprobado que el grado de implantación y la eficacia del Sistema de Gestión Ambiental están conformes con los requisitos que exige la norma ISO 14001 o el Reglamento (CE) nº 196/2006 de la Comisión, de 3 de febrero de 2006, por el que se modifica el anexo I del Reglamento (CE) nº 761/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo "De ecogestión y ecoauditoría", se elegirá un organismo certificador externo a la organización.

Bibliografía

- AENOR (1999). *Gestión Medioambiental e ISO 14000*.
- AENOR (2002). *Aspectos medioambientales. Identificación y evaluación*.
- AENOR (2002). *Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental. (ISO 19011:2002.)*
- AENOR (2004). *Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 14001:2004.)*
- Johnson, G.P. (1998). *Auditoría del Sistema de Gestión Medioambiental ISO 14000*. AENOR.

Los morteros en la construcción*

La palabra “mortero” posee numerosas acepciones en el idioma español. En concreto, el diccionario de la Real Academia Española presenta hasta cinco definiciones diferentes, de las cuales la cuarta, en la que ya consta que se aplica en la construcción, dice que es un “conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante y agua, que puede contener además algún aditivo”.

TEXTO I Manuel Bustillo Revuelta. Geólogo. Facultad Ciencias Geológicas. Universidad Complutense.
(bustillo@geo.ucm.es)

Palabras clave

Morteros, morteros para albañilería, morteros para revestimiento, morteros especiales, revocos

Aunque ciertamente los romanos fueron los encargados de tecnificar el mortero, éste ya había sido utilizado anteriormente por los egipcios, en la construcción de las pirámides, babilonios, sumerios, etc.; la primera aplicación, según los expertos, tuvo lugar en Galilea hace 10.000 años, con la mezcla de cal como conglomerante. Es decir, la idea de unir trozos de piedra con un conglomerante, cal, yeso o simplemente arcilla, para utilizarlo como elemento constructivo, es casi tan antigua como la propia civilización humana, lo cual es lógico pues se trata de un producto barato, de fácil aplicación y duradero. En otras palabras, las funciones de los morteros, en sentido amplio, no han variado sustancialmente a lo largo de los siglos, utilizándose siempre como material de agarre, protector o decorativo.

De la misma forma que los primeros morteros, en edades neolíticas, se basaban, principalmente, en la cal, los egipcios se podrían definir como los reyes del yeso, posiblemente debido al clima y la geología. Fueron los primeros en utilizar la escayola para unir bloques de la pirámide de Keops y tenían por costumbre cubrir con una ligera capa de estuco sus edificaciones (Gárate, 1999). Por su parte, los griegos se caracterizaron, desde el punto de vista de la innovación en los morteros, por la adición de otros materiales, por ejemplo puzolanas, para aumentar la resistencia y estabilidad (Alejandro, 2002). Luego, los romanos, como ya se ha comentado, mejoraron los



Figura 1. Edificaciones con el acabado exterior en mortero monocapa.

procesos de fabricación de la cal y las técnicas para la puesta en obra de los morteros.

Durante la Edad Media, al igual que sucede con la mayoría de los materiales de construcción, se paró el desarrollo, con la caída del Imperio Romano, de los morteros, pudiéndose calificar éstos como de mediocre calidad, frágiles, etc. Una excepción a esta regla sería la civilización musulmana, que consiguió, mezclando cal y yeso como conglomerantes, morteros de gran calidad y alto refinamiento, muchos

de los cuales nos han llegado hasta nuestros días.

El avance definitivo de la industria del mortero, a finales del siglo XIX, se produce con el descubrimiento del cemento (pudiéndose hablar ya de morteros modernos) y su utilización como agente conglomerante. Desde entonces, su uso ha ido creciendo de tal forma que, hoy en día, es un material imprescindible en el mundo de la construcción, presentando un sin fin de aplicaciones. Como dato para contrastar su importancia, decir que la industria

* Este artículo está extraído del libro *Hormigones y Morteros*, del mismo autor y publicado recientemente por Fuego Editores.

européa fabrica, actualmente, más de 100 clases de morteros, los cuales se presentan en diferentes formas y ofrecen propiedades y características químicas y mecánicas especialmente adaptadas a construcciones y obras de ingeniería civil de diversa índole.

Por otro lado, en los últimos años se ha producido una tecnificación de estos productos, con el paso gradual de los morteros hechos en obra a los preparados en fábrica o morteros industriales. Todo ello ha redundado, evidentemente, en un mayor control de la calidad, mejores prestaciones, disminución de costes, etc. También los avances técnicos han permitido la aparición de productos como los morteros monocapa (*figura 1*), que suponen una clara reducción en tiempo y mano de obra frente al binomio capa de base/capa de acabado o enfoscado/revoque. O el mortero industrial húmedo, que se sirve en camiones hormigonera, una vez mezclados los componentes y amasados con el agua precisa en fábrica, con lo que las obras disponen de un producto listo para su uso.

Los morteros, al igual que la gran mayoría de los materiales de construcción, están sujetos al Mercado CE, un procedimiento para asegurar la libre circulación de los productos de construcción dentro de la Unión Europea y que suele incluir, aunque existen diferentes fórmulas o sistemas de verificación de la conformidad, una serie de ensayos por parte del fabricante y un conjunto de controles por un organismo independiente nombrado por la Administración.

Tipología

Según las aplicaciones, los morteros se pueden clasificar en tres grandes grupos: (a) morteros para albañilería, (b) morteros para revestimiento (para revoco y enlucido) y (c) morteros especiales. El primer grupo incluye los morteros para fábricas, es decir, el material que recibe los ladrillos en la ejecución de fachadas, muros, pilares o tabiques. En ocasiones, por ejemplo en las normas UNE-EN del citado Mercado CE, el término mortero para albañilería incluye también el segundo grupo, lo que a veces



Figura 2. Fachada con un acabado de mortero de revoco.

En los últimos años se ha producido una tecnificación de estos productos, con el paso gradual de los morteros hechos en obra a los preparados en fábrica o morteros industriales. Todo ello ha redundado, en un mayor control de la calidad, mejores prestaciones, disminución de costes, etc.

produce cierta confusión. Este segundo grupo, los morteros de revestimiento, a su vez, incluye dos grandes subgrupos: los morteros de revoco (*figura 2*) y los morteros de enlucido.

El tercer grupo, los morteros especiales (también denominados en la jerga como morteros técnicos), podría definirse como un gran cajón de sastre donde entra una serie de morteros que se caracterizan, básicamente, por su alta tecnificación

y elevado precio. Ahí estarían los morteros autonivelantes, los morteros cola —ahora, con la nueva normativa UNE-EN 12004, pasan a denominarse adhesivos cementosos (dentro del grupo de los adhesivos para baldosas cerámicas)—, los morteros de impermeabilización, los morteros de reparación o material de rejuntado.

Componentes

Los componentes de los morteros son básicamente los mismos que los del hormigón, es decir, conglomerantes, áridos, agua, adiciones y/o aditivos. La única diferencia entre ambos reside en el tamaño de los áridos, ya que los morteros solamente incorporan la granulometría tipo arena. De todas formas, esto no es estrictamente cierto, por lo que, en determinadas situaciones, no existe, composicionalmente hablando, ninguna diferencia entre el hormigón y el mortero.

De la misma forma que en el hormigón se usa exclusivamente el cemento como conglomerante, y la historia de aquél va pareja a la de éste, en los morteros se aceptan, siempre que cumplan las condiciones correspondientes, todos los tipos de conglomerantes inorgánicos existentes en la industria: cemento, cal y yeso. De hecho, los primeros morteros fabricados por el ser humano lo fueron con yeso y/o cal, antes de que se descubriera el cemento, y la fabricación y utilización de los morteros de cal fue práctica común hasta la Primera Guerra Mundial. Sin embargo, el principal conglomerante utilizado en los morteros, en la actualidad, es el cemento, debido a que presenta, comparativamente, una mayor rapidez de endurecimiento y mayores resistencias mecánicas, estando la cal posicionada, en cuanto a proporción, bastante lejos del cemento. Respecto al yeso, hoy en día, su adición como conglomerante (es decir, mortero de yeso) es muy inferior a la de la cal o el cemento, reduciéndose, sobre todo, a trabajos de restauración del Patrimonio Arquitectónico u otras situaciones puntuales. También, a veces, algunos morteros como los monocapa, incorporan resinas sintéticas en polvo para generar una buena cohesión

interna entre los componentes y mejorar la permeabilidad.

En cuanto a los áridos, y dada la similitud entre el hormigón y el mortero, aquí también se puede decir que el árido del mortero es el componente clave del mismo y que difícilmente se puede obtener un mortero de calidad si el árido que se incorpora no la posee. Este planteamiento llevaría a buscar, siempre, el mejor árido posible (mejor en composición, tamaño, granulometría, etc.), lo cual no es sencillo, pues existen fuertes limitaciones económicas. El árido es, en peso, el componente más importante del mortero, lo que significa que es el material cuyo precio influye más en el coste final del producto, y además es, de todos los componentes del mortero, el más barato. Es fácil, pues, deducir que siempre se intenta obtener un árido localizado en las cercanías del centro de producción del mortero, lo que condiciona notablemente sus características. Ahora bien, esto tampoco significa que haya que olvidarse de la calidad del árido, sobre todo en aspectos que, en mayor o menor medida, sí se pueden controlar, como es, por ejemplo, su granulometría. Todo lo dicho es, a grandes rasgos, válido para los morteros de albañilería y los de revoco y enlucido, no así para muchos tipos de morteros especiales, cuyo alto precio permite, en muchos casos, una selección muy cuidadosa de los áridos. Con relación al tamaño, aunque oscila bastante según los productos, en la actualidad el tamaño máximo utilizado, por razones, entre otras, de trabajabilidad, no suele superar los dos milímetros.

Los aditivos, como elementos modificadores de las propiedades generales del mortero, han sido utilizados desde hace siglos. Ya los romanos utilizaban grasa animal, leche y sangre, probablemente porque observaban que se mejoraban algunas propiedades del mortero fresco. Su uso era, pues, estrictamente empírico y no basado en ninguna teoría química. Los aditivos se utilizan en el mortero para mejorar la mezcla en estado fresco o endurecida, siendo los más utilizados los retardadores



Figura 3. Fibras de vidrio para adicionar el mortero.

Los aditivos se utilizan en el mortero para mejorar la mezcla en estado fresco o endurecida, siendo los más utilizados los retardadores de fraguado y los aditivos inclusores de aire/plastificantes

de fraguado (para prolongar el tiempo de trabajabilidad del mortero sin cambiar sustancialmente las resistencias finales del mismo) y los aditivos inclusores de aire/plastificantes (que incrementan la trabajabilidad o que permiten una reducción del contenido en agua, por incorporación durante el amasado de una cantidad controlada de pequeñas burbujas de aire, uniformemente distribuidas, que permanecen retenidas después del endurecimiento). Otro tipo de aditivo que se suele añadir a los morteros, sobre todo si lo solicita el cliente, son los hidrofugantes. Los hidrofugantes son básicamente ácidos grasos que hacen disminuir la absorción de agua a través de los capilares del mortero endurecido. Esto no quiere decir, como algunos piensan, que el mortero es impermeable, lo cual es más complejo

de conseguir, sino que disminuye la capacidad de absorción capilar o la cantidad de agua que pasa a través de un mortero saturado y sometido a un gradiente hidráulico.

Por último, las adiciones que se pueden añadir a los morteros son los materiales preferentemente inorgánicos, como los filleres minerales, cenizas volantes, escorias de alto horno, humo de sílice o caliza micronizada, con el fin de mejorar ciertas propiedades o abaratar el producto. Otra línea de adición que en los hormigones tiene cierta importancia, pero que en los morteros se puede considerar vital, especialmente en algunos tipos como los monocapa, son los pigmentos. Permiten dar colorido al acabado final o acompañar las tonalidades entre la unidad de fábrica (material cerámico o prefabricado de hormigón) y el mortero.

Otros componentes sólidos que se pueden añadir al mortero, y que permiten dejar constancia de un mercado en continuo desarrollo e innovación, son las fibras de vidrio (figura 3), acero, polipropileno o celulosa, para dar consistencia al mortero (las de acero están especialmente recomendadas para soleras industriales mientras que las de polipropileno o de celulosa van más dirigidas a los morteros de revoco para fachadas o especiales). Este proceso, la adición de fibras, no es una idea moderna, pues ya antiguamente se usaba y los romanos, por ejemplo, añadían pelos de caballo para mejorar las propiedades mecánicas del mortero. Otro ejemplo es la incorporación, en estudio, de partículas de cera encapsuladas en los morteros de enlucido con el objetivo de que la vivienda sea más efectiva energéticamente. En esta línea también estaría el mortero de enlucido *maxit airfresh*, que incorpora una serie de componentes que actúan sobre la polución y malos olores, a través de un proceso que desencadena la luz solar, convirtiéndolos en dióxido de carbono y agua, estando especialmente recomendado para lugares públicos como restaurantes, cocinas, etc.

Proceso de fabricación

Aunque existen, lógicamente, diferencias en el proceso de fabricación entre los diversos tipos de morteros, lo que sigue a continuación es una pauta válida, aproximadamente, para las diferentes familias de morteros, sobre todo en lo que se refiere al mortero de albañilería en sentido amplio.

El primer paso para la fabricación es la recepción y el acopio de las materias primas. Los distintos materiales (conglomerantes, áridos, aditivos, etc.) llegan a la fábrica de manera muy diversa:

los áridos y el cemento en camiones, es decir, a granel, y los productos menos utilizados en big bag o en sacos y, a continuación, se acopian en silos, que es el lugar desde el cual se van a dosificar. Para el caso de los materiales mayoritarios que llegan en camión, lo usual es realizar un transporte neumático para introducirlos en el silo por la parte superior. Hay que decir que todo el proceso de fabricación del mortero se lleva a cabo por gravedad, es decir, por transporte vertical desde la parte superior, donde se localizan los silos, hasta la parte inferior, en la que se carga a granel o se ensaca el producto. Esto hace que las fábricas, muy frecuentemente,

sean estructuras industriales con alturas que pueden llegar a superar los 40 metros. En cuanto a los minoritarios, aditivos y adiciones, se suelen cargar en los silos bien manualmente o con equipos que realizan la descarga automáticamente, poseyendo un rompесacos y una unidad de aspiración.

Una vez que todos los materiales se encuentran depositados en sus correspondientes silos, tiene lugar el proceso de dosificación de los mismos. Para ello, a partir de los silos salen las tuberías que, a través de unos "sinfines", envían el material a las básculas de pesaje, las cuales pueden ser diferentes en función de la precisión de la medida, pudiendo llegar a existir hasta tres tipos de balanzas: para mayoritarios, minoritarios y microdosificaciones. El proceso de pesaje se lleva a cabo de tal forma que se generan ciclos de entre 2.000 y 3.000 kg; es decir, se fabrican tandas con esta cantidad citada de mortero seco de características exactas. Tanto el proceso de pesaje como el posterior mezclado, la carga a granel, etc., actualmente están gobernados por ordenadores centrales que, con los correspondientes programas informáticos, controlan al detalle todo lo que sucede en la fábrica de mortero seco.

El siguiente proceso, el mezclado de los componentes, es, junto con la dosificación, la piedra angular del proceso de fabricación del mortero seco. Como dicen los expertos, a partir del mezclado el mortero no sufre más que problemas. La razón de este carácter clave del mezclado reside en que es un proceso en el que la mezcladora (figura 4), lógicamente en un tiempo adecuado (p. ej. entre tres y cuatro minutos), debe mezclar componentes que han sido dosificados en gramos con componentes que lo han sido en cientos de kilogramos, y además mezclar de forma que se genere un producto totalmente homogéneo, sin ningún tipo de segregación. Es fácil imaginar el problema que puede generar un mezclado inadecuado de un componente como el pigmento para la coloración.

Llegado aquí, lo único que le queda al producto es definir su forma de venta, en



Figura 4. Mezcladoras de los componentes del mortero.

sacos, en ocasiones en *big bag* o a granel. El mortero seco destinado a mortero de albañilería, tanto para revoco/enlucido como, sobre todo, para mortero de albañilería propiamente dicho, se suele preparar a granel, en camiones que se disponen en la zona de carga y reciben el producto por la parte superior a través de la manguera de carga, para posteriormente trasladarlo al silo instalado en la obra. Por el contrario, el mortero seco del tipo monocapa o los morteros especiales (adhesivos cementosos, morteros de rejuntado de cerámica, etc.) centran más su forma de venta en los sacos de 25 ó 30 kg.

Los morteros para fábricas de albañilería

Normativamente, un mortero para albañilería (aquí mortero para fábrica de albañilería) es una "mezcla compuesta de uno o varios conglomerantes inorgánicos, de áridos, de agua y, a veces, de adiciones y/o aditivos para fábricas de albañilería (fachadas, muros, pilares, tabiques), rejuntado y trabazón de albañilería". Esta albañilería incluye la vista o en revocos y la estructural o no, tanto la destinada a la edificación como a la ingeniería civil.

La función, pues, de un mortero para fábrica de albañilería es, básicamente, servir como material de unión o cohesión de las diferentes piezas con las que se puede construir una fachada, pared, muro, etc., de tal forma que el conjunto constituya una unidad estructural independiente. Estas piezas, además, pueden ser de muy distintas características, no sólo en cuanto a tamaños sino con relación a la composición pétreo de los materiales. En la *figura 5* se puede observar un mortero de albañilería uniendo tres tipos de unidades de mampostería, la clásica de ladrillos, otra, también clásica, de bloques de granito y una tercera con componentes de origen más moderno (bloques prefabricados de hormigón).

Si bien la comentada unión o cohesión se puede considerar la función básica, hay otros objetivos que persigue este tipo de morteros, entre los cuales se pueden citar:

(a) asegurar la continuidad de la unidad estructural frente a la acción de los agentes externos, (b) asegurar la habitabilidad y salubridad de la vivienda o unidad construida, incluyendo el aislamiento térmico y acústico, (c) constituir una obra de fábrica que conserve durante un largo periodo de tiempo las cualidades que se derivan de las exigencias funcionales y (d) responder a las necesidades estéticas (dimensión, color, etc.) para fábricas de cara vista; este último aspecto, en la actualidad, posee una gran importancia.

Para todo ello, al mortero se le exigen adecuadas propiedades de resistencia a compresión (cuando un muro portante debe responder ante una sollicitación de resistencia a compresión, lo hará, lógicamente, en función de sus componentes, es decir, los elementos de fábrica —p. ej. ladrillos— y el mortero), adherencia (si la adherencia es mala, las uniones entre el mortero y los elementos de fábrica serán débiles, se formarán fisuras y, por tanto, constituirán buenas zonas para la penetración del agua, además de ser lugares sensibles para los choques y cargas verticales; al final, la adherencia es la que permite que todos los elementos de fábrica, junto con el mortero, se comporten como una única unidad, de

ahí su importancia), impermeabilidad (con gran incidencia en cerramientos exteriores) y durabilidad (los factores que comprometen la durabilidad son, fundamentalmente, el hielo-deshielo, las eflorescencias y las acciones químicas).

Los morteros para revestimiento

Los morteros para revestimiento es un gran grupo que incluye los morteros para revoco y enlucido, considerando estos términos, en función de la situación relativa, como aplicaciones exteriores, el primero, e interiores, el segundo. Las funciones básicas de estos productos son la protección y la estética. La protección de los morteros para revestimiento es una función básica, pues, de lo contrario, la fachada estaría expuesta a los agentes externos: lluvia, viento, radiación solar, etc.; incluso agentes más modernos, como la contaminación atmosférica, de gran notoriedad a la hora de deteriorar una fachada. La segunda función, la estética (textura, color, etc.) resulta casi obvia. Si bien antiguamente un buen revoco era signo de vivienda de alto rango, hoy en día es muy frecuente, como alternativa a las fachadas con piedra natural o ladrillo cara vista, encontrarse con edificios que presentan su fisonomía exterior diseñada con morteros de revoco. En este sentido,



Figura 5. Mortero para fábrica de albañilería en tres situaciones: (a) entre ladrillos, (b) entre bloques de granito y (c) entre bloques de cerramiento de hormigón.

el gran desarrollo de los denominados morteros monocapa ha popularizado notablemente la utilización de estos productos. El arte del revoco, como es fácil constatar paseando por cualquier ciudad que posea edificios de los últimos cien años, fue una técnica que alcanzó notable desarrollo (p. ej. el esgrafiado (*figura 6*) como una de las máximas expresiones) y que también ahora recobra importancia por las múltiples labores de rehabilitación de edificios antiguos. Se podría decir que el concepto de revoco como doble capa (enfoscado más revoco) se sigue aplicando, y mucho, en la restauración de fachadas, mientras que las viviendas modernas tienden más a utilizar los morteros monocapa, fundamentalmente por cuestiones de economía y rapidez.

Un mortero para revoco o enlucido, desde el punto de vista normativo, es una "mezcla compuesta de uno o varios conglomerantes inorgánicos, de áridos,



Figura 6. Esgrafiado en una fachada.



Figura 7. Martillinas para la decoración final del revoco.

Se podría decir que el concepto de revoco como doble capa se sigue aplicando, y mucho, en la restauración de fachadas, mientras que las viviendas modernas tienden más a utilizar los morteros monocapa, fundamentalmente por cuestiones de economía y rapidez



Figura 8. Revoco liso imitando una fábrica de ladrillo.

de agua y, a veces, de adiciones y/o aditivos para realizar revocos exteriores o enlucidos interiores". La utilización de la expresión "uno o varios conglomerantes inorgánicos" alcanza aquí su máxima expresión, pues si bien en los morteros para fábricas de albañilería lo usual es utilizar principalmente el cemento y, en ocasiones, la cal, en los morteros de revestimiento es algo normal mezclar cemento con cal o cal con yeso (evidentemente, todos aquellos materiales confeccionados con yeso se aplican sólo en interiores) para obtener productos fácilmente trabajables, untuosos, etc., muy útiles para los revocos. Se podría decir que la aplicación de los revestimientos es donde los morteros encuentran uno de los usos más conocidos y extendidos, sobre todo por ese carácter de variadas textura y tonalidad que confieren a la fachada.

Para aplicar los morteros de revestimiento existe toda una serie de herramientas que

son específicas en este tipo de albañilería, al margen de las tradicionales del oficio de albañil. Estas herramientas se pueden describir de acuerdo con el proceso que se esté llevando a cabo: revestir o decorar. Entre las primeras están la llana, la paleta, la espátula, el fratás, el cepillo o los aparatos de proyección, mientras que para la decoración se utilizan la plantilla, la raspa, la rasqueta, la martillina (*figura 7*), los juegos de hierros o las herramientas para esgrafiar.

Intentando especificar algo más dentro del mundo de los morteros para revestimiento, se pueden establecer tres familias básicas: los morteros de enlucido, los morteros de revoco y los morteros monocapa, estos últimos morteros de revoco pero de creación más reciente y con un peso cuantitativo muy notable en la actualidad. Un mortero de enlucido es un acabado de la superficie interna y no adquiere sus características finales hasta que ha

fraguado y/o endurecido sobre el elemento de construcción. La capa de terminación del enlucido puede tener una gran variedad de acabados, desde lisos a múltiples tipos de texturas, diseños o colores como, por ejemplo, rayados, afieltrados o salpicados.

Los morteros de revoco tienen un carácter más tradicional y se basan en técnicas empleadas desde hace siglos, aunque en la actualidad están desapareciendo, sobre todo por la falta de mano de obra cualificada. En este sentido, no hay que olvidar que el gran desarrollo en la construcción, a partir de los años sesenta, de las fachadas con ladrillo cara vista ha supuesto un golpe muy duro para los acabados con revoco. Aquí entrarían los revocos lisos, realizados con llana y paleta, que en la escuela madrileña suelen tener tres capas, y con ejemplos como las fábricas de ladrillo (*figura 8*), los sillares de piedra o las escenas (*figura 9*). Sin embargo, en la escuela catalana el



Figura 9. Revoco liso imitando escenas goyescas.



Figura 10. Fachada con un acabado con mortero monocapa a la piedra proyectada.



Figura 11. Ejemplo de relieve obtenido con un mortero de tematización.

despiece se utiliza con llaguero, siendo los acabados clásicos los de la martillina y la rasqueta. También estarían los revocos rugosos, en los que la terminación se realiza en más de dos planos de relieve; entre los más característicos sobresalen los acabados rústico, pétreo y esgrafiado.

En cuanto al mortero monocapa, más moderno, es de fabricación industrial y se aplica, como su nombre indica, en una sola capa y directamente sobre el soporte, sin necesidad de enfoscado previo. De la misma forma que los revocos tradicionales ofrecen un sin fin de acabados posibles, los morteros monocapa presentan un número bastante limitado de posibilidades, probablemente debido a la búsqueda de unos objetivos claros de rapidez y economía en su ejecución. Por ello, se puede hablar de acabados estándar, siendo los más comunes el raspado y la piedra proyectada (figura 10).

Los morteros especiales

Los morteros especiales constituyen, como se dijo al principio, un gran cajón de sastre

en el que entran variopintas tipologías que pueden unirse, a grandes rasgos, bajo el paraguas de dos grandes características: el precio (en general son productos de alto valor añadido) y la especificidad de su uso (en muchos casos son productos diseñados para una aplicación muy concreta). También son conocidos por el término “morteros técnicos” e incluso hay profesionales en el sector que distinguen dos grupos dentro de ellos, los que se podrían definir como morteros especiales sencillos y los especiales tecnológicos, estos últimos aún más caros, más específicos y con producciones globales muy inferiores a las de los anteriores. Los principales tipos presentes en el mercado son los adhesivos para baldosas cerámicas, el material de rejuntado para baldosas cerámicas y los morteros autonivelantes.

Los adhesivos para baldosas cerámicas, antes conocidos como morteros cola, se aplican en la colocación de baldosas cerámicas en paredes o suelos, tanto interiores como exteriores (e incluso para la colocación de otras clases de baldosas —piedra natural, aglomerada, etc.— siempre que sean compatibles), por el sistema de capa fina (el adhesivo se aplica normalmente con una paleta o llana para conseguir una capa regular y después se peina con una llana dentada para obtener el espesor y la planeidad adecuados).

El material de rejuntado para baldosas cerámicas se podría definir, coloquialmente, como el complemento perfecto de los adhesivos para baldosas cerámicas, pues se trata del producto que hay que aplicar, siempre, para rellenar las juntas que quedan entre las baldosas después de su colocación. Las juntas entre baldosas son las juntas de separación que se dejan en la colocación de las mismas, ya que éstas no están en contacto entre sí; suelen tener tamaños que oscilan entre 1,5 mm, en interiores, y 5 mm o más, en exteriores, y sus funciones son de carácter técnico y estético.

Los morteros autonivelantes permiten la nivelación de superficies irregulares con

espesores desde 2 mm hasta 12 cm, obteniéndose revestimientos lisos, libres de fisuras, sin juntas y con excelentes propiedades mecánicas. Fruto de ello, sus aplicaciones son muy variadas: solado de viviendas, locales públicos, soporte para la colocación inmediata de suelos de madera, moqueta, pavimento para aparcamientos y naves industriales, formación de capas de rodadura en soleras de hormigón deterioradas, reparación y nivelación de pavimentos con acabados superficiales muy irregulares, etc.

Por último, otros ejemplos de morteros especiales serían los morteros de reparación y anclaje, los morteros de impermeabilización o los morteros tixotrópicos de tematización, línea ésta de productos que ha adquirido un gran auge con el desarrollo de los parques temáticos, parques acuáticos, parques de atracciones, zonas de ocio, etc., siendo sus objetivos principales la imitación de materiales naturales y la realización de relieves (figura 11). Por otro lado, y aunque sólo sea por citarlo, una gama de productos en gran desarrollo en la actualidad son los morteros geotécnicos: estabilización de suelos por jet-grouting, micropilotaje o revestimiento de trasdós lde dovelas en túneles.

Agradecimientos

Agradezco a Josep Borrull (Weber), Eduardo Quesada (Holcim) y Manuel Grandes (Prebesecc) las facilidades mostradas para la realización de este trabajo.

Bibliografía

- Alejandro, F.J. (2002). *Historia, caracterización y restauración de morteros*. S.P. Universidad de Sevilla-Inst.Univ. Ciencias de la Construcción, Sevilla.
- Bustillo, M. (2008). *Hormigones y Morteros*. Fueyo Editores, Madrid.
- Gárate, I. (1999). *Artes de los yesos. Yaserías y estucos*. Editorial Munillaloría, Madrid.

Rutas Geomonumentales:

la geología para la enseñanza y difusión del patrimonio arquitectónico

Las Rutas Geomonumentales constituyen una novedosa metodología de abordar la divulgación del patrimonio arquitectónico con una clara intencionalidad didáctica, permitiendo conocer de cerca los materiales geológicos que lo configuran, la relación que guardan con los edificios, su conservación y sus causas de deterioro. El patrimonio arquitectónico es difundido desde una perspectiva cultural y científica, permitiendo la interacción entre disciplinas como la historia, geología, química, arquitectura, ingeniería, arte y sociología.

TEXTO | Elena M. Pérez-Monserrat, licenciada en Ciencias Geológicas; Rafael Fort González, doctor en Geología Económica; Mónica Álvarez de Buergo, doctora en Ciencias Geológicas; M^º José Varas Muriel, doctora en Ciencias Geológicas
Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM). Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas

Palabras clave

Patrimonio geológico, materiales de construcción, geología urbana, geoturismo

Desde la década de los años sesenta del pasado siglo XX, se han venido desarrollado estrategias a nivel institucional para la adecuada gestión del potencial turístico del patrimonio cultural. El Instituto Europeo de Rutas Culturales del Consejo de Europa

(www.culture-routes.lu), el Comité Internacional de Itinerarios Culturales (CIIC) de ICOMOS (www.icomos-ciic.org) y la UNESCO (www.unesco.org), son los principales organismos encargados de formalizar a nivel institucional la confección de itinerarios culturales,

entendidos como "rutas que forman parte de nuestro patrimonio cultural". Si bien son muy abundantes las rutas culturales realizadas por estos tres organismos, no contemplan la confección de **itinerarios geológicos urbanos** con fines educativos y de divulgación científica.



Figura 1. Rutas Geomonumentales diseñadas. *Conjuntos Monumentales*: 1. Nuevo Baztán. 2. Loeches. 3. La muralla de Talamanca de Jarama. *Monumentos o edificios*: 4. Palacio del infante Don Luis de Borbón en Boadilla del Monte. 5. Panteón de Hombres Ilustres. *Temáticas*: 6. Canteras históricas de la Comunidad de Madrid. 7. Piedra de construcción tradicional en los monumentos de Madrid.

El desarrollo de estas actividades presenta una importante capacidad de crecimiento, debido principalmente a la nueva cultura del ocio, la creciente inquietud en la sociedad por el conocimiento científico y por la rica geodiversidad existente en nuestro entorno, posibilitando una amplia oferta de itinerarios.

A nivel internacional, la Escuela de Geografía de la Universidad Queen's, de Belfast, realiza un recorrido guiado por el centro de Belfast mostrando el impacto medioambiental de la contaminación atmosférica en los edificios de la ciudad, con ejemplos de deterioros, y destacando los métodos que se utilizan para conservar las estructuras de piedra (Smith y Warke, 1996; Gaffikin, 1999). El Servicio Geológico de Estados Unidos ha publicado un cuadernillo con la procedencia y el aspecto de las piedras de construcción utilizadas en Washington D.C., en el que se incluye un mapa y un itinerario recomendado (USGS, 1998). Diversas sociedades geológicas americanas e instituciones, como el Smithsonian Institute, han trabajado sobre itinerarios urbanos en los que se muestran los diferentes materiales geológicos de construcción empleados en diversos núcleos de población (Slagle, 1982; Doe, 1989).

A nivel nacional, en los I, II y IV Simposios sobre la Enseñanza de la Geología en España, celebrados en 1976, 1983 y 1986, respectivamente, se mostraron itinerarios geológicos urbanos como herramienta para la enseñanza de la geología y para la aproximación de las ciencias geológicas

a la sociedad (Bach *et al.* 1976; Anguita *et al.* 1982; Bach *et al.* 1986).

En el I Congreso Geológico de España, celebrado en Segovia, en 1984, se presentó un trabajo en el que se contemplaba el potencial didáctico que presentaban los materiales geológicos utilizados en la construcción de las ciudades (García-Ruiz, 1984). En el IV Congreso Geológico de España de 1996, se organizó una serie de itinerarios geológicos desde Alcalá de Henares, siendo uno de ellos una ruta por la ciudad que incluía algunos de sus edificios más emblemáticos, con datos históricos y arquitectónicos de los mismos, intervenciones llevadas a cabo, tipos de materiales de construcción, su estado de conservación y su procedencia (Fort *et al.* 1996).

Diversas sociedades geológicas americanas e instituciones, como el Smithsonian Institute, han trabajado sobre itinerarios urbanos en los que se muestran los diferentes materiales geológicos de construcción empleados en diversos núcleos de población

La página web www.puertollanovirtual.com/articulos ofrece un recorrido geológico por el Paseo de San Gregorio, en Puertollano, Ciudad Real, en el que se muestran las rocas utilizadas en diversos edificios del paseo y se atiende a los procesos geológicos formadores de las mismas (García, 2002). Una de las primeras páginas web sobre la realización de recorridos en los que se muestran los materiales geológicos utilizados en el patrimonio arquitectónico, está centrada en el Madrid de los Austrias y se denomina Ruta Geológica Urbana (Soto y Morcillo, 2003). En las diferentes ediciones de la Semana de la Ciencia organizadas por la Comunidad de Madrid, se realizan los denominados itinerarios didácticos de carácter científico-divulgativo, siendo aquí donde comenzaron a desarrollarse las Rutas Geomonumentales como tal, cuyo principal fin es la divulgación de los estudios científicos llevados a cabo por el grupo de Petrología Aplicada a la conservación del Patrimonio del Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM).

Desde el año 2005, estas rutas han sido articuladas, teniendo actualmente un papel relevante en la sección de ciencia y sociedad de la página web de la Comunidad de Madrid (www.madrimasd.org/cienciaysociedad/patrimonio/rutas/geomonumentales).

Las Rutas Geomonumentales confeccionadas hasta la fecha, todas en la Comunidad de Madrid, por el grupo de Petrología Aplicada a la conservación del Patrimonio del IGE, son el conjunto



Figura 2. Conjunto monumental de Sigüenza (Guadalajara) y antiguas canteras de donde se extrajo la piedra para su construcción localizadas en las proximidades del mismo.

monumental de Nuevo Baztán, el conjunto monumental de Loeches, la muralla de Talamanca de Jarama, el palacio del infante Don Luis de Borbón, en Boadilla del Monte, las canteras históricas de la Comunidad de Madrid y la piedra de construcción tradicional en los monumentos de Madrid (figura 1).

Las Rutas Geomonumentales constituyen una novedosa metodología de abordar la difusión del patrimonio arquitectónico con una clara intencionalidad didáctica, permitiendo conocer de cerca los materiales geológicos, la relación que guardan con los edificios, su conservación y sus causas de alteración (Pérez-Monserrat *et al.* 2006 y 2007; Álvarez de Buergo *et al.* 2007). El patrimonio arquitectónico es difundido desde una perspectiva cultural y científica, permitiendo la interacción entre disciplinas como la historia, geología, química, arquitectura, ingeniería, arte y sociología. Las Rutas Geomonumentales abogan por la divulgación de la ciencia, de la tecnología y del conocimiento adquirido, siendo necesario compaginar el arte y la investigación científica para la mejor conservación del patrimonio. Estas rutas son un gran viaje desde el entorno hacia el interior del monumento: comienza en el ambiente que lo rodea, continúa en la superficie de sus paramentos y entra en sus materiales de construcción, para que la ciencia enseñe qué les ocurre con el paso del tiempo.

El prefijo "geo" indica el fuerte condicionante geológico existente en la localización de asentamientos urbanos y en su desarrollo. La geomorfología, hidrogeología, existencia de recursos minerales y suelos fértiles, potencial riesgo sísmico y/o volcánico o estabilidad del terreno, han sido factores que históricamente han influido tanto en la elección de zonas para ubicar asentamientos como en la ordenación del territorio. El prefijo "geo" también establece la relación de los monumentos con la geología, en tanto que los hombres han extraído de la tierra los recursos geológicos necesarios para levantar sus construcciones (figuras 2 y 3).



Figura 3. Torre defensiva di Porto Miggiano (Santa Cesarea, región de Apulia, Italia), construida con la piedra extraída de las canteras infrayacentes.

La piedra, material geológico de construcción utilizado en el patrimonio arquitectónico por excelencia, suele aparecer acompañada de materiales cerámicos, morteros, materiales constituidos por tierras, pigmentos naturales o pátinas de recubrimiento, cuyas materias primas también tienen una procedencia geológica (figura 4). El papel fundamental de los materiales geológicos en el legado arquitectónico les configura como un importante valor patrimonial en sí, cuyo conocimiento supone una manera más de conservar y difundir el patrimonio arquitectónico. Así, la geología constituye un valor añadido a este patrimonio, contribuyendo por tanto a incrementar su valor ("valorización").

Son muchos los aspectos geológicos que condicionan la configuración y estado actual del patrimonio arquitectónico, como la morfología del paisaje, el afloramiento de las formaciones geológicas, las técnicas de explotación y extracción en cantera, o el comportamiento físico-químico de los materiales geológicos. Estos aspectos son ampliamente tratados en ramas de la geología como la geomorfología, los recursos minerales, la petrología



Figura 4. Materiales geológicos empleados en la arquitectura de Albarracín (Teruel). Sobre la piedra caliza se ha aplicado una pátina, y, en las construcciones, se utiliza también el ladrillo, la cerámica, el mortero e incluso el alabastro.

(petrografía y petrofísica) o la geología ambiental. Las Rutas Geomonumentales dan a conocer estas disciplinas, mostrando cómo son los materiales que dan forma al patrimonio arquitectónico, cómo se comportan y cómo debe intervenir sobre los mismos. En definitiva, estas rutas enseñan el lenguaje de los materiales geológicos, cuyo conocimiento es necesario para apreciar y conservar el patrimonio arquitectónico.

La Declaración de Helsinki de 1996 resolvió que el necesario acceso al conocimiento y disfrute del patrimonio cultural debe ser promovido como un factor de desarrollo vital y colectivo para la sociedad, que el turismo contribuye al acceso del público al patrimonio cultural y que los ingresos derivados de ello pueden proporcionar unos recursos substanciales para su preservación. En la V Conferencia Europea de ministros responsables del Patrimonio Cultural, celebrada en Portoroz (Eslovenia) en 2001, se acordó asegurar que, en la sociedad de la información, todo el mundo tuviera un acceso razonable al conocimiento, a la cultura y al patrimonio cultural.

Por tanto, desde las instituciones públicas y privadas deben buscarse las vías adecuadas para la transmisión de la información. Sin duda, las Rutas Geomonumentales son una de estas vías. Constituyen un método de difusión del patrimonio arquitectónico, de las ciencias geológicas y de la investigación científica aplicada al servicio del mismo. Es necesario que este tipo de rutas se ofrezca como un itinerario cultural más, tanto desde los organismos públicos correspondientes como desde la iniciativa privada. Es igualmente necesario que sean confeccionadas por centros de investigación y/o profesionales conocedores de los materiales geológicos y sensibilizados con la filosofía que se pretende transmitir.



Figura 5. Principales tipos de Rutas Geomonumentales y aspectos fundamentales a tratar en las mismas.

Propuesta metodológica

Mediante el empleo de un lenguaje sencillo y de abundante información gráfica, las Rutas Geomonumentales ofrecen diversos aspectos del patrimonio arquitectónico, permitiendo al visitante elegir y animándole a profundizar en su interés. Enseñan a mirar y a observar con otra perspectiva, despiertan la curiosidad y hacen ver la estrecha relación existente entre la geología y el patrimonio arquitectónico.

Existen tres tipos principales de Rutas Geomonumentales (figuras 5 y 1), aquellas realizadas en centros históricos o conjuntos monumentales, las desarrolladas en un edificio o monumento en particular y las rutas temáticas, esto es, aquellas que incluyen diversos inmuebles agrupados bajo un aspecto común, como una tipología arquitectónica, unos materiales de construcción utilizados, una determinada época constructiva o un arquitecto en concreto. Además de datos históricos y arquitectónicos del inmueble o inmuebles incluidos en cada ruta, los aspectos fundamentales a tratar son la historia constructiva e intervenciones acometidas,

los materiales geológicos utilizados, su procedencia y su estado de conservación.

En el apartado dedicado a rutas en la web de **madri+d** (www.madrimasd.org), el visitante puede acceder de forma virtual a diversos tipos de rutas, siendo una de las opciones las Rutas Geomonumentales. Una pequeña introducción explica qué son estas rutas, su filosofía y aquellas a las que es posible acceder de forma virtual. En cada una de las rutas se puede acceder mediante las diversas pestañas a los datos generales del inmueble, así como a su localización, accesos y entorno, a los materiales de construcción que lo configuran, a las canteras de donde se extrajeron los materiales pétreos, a su historia constructiva, al deterioro de sus materiales o a las intervenciones realizadas (figuras 6, 7, 8 y 9). Las rutas se acompañan con los itinerarios propuestos para realizar la visita, planos diversos y una bibliografía recomendada.

El grupo de Petrología Aplicada del IGE cuenta con el programa MATERNAS (acrónimo de Durabilidad

y Conservación de Materiales Tradicionales Naturales del Patrimonio Arquitectónico), financiado por la Comunidad de Madrid (www.maternas.es) y con un proyecto bilateral con el instituto IBAM-CNR², "Comparación metodológica para la conservación y puesta en valor de Rutas Geomonumentales: puentes históricos en piedra de Madrid y calcarenita del Salento o piedra leccese". Así, a través del programa MATERNAS y del citado proyecto, el grupo está desarrollando la Ruta Geomonumental de los puentes de granito sobre el río Guadarrama, Madrid (figura 10), y está colaborando en la confección de una Ruta Geomonumental en la región de Apulia, al sur de Italia, que incluye torres costeras y las canteras históricas originales de las que se extrajo la piedra utilizada en la construcción de las mismas (figuras 11 y 3). Con las rutas ya realizadas, así como con aquellas que se vayan confeccionando, se requiere editar un atlas digital de Rutas Geomonumentales, en un principio, de la Comunidad de Madrid, en donde las rutas queden agrupadas según sus tres tipologías principales.

1. El Sistema **madri+d** es un sistema virtual de promoción y difusión tecnológica en investigación y desarrollo de la Comunidad de Madrid. Agrupa tanto instituciones públicas y privadas de investigación como asociaciones empresariales regionales, cubriendo los aspectos esenciales de comunicación entre el sector productor de conocimiento y el sector industrial, con el objetivo de mejorar la competitividad de la región mediante la transferencia de conocimiento.

2. Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM). Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).



Figura 6. Materiales de construcción utilizados en el castillo de Torrejón de Velasco, Madrid. Se distingue el granito, la caliza, el sílex y diversas tipologías de morteros de junta.

Especial importancia están adquiriendo en los últimos años las canteras históricas de donde se extrajeron los materiales pétreos utilizados en la construcción del patrimonio arquitectónico. Existe una renovada preocupación entre la comunidad científica para la localización de las canteras originales, tanto por la necesidad o requerimiento de material pétreo para sustituciones, como por la creciente desaparición de gran número de canteras históricas, absorbidas por el crecimiento urbanístico y no incluidas en planes de protección. Además, el conocimiento de las canteras originales, formas extractivas o medios de transporte, representa una herencia esencial en cuanto al patrimonio industrial de cada época se refiere. Las Rutas Geomonumentales introducen la importancia de las canteras históricas, y todos los aspectos industriales relacionados con la actividad extractiva, como factor potenciador del patrimonio industrial.

Existen, a este respecto, iniciativas y proyectos interesantes, tales como ITALITHOS, EUROLITHOS, PIERCENTRE, OSNET, MARMOTEC, ASMOSIA o LITHICA. Existe también una iniciativa muy interesante en este sentido, desde la Universidad de Valladolid, denominada



Figura 7. Vestigios de antigua actividad extractiva: (a) frente de banco de explotación de caliza (El Espartal, Madrid); (b) explotación de bolos graníticos mediante su fisuración con cuñas de madera a favor de su red de fracturas (El Escorial, Madrid).

Las Rutas Geomonumentales introducen la importancia de las canteras históricas, y todos los aspectos industriales relacionados con la actividad extractiva, como factor potenciador del patrimonio industrial

“Chimeneas frente al Páramo: en defensa de un patrimonio invisible”. Se trata de una página web que aborda el patrimonio tecnológico de Castilla y León, con fichas descriptivas de varios edificios industriales (www.emp.uva.es/~javier/chimeneas/paginas/sitios.html). Desde la Comunidad de Madrid también se potencia la conservación del patrimonio industrial y su difusión (<http://www.madrimasd.org/cienciay-sociedad/patrimonio/rutas/arqueologia/default.asp>).

Menduiña y Fort (2005) relacionan y describen la piedra utilizada en 122 inmuebles históricos, localizados en 53 municipios de la Comunidad de Madrid. Asimismo, se incorpora un mapa de la Comunidad donde se relaciona la geología con el patrimonio arquitectónico, indicándose la distribución de litologías en el territorio regional, la situación de los monumentos seleccionados y las canteras de donde la piedra es extraída. Además, se añaden fichas específicas correspondientes a 18 monumentos, de los que se proporcionan datos históricos, de su fábrica,

características petrológicas de los materiales pétreos utilizados y del estado conservación.

Junto a los monumentos emblemáticos madrileños, se quiere incidir en el valioso patrimonio arquitectónico olvidado en los itinerarios turísticos que se encuentra en el interior de la capital o disperso en los pueblos que integran la región. Nos referimos a la arquitectura tradicional de la Comunidad de Madrid, que utiliza unas técnicas y materiales muy particulares. Las Rutas Geomonumentales deben dar mayor énfasis a este patrimonio desconocido y de valor inestimable, cuya recuperación es cada vez más necesaria ante su pérdida alarmante.

De acuerdo con EURAB (European Union Research Advisory Board, 2005), para garantizar la protección del patrimonio cultural, es fundamental incrementar el impacto social del mismo mediante formas de dinamización cultural de su uso. Las Rutas Geomonumentales pretenden que la sociedad conozca su patrimonio arquitectónico, sobre todo el que tiene



Figura 8. Deterioro de los materiales de construcción: (a) erosión del granito, pérdida de material en los ladrillos y desprendimiento del mortero en la alcazaba de Mérida (Badajoz); (b) erosión diferencial de la piedra siguiendo su estratificación original, favorecida por la pérdida de los morteros de revestimiento y de junta aplicados sobre el paramento, que presentan, además, un elevado grado de enmugrecimiento (Soria).

Si bien las diferentes Rutas Geomonumentales creadas hasta la fecha se localizan en la Comunidad de Madrid, se pretende trasladar esta idea a las diferentes comunidades autónomas españolas

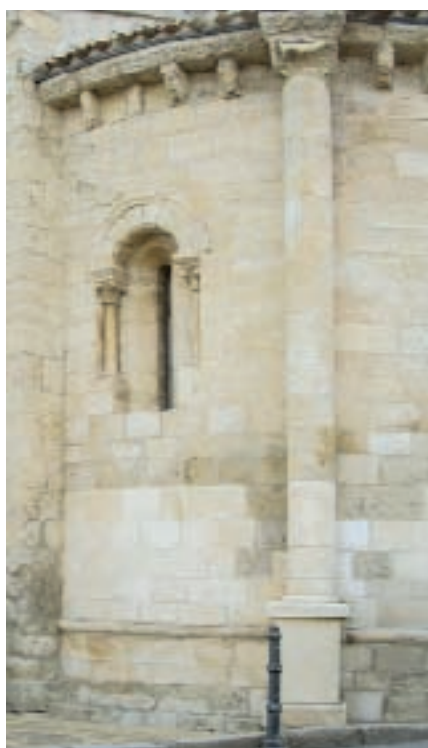


Figura 9. Aplacado reciente de piedra caliza colocado sobre la piedra infrayacente original, zona inferior del ábside románico de la iglesia de San Juan Bautista de Talamanca de Jarama (Madrid).

más cercano, para que así esté más sensibilizada ante la necesidad de su conservación.

Mirando al futuro

De forma sucinta, se exponen a continuación las diferentes experiencias al respecto llevadas a cabo por el grupo de Petrología Aplicada del IGE (figura 12), algunas de las cuales ya han sido referidas a lo largo del presente artículo:

- IV Congreso Geológico de España (1996). Itinerarios Geológicos desde Alcalá de Henares. Restauraciones y rehabilitaciones en monumentos emblemáticos de Alcalá de Henares.
- Semana de la Ciencia (2002, 2003, 2004, 2005, 2006 y 2007):

- Conjuntos monumentales de Loeches y Nuevo Baztán, Madrid.
- Palacio del infante Don Luis de Borbón en Boadilla del Monte, Madrid.

- Conjunto monumental de Talamanca de Jarama, Madrid.
- Los materiales pétreos utilizados en la arquitectura madrileña de Fernando Arbós.

- III Reunión de la Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural "Técnicas de Conservación del Patrimonio". Madrid, 19-20 junio de 2003. El Palacio Real de Madrid.
- International Conference "Heritage, Weathering and Conservation" y VIII Reunión de la Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural, Madrid, 21-24 junio de 2006. El Palacio de La Granja, La Granja de San Ildefonso, Segovia, 24 junio de 2006.
- Curso "Ciencia y Tecnología para una conservación sostenible del patrimonio pétreo. La gestión de proyectos de restauración. Casos prácticos". En colaboración con Restauradores Sin Fronteras. Visita técnica: El Palacio Real de Madrid. Madrid, noviembre de 2006.
- IV Congreso Comunicación Social de la Ciencia. Cultura Científica y Cultura Democrática. CSIC. Madrid, 21-23 noviembre de 2007. La piedra tradicional utilizada en la construcción del patrimonio arquitectónico madrileño.

Si bien las diferentes Rutas Geomonumentales creadas hasta la fecha se localizan en la Comunidad de Madrid, se pretende trasladar esta idea a las diferentes comunidades autónomas españolas para que, desde los centros y/o instituciones correspondientes, se impulse su realización. Igualmente, se pretende que estas rutas progresivamente vayan contemplando también la realización de recorridos geológicos, de modo que queden incluidas en el término de geoturismo³ (Hose, 1997; Carcavilla, 2006).

Conclusiones

- Las Rutas Geomonumentales nos enseñan cómo son los materiales geológicos utilizados en el patrimonio

3. El geólogo T.A. Hose, promotor del término geoturismo, hace referencia al valor y beneficio social de los entornos geológicos y geomorfológicos, así como de sus materiales, al mismo tiempo que se asegura su conservación en provecho de estudiantes, turistas y otros visitantes ocasionales.



Figura 10. Dos vistas del puente romano de Alcanzorra en la Navata (Madrid).



Figura 11. Antiguas canteras históricas en la localidad termal de Santa Cesarea (región de Apulia, Italia).

arquitectónico, su comportamiento y cómo preservarlos.

- Suponen una novedosa metodología, ausente a nivel institucional, muy apropiada para la transferencia de información.
- Permiten el conocimiento de patrimonios menos conocidos pero de inestimable valor.

El legado cultural es una herencia única e irrepetible que merece ser conocida y conservada

- Muestran al ciudadano cómo la ciencia y la tecnología pueden contribuir a la conservación del legado arquitectónico.
- Suponen un importante potencial turístico englobado en el término de geoturismo.
- Permiten al visitante virtual profundizar en las rutas hasta donde desee,

captando su atención e impulsándole a conocer los edificios y monumentos *in situ*.

El patrimonio cultural abarca muy diversos y variados aspectos, todos de alguna manera relacionados entre sí y unidos en sinergia a sus gentes. Supone una herencia que es parte de nosotros y representa un elemento diferenciador de los pueblos, así como un elemento de unión entre los mismos, siendo esencial su cuidado y preservación. El legado cultural es una herencia única e irrepetible que merece ser conocida y conservada y, para ello, es fundamental su difusión.

España cuenta con un extensísimo patrimonio cultural y con una situación que le permite dedicar parte de sus recursos económicos a la revalorización y conservación del mismo. Considerando el privilegio que supone poder educar a la población y crear en ella una sensibilidad hacia la cultura heredada, los países, en la medida de sus capacidades, tienen el deber de conocerla, difundirla y abogar por su preservación. Educar en el aprecio y respeto al patrimonio cultural es responsabilidad de todos y supone la mejor garantía para su conservación y transmisión a las generaciones futuras. En nuestra mano está, con nuestra formación y posibilidades, educar para conservar el legado cultural recibido.

Bibliografía

- Álvarez de Buergo, M., Pérez-Monserrat, E.M. y Fort, R. (2007). Geomonumental Routes: a useful tool for popularising the built heritage. En: J. Radic, V. Rajcic, R. Zarnic (eds.). *Heritage Protection. Construction aspects*. European Construction Technology Platform, S.K. Kourkoulis, ed. Springer-Verlag, Dordrecht, 623-630.
- Anguita, F., San Miguel, M. y Sánchez, J.R. (1982). Un itinerario geológico urbano en las inmediaciones del Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. En: *II Simposio Nacional sobre la enseñanza de la Geología*, Gijón, 165-175.
- Bach, J., Obrador, A. y Brusi, D. (1976). Geología urbana. Proposta d'un itinerari per la ciutat de Vic. En: *I Symposium sobre l'ensejament de les ciencies naturals*.
- Bach, J., Brusi, D. y Obrador, A. (1986). Pautas para la realización de itinerarios urbanos. En: *IV Simposio Nacional sobre la enseñanza de la Geología*, Vitoria-Gasteiz, 263-273.
- Carcavilla, L. (2006). Interpretación de la Geología: las Georutas del Parque Natural del Alto Tajo. *Tierra y Tecnología*, 29, 61-67.
- Council of Europe. Experts' contribution. Forward Planning: the function of Cultural Heritage in a changing Europe. En: http://www.coe.int/T/E/Cultural_Co-operation/Heritage/Resources/ECC-PAT%282001%29161.pdf.
- Doe, B.R. (1989). A different view of stone monuments, memorials and buildings of Washington, D.C. En: *28th International Geological Congress Field Trip Guidebook T235*, American Geological Union.
- European Union Research Advisory Board (2005). EURAB Report and Recommendations on "Science and Society": An agenda for a responsive and responsible European science in FP7 (September 2005). Documento EURAB 05.035.
- Fort, R., Mingarro, F., López de Azcona, M.C. y Álvarez de Buergo, M. (1996). Restauraciones y rehabilitaciones en monumentos emblemáticos de Alcalá de Henares. En: M. Segura, I. Bustamente y T. Bardaji (eds.). *IV Congreso Geológico de España. Itinerarios Geológicos desde Alcalá de Henares*. Servicio de Publicaciones de Alcalá de Henares, 81-98.
- Fort, R., Mendiña, J., García del Cura, M.A., Varas, M.J. y Álvarez de Buergo, M. (2002). Las canteras históricas del Cretácico de la

>> CONTINÚA EN PÁG. 46



Figura 12. Algunas de las Rutas Geomonumentales realizadas: 1. Muralla de Talamanca de Jarama; 2. Palacio Real de Madrid; 3. Palacio de La Granja de San Ildefonso; 4. Panteón de Hombres Ilustres en Madrid; 5. La piedra tradicional utilizada en el casco histórico de Madrid (Monasterio de la Encarnación).

Agradecimientos

El desarrollo de las Rutas Geomonumentales ha sido posible gracias al programa MATERNAS financiado por la Comunidad de Madrid (0505/MAT/0094), al proyecto bilateral CSIC-MEC y CNR (2006IT0021) y al programa TCP de CONSOLIDER-INGENIO 2007, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (CSD2007-0058). Asimismo, agradecemos a la Comunidad de Madrid el apoyo brindado para potenciar la divulgación científica mediante las Rutas Geomonumentales.

>> VIENE DE PÁG. 45

- Comunidad de Madrid: utilización en su Patrimonio Arquitectónico. En: *2ª Reunión Monográfica de la Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico-Cultural*, Madrid.
- Gaffikin, P. (1999). *Set in stone: a geological guide to the building stones of Belfast*. Environment and Heritage Service, Belfast.
- García, A. (2002). Foto-geología urbana en el Paseo de San Gregorio de Puertollano. En: <http://www.puertollanovirtual.com/articulos/>.
- García-Ruiz, J.L. (1984). La ciudad como recurso didáctico. En: *I Congreso Geológico de España*, Segovia. IV, 505-525.
- Hose, T.A. (1997). Geotourism. Selling the earth to Europe in marinos. En: Koukis P.G. et al. (eds.), *Engineering geology and the Environment*, Balkema, Rotterdam, 2955-2960.
- ICOMOS (1999). *Cultural Tourism Charter*. ICOMOS, París. www.icomos.org (retrieved February 11, 2000).
- Menduiña, J. y Fort, R. (Coords.) (2005). *Las piedras utilizadas en la construcción de los Bienes de Interés Cultural de la Comunidad de Madrid anteriores al siglo XIX*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Pérez-Monserrat, E.M., Varas, M.J., Gómez-Heras, M., Álvarez de Buergo, M. y Fort, R. (2006). Rutas Geomonumentales: una herramienta para la difusión del patrimonio arquitectónico. En: *VIII Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación, La Dimensión Social del Patrimonio*, Salta, Argentina, 215-226.
- Pérez-Monserrat, E.M., Fort, R., Álvarez de Buergo, M. y Varas, M.J. (2007). Rutas Geomonumentales: estrategia de difusión científica para la conservación del patrimonio arquitectónico. En: *IV Congreso Comunicación Social de la Ciencia. Cultura Científica y Cultura Democrática*. CSIC, Madrid.
- Slagle, E.S. (1982). *A Tour Guide to Building Stones of New Orleans*, New Orleans Geol. Society.
- Smith, B.J. y Warke, P.A. (eds.) (1996). *Processes of urban stone decay*. Donhead Publishing LTD, Londres.
- Soto, P.J. y Morcillo, J.G. (2003). Ruta geológica urbana por el Madrid de los Austrias. En: [//www.ucm.es/info/diciex/programas/rutageologica/index.html](http://www.ucm.es/info/diciex/programas/rutageologica/index.html).
- United States Geological Survey, USGS (1998). *Building stones of our Nation's Capital: Washington, D.C.*, U.S. Geological Survey, U.S. Govt. Printing Office. (Escrito por Charles Withington y editado por Don Olson: <http://pubs.usgs.gov/gip/stones/tour.html>.)

La consejera de Medio Ambiente del Gobierno Vasco inauguró la nueva sede del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos del País Vasco

Eusko Jaurlaritzako Ingurumen Sailburuak Euskadiko Geologoen elkargoko egoitza berria inauguratu zuen

El 28 de mayo, Esther Larrañaga, consejera de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, inauguró la nueva sede de la delegación del País Vasco del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG), sita en la calle Iparragirre número 36 de Bilbao.

Maiatzaren 28an, Ingurumen eta Lurralde Antolamendu Sailburuak, Esther Larrañaga, Geologoen Elkargo Ofizialaren Euskadiko ordeskaritza inauguratu zuen. Ordezkaritza hau Bilboko Iparragirre kaleko 36an dago kokatuta.

TEXTO | Virginia Ormaetxea, vocal de Relaciones Interinstitucionales, y Joaquín Souto, secretario técnico de la Delegación del País Vasco

FOTOS | Federico Mendicutti y Joaquín Souto

La delegación del ICOG en el País Vasco surgió en la comida anual de noviembre de los geólogos del País Vasco y Navarra, en el año 2002. Con las copas en la mano, Patxi Tamés pidió que se pusieran manos a la obra para crear una delegación. Sin más dilación, Guillermo Bernal, Fernando Aizpiri, Aitor Zulueta, Manuel Martínez y Miguel Gómez se pusieron en contacto con el presidente del ICOG, Luis Suárez. A partir de entonces, se dieron los pasos para constituirse como delegación: alquiler de la primera sede (mayo de 2003), que ha tenido esta delegación en Alameda San Mamés número 43, 6º piso; realización de las votaciones para elegir consejo de Gobierno (julio de 2003), y contratación de una administrativa (diciembre 2003).

Esta primera sede, una modesta oficina de 40 m², formada por un amplio recibidor-despacho y una pequeña sala de reuniones, fue suficiente durante los primeros años hasta que, a mediados del año pasado, al contratar un secretario técnico, se vio la necesidad de desplazarse y, como quedó reseñado en el periódico *Deia*, "un corrimiento de tierras que nos permitirá crecer y prestar mejor servicio a los colegiados".



Figura 1. Fachada de la delegación del ICOG en Bilbao. La oficina está en la primera planta.



Figura 2. Sala de cursos antes de la reforma.



Figura 3. Recepción y sala del Consejo antes de la reforma.

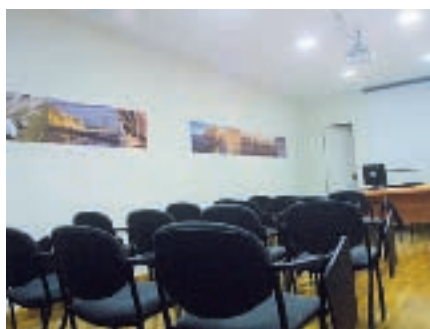


Figura 4. Sala de cursos en la actualidad.

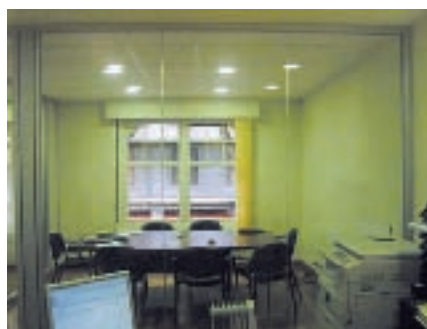


Figura 5. Sala de Gobierno en la actualidad.

El proceso de búsqueda de una nueva sede partió de la necesidad de disponer de un mayor espacio que permitiera la realización de actividades demandadas por el colectivo ante las nuevas necesidades colegiales que han surgido en los últimos meses

El proceso de búsqueda de una nueva sede partió de la necesidad de disponer de un mayor espacio que permitiera la realización de actividades demandadas por el colectivo ante las nuevas necesidades colegiales que han surgido en los últimos meses. De forma previa, se valoró la posibilidad de acondicionar la sede anterior, pero aspectos como mejorar la luminosidad (cambio de la mampara existente a una translúcida)

o cambios en la distribución, chocaban con el reducido espacio disponible (<40 m²) y suponían una inversión difícilmente justificable si se tenía en cuenta el periodo de amortización necesario. El crecimiento sostenido de los ingresos en la delegación en los últimos tiempos hacía viable el afrontar un incremento en los gastos fijos, y así se evaluó desde tesorería y presidencia.

Relación de las reformas llevadas a cabo

Los condicionantes que se tuvieron en cuenta fueron, por un lado, la ubicación, ya que el local debía ser céntrico con proximidad a transporte público (metro) y zonas de aparcamiento público; y, por otro lado, el tamaño, ya que la necesidad detectada nos indicaba que debía ser próximo a los 100 m², con otros condicionantes como tener una distribución no excesivamente compartimentada o que permitiera la redistribución del local para alojar todas las áreas que las necesidades colegiales requerían, incluyendo, además, un aula para unas 20-25 personas que permitiese desarrollar actividades de formación. Reducción de los gastos fijos (alquiler de sala) para de esta manera hacer viables charlas o cursos a grupos pequeños.

Después de revisar la oferta inmobiliaria en la zona y realizar visitas a diferentes locales, se consideró apropiado el situado en el número 36 de la calle Iparragire (piso primero, puerta derecha), ya que en éste concurrían los elementos señalados y algunas ventajas



Figura 6. Esther Larrañaga y Elisa Sainz de Murieta con el Consejo de Gobierno y personal de la delegación. De izquierda a derecha: Leyre Escolar, Alfonso García de Cortázar, Gentzane Txurruka, Elisa Sainz de Murueta, Julio Aizpiri, Esther Larrañaga, José Luis Barrera, Virginia Ormaetxea (agachada), Javier Iglesias, Elisa Fernández de Liencres y Joaquín Souto.

adicionales como la proximidad a la sede anterior (que implicaba la facilidad del traslado), una buena ratio superficie/coste de alquiler, un espacio diáfano (que permitía acometer la distribución sin condicionantes previos) y exterior a calle céntrica con una fachada recientemente restaurada (figura 1).

Lógicamente, también hubo algunos inconvenientes, como la necesidad de reforma y la accesibilidad desde la calle. Asociado al alquiler del local estaba la necesidad de una reforma ineludible para adaptarlo a los usos citados (figuras 2 y 3). Para reducir los gastos asociados a un doble alquiler (antigua sede y local en proceso de reforma) se estableció un calendario muy ajustado para compatibilizar el proceso de reforma con el funcionamiento de la sede. De esta manera, aunque se reducían las molestias a los colegiados, permitía mantener el servicio de visados.

En el proceso de adjudicación de ofertas se presentaron tres, de las cuales se eligió Orma, Arquitectura Interior. Esta empresa realizó un plano del estado previo, propuso una solución de distribución compatible con los usos demandados y aceptó el plazo propuesto con una pequeña holgura para la colocación de mamparas (figuras 4 y 5).

Acto de inauguración

Teniendo en cuenta que el ICOG tiene como ministerio de referencia al Ministerio de Medio Ambiente, y que en el País Vasco existe un decreto (Decreto 199/2006, de 10 de octubre) donde se obliga a tener geólogos para obtener la acreditación para trabajar en suelos contaminados, parecía razonable que la persona idónea para inaugurar la nueva sede fuera la consejera de Medio Ambiente del Gobierno vasco. En carta oficial, se invitó a la consejera Esther Larrañaga al acto de inauguración, comunicándonos su gabinete que el día elegido por agenda era el 28 de mayo a las 18:00 horas. A pesar de que el calendario de la consejera no se ajustaba al del presidente de la Delegación, Miguel Gómez (de viaje de trabajo ineludible en Uruguay



Figura 7. Javier Iglesias (tesorero, con la corbata verde claro), junto a los miembros del anterior Consejo de Gobierno.



Figura 8. De izquierda a derecha: O. Herrera, J.L. Barrera, E. Larrañaga y E. Sainz de Murieta.

en la fecha de la inauguración), se decidió seguir adelante, debido a que no fue fácil, en un principio, que la consejera aceptara el cambio de fecha. Julio Aizpiri, vicepresidente de la Delegación, aceptó el reto de presidente en funciones, saliendo bien del trance, como quedó recogido en la prensa local del día siguiente.

Así, el 28 de mayo, a las 18:00 horas, llegó la consejera Esther Larrañaga, acompañada de la directora de Biodiversidad, Elisa Sainz de Murieta, geóloga también, al portal de la nueva sede. A su llegada, la consejera saludó

a los vicepresidentes Julio Aizpiri (País Vasco) y José Luis Barrera (Sede Central), mientras Virginia Ormaetxea (vocal de Relaciones Interinstitucionales) atendía a los medios de comunicación.

Después de las fotografías junto a la placa del portal, que requerían los medios de comunicación, se subió a la sede, en donde esperaban el resto del consejo de Gobierno, que dio una calurosa bienvenida tanto a la consejera como a la directora de Biodiversidad. Después de la foto oficial de la inauguración (figura 6), se procedió a enseñar a nuestras ilustres invitadas

las dependencias de la sede, pasando al final a la sala de asambleas-cursos, donde los vicepresidentes y la propia consejera nos deleitaron con sus discursos. Cabe destacar que en dichos discursos, Julio Aizpiri agradeció a los impulsores de la delegación su empeño en salir adelante y José Luis Barrera explicó a la consejera el "mapa de ruta" del Colegio de Geólogos en España. Por su parte, la consejera Esther Larrañaga nos comunicó que le produjo extrañeza que la invitáramos a la inauguración, pero después entendió la iniciativa, ya que estando rodeada de tantos geólogos en su departamento, no era extraño que estuviera en un evento de tal trascendencia. Indicó también que seguiría contando con los geólogos, como lo había estado haciendo hasta ahora.

Finalizados los discursos, se procedió a hacer una mención especial a los miembros del anterior consejo de Gobierno (figura 7), incluida la administrativa, que se emocionó porque no se esperaba el gesto, y se les obsequió con una placa. Posteriormente, se obsequió, asimismo, con otra placa a la consejera Esther Larrañaga, a la directora de Biodiversidad, Elisa Sainz de Murieta, a la directora del Museo Minero de Gallarta, Oihane Herrera, y al



Figura 9. Vista general de los asistentes al acto.

vicepresidente del Colegio Oficial de Geólogos, José Luis Barrera (figura 8).

Y no podíamos finalizar el acto sin unos buenos pinchos regados con vino y txakoli, como es costumbre por esta tierra norteña, a la vez que aprovechábamos para saludarnos y ponernos al día el grupo de amigos (figura 9) que nos juntamos en esa tarde que amenazaba tormenta pero en la que terminó luciendo

un bonito sol. Huelga decir que tanto la consejera como la directora de Biodiversidad se quedaron hasta el final de todo el evento, y aprovecharon para saludar y comentar las últimas noticias e inquietudes que preocupaban a los colegiados presentes y a los invitados que acudieron, entre los que se encontraban personal de EVE e IHOBE, y representantes de museos y otros colegios profesionales.

Presentación de Virginia Ormaetxea (V.O.)

Arratsaldeon denoi,

Buenas tardes,

Hasteko, egoitza berri honetara hurbiltzeagatik eskertu nahiko nuke:

- *Ingurumen eta Lurralde Antolamendu Sailburu Andrea, Esther Larrañaga Ongi etorri.*
- *Espainako Geologoaren Elkargoaren Presidente ordea, José Luis Barrera Ongi etorri.*
- *Euskadiko Geologoaren Elkargoaren Lehendakari ordea, Julio Aizpiri Ongi etorri.*
- *Elkargokide guztiok, lagun denak, Ongi etorri.*

Antes de empezar me gustaría agradecer la presencia en esta nueva sede a:

- A la señora consejera de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Esther Larrañaga.
- Al señor vicepresidente del Colegio Oficial de Geólogos de España, José Luis Barrera.
- Al señor vicepresidente del Colegio de Geólogos de Euskadi, Julio Aizpiri.
- A todos los colegiado/as y amigo/as.

Konturatu zaretenez Euskadiko Geologoaren Elkargoaren Lehendakaria, Miguel Angel Gomez ezin da agertu egun berezi honetan lan arazo batengatik; Uruguayan dago lanean gaur den egunean. Miguelek bere izenean agertutakoen barkamena eskatu dit. Horrexegatik, gure lehendakari ordeak hitzaldi bat emango du.

Como os habréis dado cuenta, el presidente del Colegio de Geólogos de Euskadi no ha podido asistir en este día tan especial por una razón laboral; en estos momentos, se encuentra trabajando en Uruguay. Me ha pedido que pida disculpas a los presentes. Así que, en su lugar, nuestro vicepresidente nos dirigirá unas palabras.

Discurso de Julio Aizpiri

Consejera, vicepresidente (J.L. Barrera), Junta de Gobierno, compañeros...

Hoy es un día importante para las geólogas y para los geólogos del País Vasco. Comenzamos nuestra andadura como Colegio del País Vasco hace ya seis años, cuando un grupo de compañeros se pusieron de acuerdo para que nuestro Colegio tuviera una sede en Euskadi, algo que era demandado en aquellos días por el resto de los geólogos.

Desde aquí, quiero comenzar mi discurso con unas palabras de agradecimiento a estos compañeros que hicieron posible que hoy inauguramos esta sede, de los que algunos se encuentran presentes entre nosotros, Agustín, Aitor, Guillermo, Héctor y Fernando.

En estos seis años, el Colegio de Geólogos del País Vasco se ha consolidado, hemos crecido y hemos avanzado por el camino correcto, que es el camino del acuerdo entre nosotros, y nos estamos preparando para los retos que afronta nuestra profesión.

Esta nueva sede que inauguramos representa nuestra confianza y nuestra apuesta por un futuro más próspero para las geólogas y los geólogos. Cuando elegimos esta sede, lo hicimos buscando un lugar y un local que estuviera a la altura que los geólogos tenemos que ocupar en nuestra sociedad.

Veréis... cuando la elegimos nos gustó porque tiene ventanas en las que podemos poner nuestro logo para que se nos vea, porque ése es el espíritu del Consejo de Gobierno, mostrarnos a la sociedad y que ésta nos vea, enseñar nuestra tarea a la gente.

Hemos avanzado con esta nueva sede, con la incorporación del secretario técnico y con la presencia de la ONG Geólogos del Mundo en nuestra sede; hemos crecido en representación, en presencia en congresos, charlas, foros, comunicaciones y en la unidad del colectivo.

Los geólogos hacemos un gran servicio a nuestra sociedad y tenemos un compromiso con ésta. Los geólogos queremos estar presentes en los foros y en los lugares en los que se toman decisiones, allí donde debe oírse nuestra palabra, allí donde nuestra labor es imprescindible.

Cuando un geólogo mira a un paisaje, no ve un paisaje estático, ve un paisaje en movimiento, ve laderas de se deslizan, ve flujos de agua subterránea que descargan en ríos, ve relieves que evolucionan, ve valles que se colmatan. No existen otros técnicos ni otros profesionales capaces de ver lo que ve un geólogo.

Pero tenemos grandes retos por delante. Tenemos que seguir dando a conocer nuestra labor a las Administraciones, al resto de los profesionales, a la sociedad, tenemos que seguir estrechando lazos con el mundo universitario.

Tenemos también, y esto es muy importante, que fomentar la geología entre los estudiantes. Las facultades de Geología necesitan más estudiantes, una paradoja en una profesión con un 3% de paro, y que, en el caso de Euskadi, es requerida en un decreto.

Tenemos, digo, que seguir mostrando nuestras capacidades y nuestras aportaciones imprescindibles a la hora de evitar desastres, pérdidas humanas y materiales. Y a todos se nos vienen a la cabeza un montón de ejemplos.

Y ésta es nuestra meta; desde el Colegio de Geólogos del País Vasco estamos trabajando con ilusión por una profesión, abierta, competitiva, comprometida y solidaria.

Por último, recordaros que el Colegio de Geólogos somos todos y que esta sede es vuestra casa. El Consejo de Gobierno está aquí para ayudar a impulsar vuestras iniciativas y recibimos con gran alegría cualquier aportación que nos hagáis.

Muchas gracias a todos por haber venido.

V.O.: *Segituan, José Luis Barrera, Espainako Geologoen Elkargoaren presidente ordeak hitz egingo du.*

Seguidamente, hablará José Luis Barrera, vicepresidente del Colegio Oficial de Geólogos.

Discurso de José Luis Barrera

Después de saludar a los asistentes, el vicepresidente del ICOG excusó la ausencia del presidente del Colegio, Luis Suárez, por tener que asistir a la reunión de la FEG que se celebra en Atenas.

Destacó que es un honor para el Colegio la presencia de la consejera de Medio Ambiente del País Vasco, Esther Larrañaga, en este día histórico para los geólogos vascos, en el que se inaugura su nueva sede colegial. Esta sede constituye la expresión del esfuerzo del colectivo de geólogos vascos que, poco a poco, se han ganado el respeto profesional, social y político de esta comunidad.

A continuación, Barrera, dirigiéndose a la consejera, expuso los datos generales del ICOG, diciendo que el Colegio es una institución de derecho público que se constituyó por ley en diciembre de 1978. Actualmente, el ICOG es un colectivo de 4.000 geólogos distribuidos en un

Colegio estatal con cuatro delegaciones y un Colegio en Andalucía. La mayoría de estos profesionales trabajan en el sector privado, donde el índice de paro es menor del 3%. El resto lo hace en las Administraciones Públicas, aunque en proporciones menores que las que consideramos necesarias para el buen hacer en los temas que profesionalmente nos competen. En muchos casos, las Relaciones de Puestos de Trabajo (RPT) siguen estando cerradas a los geólogos, bien por ignorancia o por una intencionalidad perversa difícil de entender. Igualmente, añadió que la inversión pública en trabajos geológicos sigue estando por debajo de lo que necesitaría el mercado y, como prueba, están los continuos siniestros que se producen por escasos o nulos informes geológicos.

Los sectores de empleo de los geólogos son la ingeniería geológica y la geotecnia, el medio ambiente, la investigación minera, la hidrogeología, y, así, hasta las cuarenta competencias que se recogen en nuestros estatutos. El objetivo del ICOG es dar servicio indiscriminado a la sociedad civil en todos los aspectos que competen con las ciencias de la Tierra. Somos un colectivo abierto a toda la población y colaboramos con todas las profesiones. Los geólogos no somos excluyentes.

Nuestro ministerio de referencia es el de Medio Ambiente, por lo que era oportuno que la autoridad que inaugurara esta nueva sede colegial fuera la responsable de la Consejería de Medio Ambiente.

El ICOG ha colaborado activamente con las Administraciones Públicas. Así, ha participado con el Ministerio de Medio Ambiente en la redacción de las leyes de Parques Nacionales, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, y en la redacción del Reglamento de Suelos Contaminados. También, en los aspectos ambientales el Colegio tiene siempre una presencia activa en el CONAMA, organizando mesas redondas y grupos de trabajo.

Con el Ministerio de Vivienda, se ha colaborado en la redacción del Código Técnico de la Edificación (capítulo 3) y en la Ley del Suelo, que introduce la elaboración de los mapas de riesgo en los planes de ordenación territorial como una herramienta de prevención de los desastres naturales.

El Colegio de Geólogos es pionero en varios servicios colegiales como el visado telemático o los títulos profesionales. También está certificado en la calidad de gestión de varios de sus servicios con la ISO 9001:2000.

Desgraciadamente, la sociedad sólo nos recuerda cuando la prensa nos llama para comentar alguna catástrofe natural (*camping* de Biescas, socavones en la línea del AVE en Zaragoza, crisis volcánica en el Teide, túnel del Carmel, terremotos en Ciudad Real o túnel del AVE

en Barcelona), pero la verdadera vocación de los geólogos es la política preventiva y no la de unidad de emergencia.

Para finalizar, Barrera volvió a agradecer la presencia de la consejera y ofreció el Colegio, especialmente la delegación en el País Vasco, para una colaboración abierta con la administración vasca.

V.O.: Inauguraketa hau egiteko, Ingurumen eta Lurralde Antolamnedu Sailburua pertsona egokiena zela pentsatu genuen zalantzarik gabe. Azken urteotan, bere agintaldian, Euskadiko geologo batzuek lan egiteko eremu garrantzitsua izan dute. 2006ko Urriaren 10an, Euskadiko Ingurumen eta Lurralde Antolamendu Sailak eskatuta, Euskal Herriko Aldizkarian 199/2006 Dekretua argitaratu zen, non 1. eranskinako B atalean, egiaztatze sistema duten enpresek geologoak lanean eduki behar dituztela adierazten baitu. Dekretu honi esker, gaur egun Euskadiko geologo askok lan egiten dugu.

Para esta inauguración, no nos cabía ninguna duda de que la persona idónea para estar aquí era la consejera de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, ya que gracias a su labor los geólogos/as del País Vasco tienen un importante campo de trabajo. El 10 de octubre de 2006, a petición del Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco, se publicó en el BOPV el Decreto 199/2006, en donde se establece, en el apartado B del anexo 1, que las empresas acreditadas tienen que tener geólogos/as en su organización. Gracias a este decreto, en la actualidad muchos geólogos/as del País Vasco están trabajando.

Dekretu hau 1/2005 legea, lurzorua ez kutsatzeko eta kutsatutakoa garbitzeko legeari esker agertu zen, 2002-2012ko Garapen Jasangarriaren Ingurumen Estrategian oinarritzen dena. Atzera begiratuta, plan hau 3/1998 Euskal Herriko Ingurugiroa babesteko lege orokorratik jaio zen, non 6. atalean dioen "Euskal Herriko ingurugiro-politika ingurugiroari buruzko esparru-programa batean azalduko da. Programa hori Euskal Autonomia Erkidegoko ingurugiro-organoak egingo du Euskal Herriko Ingurugiro Batzordean ordezkotza duten administrazio publikoekin lankidetzan". Beraz ez dugu ahaztu behar legea argitaratu zen garai hortan Sailburu ordea Esther Larrañaga bera zela. Ikusten dugunez, oraingo sailburua hasieratik egon da, lurzoru kutsatuen legegintza bultzatuz.

Este decreto salió a la luz debido a la Ley 1/2005, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo, que se enmarca dentro de la Estrategia Ambiental Vasca de Desarrollo Sostenible (2002-2012). Si vamos hacia atrás en el tiempo, este plan salió a partir de otra ley, la 3/1998, Ley General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco, que en su artículo 6º establece: "La política ambiental del País Vasco se plasmará en un programa marco ambiental elaborado por el órgano ambiental de la Comunidad

Autónoma del País Vasco en colaboración con las Administraciones Públicas representadas en la Comisión Ambiental del País Vasco". Y aquí debemos recordar que cuando salió a la luz esta primera ley, Esther ocupaba el cargo de viceconsejera de Medio Ambiente. Vemos que la actual consejera ha estado, desde el principio, apoyando la legislación de suelos contaminados.

Ildo beretik jarraituz, azpimarratu nahiko nuke behin Saiburua izendatuta, azken urteotan "Harrobiak hondeaketetako material naturalekin betetzeko gidaliburu teknikoa" argitaratu dela 2006ko maiatzean, isurketaren kudeaketa bideratzeko. Gidaliburu honetan meatze-zuloak segurtasunez erabiltzeko kontuan hartu beharreko irizpide geoteknikoak eta hidrogeologikoak adierazten dira, hondeaketa-lanek eragindako ingurumen inpaktua arintzeko, meatze egitura horiek material-soberakinez birgaituta. Zalantzarik gabe, geologoentzako lan esparru bat da. Horretaz gain, Euskadiko Lurzoru kutsatuei buruzko plana (2007-2012) atera du. Beraz, arlo honetan lan eginten jarraituko dugu hurrengo urteetan, eta gainera Uraren Euskal Agentzia sortu du, geologok teknikari aditu bezala lan egin dezakegun arloan.

Siguiendo esta línea, me gustaría resaltar que como consejera estos últimos años, Larrañaga ha publicado como solución a la gestión de residuos la *Guía técnica para el relleno de canteras con materiales naturales de excavación*, en mayo de 2006, en donde se indican los criterios geotécnicos e hidrogeológicos que deben seguirse para utilizar los huecos, cuyo objetivo principal es paliar la huella ambiental producida por la huella extractiva, rehabilitando dichas estructuras con el material excedentario. Obviamente, éste es un trabajo para los geólogos/as. Además, ha promulgado el Plan de Suelos Contaminados del País Vasco (2007-2012), con lo que seguiremos trabajando en este campo al menos unos años más, y ha creado, además, la Agencia Vasca del Agua, sector en el que los geólogos/as podemos trabajar como técnico/as especialistas.

Bestaldetik, Klima Aldaketaren Aurkako Euskal Plana (2008-2012) onartu berri da. Interbide bidegarritasunen artean, ez dira geologikoak baztertu behar, esate baterako, CO₂ kokapen estrategikoetan harrapaketa edo arrisku geologikoen aurkako baliabideak sortzea. Gainera, ez dugu ahaztu behar zabortegi dekretua onarpen fasean dagoela eta Geologoen Elkargo moduan lanerako esparru hau ez galtzea eskatzen dugu. Hortaz, Ingurumen Sailari eskatuko genioke geologoak kontutan hartzeko, bere arloan lan handia egin dezakegun aditu bezala.

Por otro lado, se ha aprobado recientemente el Plan Vasco de Lucha contra el Cambio Climático (2008-2012). Entre las soluciones viables, no se deberán descartar las de índole geológico, como la captura de CO₂ en emplazamientos

estratégicos o la introducción de medidas preventivas ante los riesgos geológicos que se puedan derivar. No quiero que olvidemos que el decreto de vertederos está en fase de aprobación y que, como Colegio de Geólogos, pedimos no perder este campo de trabajo.

Solicitamos, por tanto, a la Consejería de Medio Ambiente que tenga en cuenta a los geólogos/as, ya que tenemos mucho que aportar a su departamento como especialistas.

Sarrera txiki honekin, Saiburua Andreari hitza ematen diot.

Con esta pequeña introducción, le doy la palabra a la señora consejera Esther Larrañaga.

Larrañaga, entre otras cosas, agradeció la invitación para inaugurar la nueva sede y deseó un futuro con muchos éxitos para los geólogos vascos.

V.O.: Eta honekin, Iparragirre kalean dagoen Euskadiko Geologoen Elkargoko egoitza ofizialki inauguratuta gelditzen da.

Y así, queda oficialmente inaugurada la sede de la calle Iparragirre del Colegio Oficial de Geólogos de Euskadi.

Baina gaurko eguna ez litzateke helduko aurreko juntaren lanik gabe. Horregatik, egun berezi honetan opari bat eman nahi genieke, Euskadiko Geologoen Elkargoko lehenengo pausua emandakoagatik: Saiburua Andreak emango ditu.

Pero un día como hoy no hubiera llegado sin el trabajo de los miembros del Consejo anterior: Hector Rubio, Andoni Alkorta, Juan García, Patxi Tames, Agustín Larrea, David Guerrero y Gentzane Txurruka.

Por eso, queremos dar un detalle por los primeros pasos que dieron por el Colegio de Geólogos del País Vasco. Dará los regalos la señora consejera.

Orain Julio Aizpiri, Euskadiko Geologoen Elkargoaren lehendakari ordea, Leire Escolar, idazkaria, eta Javier Iglesias, diru-aztertzaileak gonbidatutakoei opariak emango dizkiete.

Ahora, Julio Aizpiri, vicepresidente del Colegio de Geólogos de Euskadi, Leire Escolar, secretaria, y Javier Iglesias, tesorero, darán los regalos a nuestros invitados: Esther Larrañaga, Elisa Sainz de Murieta, Jose Luis Barrera y Oihane Herrera.

Hitzak bukatuta, orain jatera. Luncha emango da. Eskerrik asko etortzeagatik.

Terminado este acto, se dará un *lunch*. Gracias a todos/as por haber venido.

El comportamiento frente al hielo de la piedra natural

Un nuevo método de evaluación

Se describe, en este artículo, un nuevo método experimental para evaluar el comportamiento frente al hielo de los productos de piedra natural. Para una mejor comprensión de la metodología propuesta, se analizan los diferentes factores de riesgo y su interrelación, a partir de los cuales se establecen las formulaciones que permiten determinar, en el laboratorio, el número de ciclos necesarios para producir el mismo daño por hielo que el que se originaría en una piedra expuesta durante un cierto periodo de tiempo. Se define un nuevo índice climático, denominado Índice de Hielo (Ig), así como el Factor de Saturación K asociado a la posición que la piedra ocupa en el edificio.

TEXTO | Fernando López González-Mesones. Dr. ingeniero de Minas. Profesor Titular UPM.

Palabras clave
Piedra natural, heladicidad, hielo, Índice de Hielo.

La acción de las heladas sobre la piedra natural constituye un factor de degradación medioambiental que afecta, en mayor o menor medida, a su vida útil.

El fenómeno de degradación por hielo tiene su fundamento, por una parte, en el incremento de volumen que sufre el agua al transformarse en hielo, cuando alcanza su temperatura de congelación, y, por otra, en el número de ciclos de congelación/descongelación que sufre la piedra una vez colocada en obra.

La temperatura de congelación del agua a la presión atmosférica es de 0°C, y varía, lógicamente, con la presión a la que se encuentra sometida en cada caso, dando lugar a un incremento de volumen del 9%. Este incremento origina un estado tensional en el interior de los poros accesibles al agua, que puede provocar la aparición de fisuras, o una pérdida de cohesión, en mayor o menor cuantía, y cuya evolución puede conducir, dependiendo de las características petrográficas de la roca, a su desintegración y, en cualquier caso, a una disminución de sus prestaciones mecánicas.

Pero el proceso de degradación por hielo tiene su fundamento, no solamente en el

incremento de volumen del agua al cambiar de estado, sino, sobre todo, en los esfuerzos de fatiga originados por los ciclos de congelación/descongelación, que se dan en la naturaleza. Cuanto mayor sea el número de ciclos de hielo/deshielo y su duración en el tiempo, mayor será el daño producido.

Diversos estudios realizados en el laboratorio corroboran la importancia del fenómeno cíclico en la degradación de la roca.

A modo de ejemplo se puede citar el caso de una caliza oolítica cuya desintegración total se produjo, por fallo del cemento calcáreo, después de realizarse, tan solo 15 ciclos de 8 horas en congelación al aire a -12°C, y 16 horas de descongelación en agua a 20°C, mientras que ese mismo

material mantenido durante 14 meses en una cámara de hielo, a la misma temperatura bajo cero que la del ensayo, no sufrió ningún tipo de alteración apreciable (*figuras 1, 2 y 3*). Se podrían citar algunos otros casos comprobados, que corroboran esta hipótesis.

Sin embargo, las sollicitaciones de fatiga producidas por los ciclos de hielo/deshielo tienen, a veces, su contrapartida en un desarrollo simultáneo de fenómenos de cementación hidráulica de algunos de los componentes mineralógicos de la roca, debidos a la presencia de agua durante la saturación de la piedra y del CO₂ del aire durante la congelación en seco. Esta cementación se produce durante los primeros ciclos de congelación, hasta un cierto límite, para después continuar con el proceso de alteración del material.



Figura 1. Oolitos sueltos después de perder totalmente el cemento a los 15 ciclos.



Figura 2. Probeta desintegrada a los 15 ciclos.

Por esta razón, se suele decir de algunas piedras que “endurecen con el tiempo”.

En las *figuras 4, 5, 6, 7 y 8* aparecen diferentes curvas que representan la variación del valor de la resistencia a la flexión —en valor medio y en valor mínimo esperado correspondiente a una distribución logarítmica normal— con el número de ciclos de hielo/deshielo. En ellas se puede observar una caída inicial de resistencia seguida de una remontada posterior, llegando incluso a alcanzar, al final, valores superiores a los disponibles antes de realizarse el ensayo.

Sobre la hipótesis del desarrollo de procesos de cementación en el material durante los ciclos de hielo/deshielo, no disponemos en estos momentos de certeza comprobada, aunque sí parece probable a la vista de los resultados anteriores.

Los factores de riesgo

Desde el punto de vista de la heladicidad, se consideran factores de riesgo de las rocas ornamentales los siguientes.

- La porosidad de la roca conjuntamente con su Coeficiente de Saturación.
- Las condiciones climáticas del emplazamiento representado por el denominado Índice de Hielo (I_h).
- El riesgo de saturación de la piedra, que depende de la posición que ésta ocupa en el edificio.
- El tiempo de exposición a la acción medioambiental.

A partir del conocimiento de los factores de riesgo, el problema se plantea entonces en términos de determinar la relación existente entre dichos factores y la vida útil del material, de tal manera que la misma se pueda predecir con suficiente aproximación. Esto constituiría su periodo de garantía.

Se describe a continuación el significado de cada uno de los factores de riesgo.

Porosidad y Coeficiente de Saturación

Se define la porosidad como el cociente entre el volumen de poros accesibles al

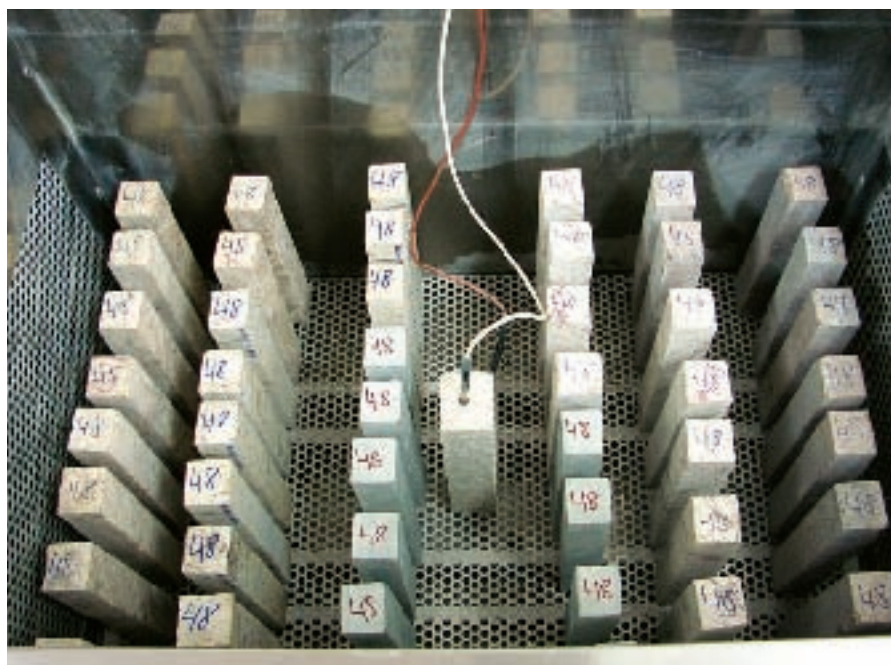


Figura 3. Cámara de heladicidad para realizar el ensayo cíclico según UNE EN 12371.

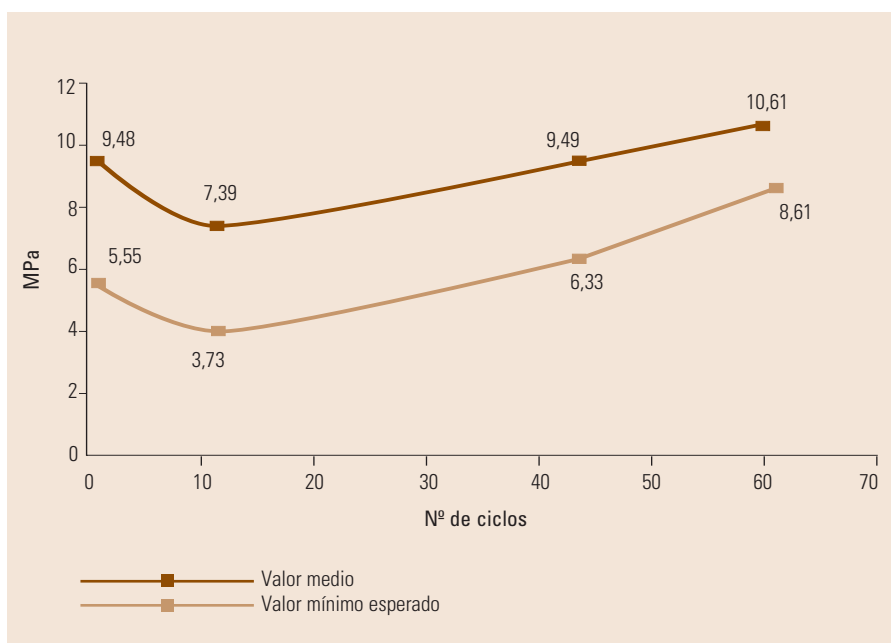


Figura 4. Arenisca. India. Absorción: 5,01%.

agua, sometiendo la probeta, antes de su saturación, a un vacío de 14 kPa, y su volumen expresado en porcentaje. Constituye un parámetro cualitativo que no se puede considerar de forma aislada sino conjuntamente con el tamaño del poro. Así, para una misma porosidad, cuanto menor sea el tamaño del poro mayor es el daño producido por hielo.

El Coeficiente de Saturación representa el cociente entre el volumen de poros

accesibles al agua, a la presión atmosférica, y el volumen de poros accesibles al agua en condiciones de vacío, expresado en porcentaje. Ambos parámetros se deben analizar también de forma conjunta.

Así, para valores de la porosidad superiores al 1% y un coeficiente de saturación superior a 0,90% supone ya una cierta predisposición de la piedra a la degradación por la acción del hielo.

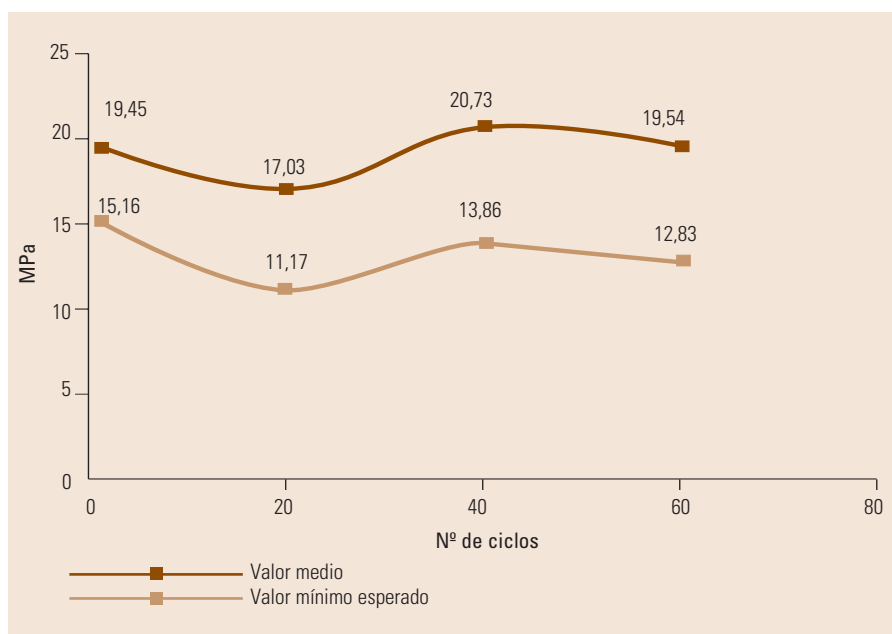


Figura 5. Mármol. España. Absorción: 0,07%.

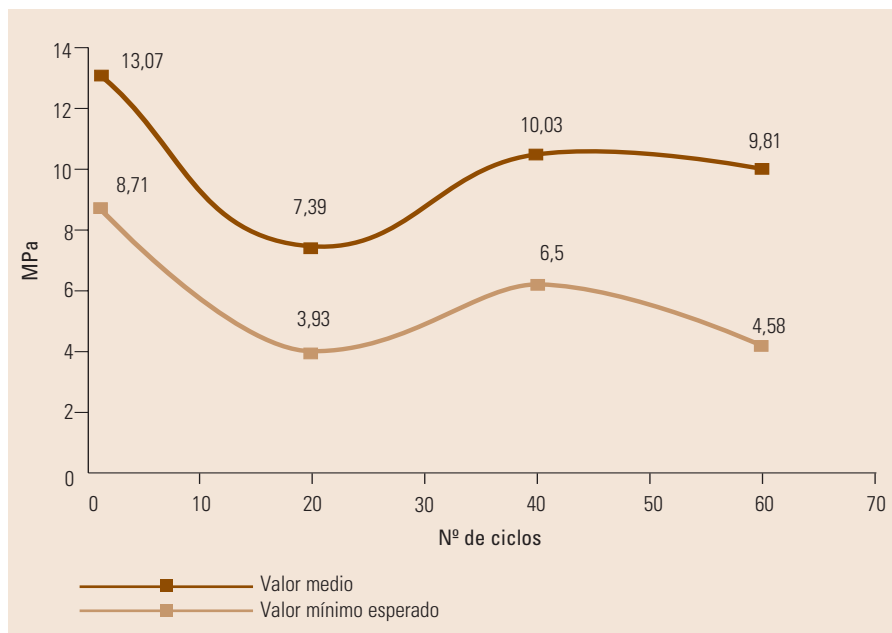


Figura 6. Mármol. Italia. Absorción: 0,16%.

considerar que una piedra colocada en un edificio próximo alcanza en su núcleo la temperatura de congelación se basa, por una parte, en medidas de temperatura realizadas en tejados de pizarra por medio de sondas colocadas debajo de las placas, y en el exterior a una cierta distancia del edificio sometido a auscultación (Cárdenas Van den eynde, 2008). Por otra, la norma francesa NF B 601 establece esta misma temperatura para considerar que la piedra inicia su proceso de congelación una vez colocada en el edificio.

El riesgo de saturación de la piedra

Depende de la posición de la piedra en el edificio. Se distinguen las siguientes posiciones de riesgo:

- Pavimentos exteriores, donde la saturación, de larga duración, a veces de varios días, se produce por una invasión muy agresiva del agua en el pavimento y con un secado muy lento.
- Zonas de zócalo, donde la saturación se origina por fenómenos de ascensión capilar y salpicaduras.
- Encuentros de paredes verticales con relieves de fachada, donde la saturación se origina por fenómenos de capilaridad y salpicaduras, aunque es menos agresiva que en zócalos al existir, normalmente, menor espacio para la acumulación de agua.
- Paredes verticales amorteradas sin cámara de aire. El riesgo de saturación es menor en este caso, al favorecerse el drenaje del agua de lluvia por la acción gravitatoria.
- Fachadas ventiladas. Es la situación más favorable ya que el riesgo de saturación permanente es, en la mayoría de los casos, muy reducido, si no nulo.

El tiempo de exposición

Lógicamente, cuanto más tiempo esté expuesta la piedra a la acción de las heladas mayor será su deterioro. Este factor de riesgo representa la vida útil deseada o esperada del material, que habitualmente se considera entre 25 y 50 años.

Índice de Hielo (I_h)

Se trata de un índice climático que representa la suma de las temperaturas por debajo de 5°C bajo cero en un emplazamiento determinado durante un año y como valor medio de una serie meteorológica de 30 años.

Viene dado por la expresión:

$$I_h = \frac{\sum_{i=1}^{365} T_{-5^{\circ}\text{C}}}{30} \quad (1)$$

Siendo $T_{-5^{\circ}\text{C}}$ el valor de la temperatura mínima diaria, igual o menor de -5°C , en el emplazamiento.

En la *tabla 1* figuran los valores del Índice de Hielo obtenidos a partir de datos suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para una serie de estaciones seleccionadas.

La adopción de la temperatura de -5°C , procedente de una estación meteorológica, como frontera para

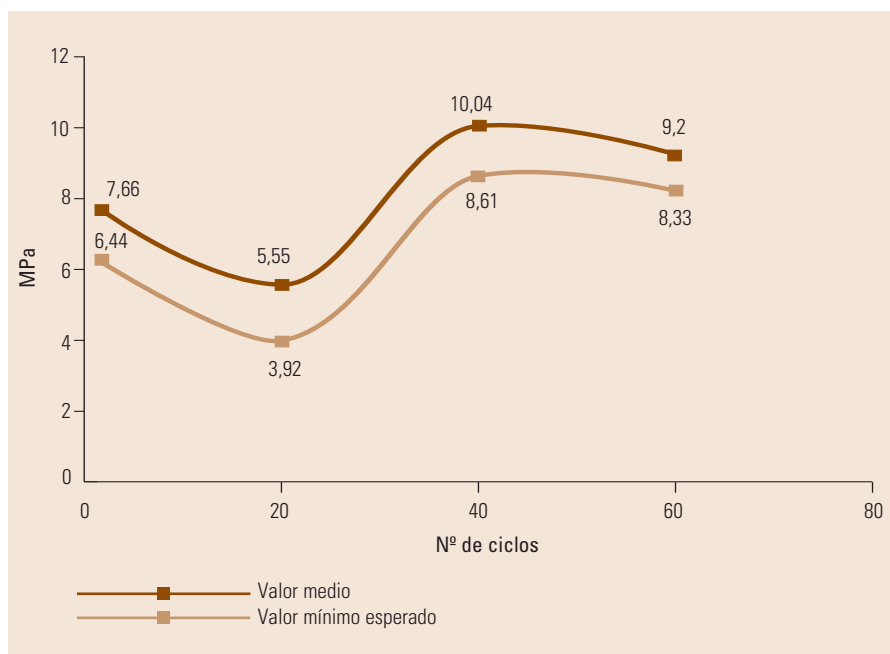


Figura 7. Calcarenita. España. Absorción 5,18%.

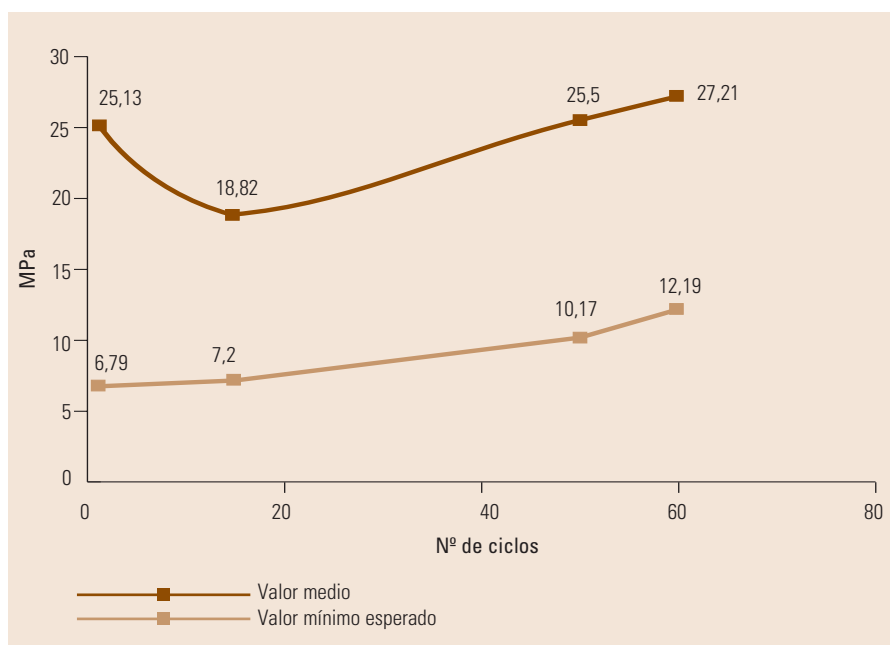


Figura 8. Mármol tableado. España. Absorción: 0,38%.

Fundamentos del nuevo método

El nuevo método parte del concepto de daño por hielo sobre la piedra natural cuando ésta se coloca en un edificio determinado.

Se denomina daño por hielo medio, durante un año de exposición, al valor del Índice de Hielo (I_h) del emplazamiento en cuestión definido anteriormente en la expresión (1).

De esta forma, después de n años de exposición, el daño por hielo viene dado por la expresión:

$$\text{Daño por hielo en el edificio} = I_h \cdot n \quad (2)$$

Asimismo, se denomina daño por hielo en el laboratorio, después de realizarse N ciclos de congelación en aire a -12°C , y descongelación en agua a 20°C al valor:

$$\text{Daño por hielo en el laboratorio} = N \cdot 12 \quad (3)$$

Para poder igualar ambas expresiones es necesario que las condiciones de saturación sean análogas, pues así como en el laboratorio la saturación, a la presión atmosférica, entre ciclo y ciclo es prácticamente total, en una obra depende de la posición de la piedra, según se ha visto anteriormente. Para tener en cuenta esta circunstancia se define el factor K de saturación de modo que:

$$I_h \cdot n \cdot K = N \cdot 12 \quad (4)$$

En la *tabla 2* se recogen los valores de K propuestos.

De esta manera, se puede predecir el número N de ciclos que habría que realizar en el laboratorio para reproducir el mismo daño por hielo que en un emplazamiento cuyo Índice de Hielo es I_h , para una vida útil de la piedra de n años, con riesgo de saturación definido por K . Es decir:

$$N = \frac{I_h \cdot n \cdot K}{12} \quad (5)$$

Después de realizarse los N ciclos conforme a la norma de referencia UNE EN 12371: 2003, se somete al material al ensayo de resistencia a flexión, a compresión, o de resistencia al anclaje, obteniéndose así un valor residual del parámetro resistente, a partir del cual se podrán determinar las secciones resistentes de las unidades de piedra, capaces de soportar las sollicitaciones mecánicas a las que se van a ver sometidas en cada aplicación particular. También se puede determinar, como parámetro de valoración, la evolución del módulo de elasticidad dinámico por medio de la frecuencia de resonancia fundamental (*figuras 9 y 10*).

Conclusiones

La metodología propuesta, en fase todavía experimental, representa una forma sencilla e intuitiva de estudiar el comportamiento de la piedra natural frente a la acción de las heladas.

El modelo descrito está calado de forma bastante fiable, utilizando para ello casos reales en los que la aparición



Figura 9. Prensa de flexión.

de una patología ha proporcionado todos los datos necesarios que requiere la formulación propuesta, aunque no se descarta la posibilidad de nuevos ajustes en los valores del factor de saturación **K**. Es por esto por lo que se ha definido el método como experimental.



Figura 10. Equipo para medir la frecuencia de resonancia.

Tabla 1. Valores del Índice de Hielo de algunas estaciones meteorológicas

| Estación meteorológica | Ig | Estación meteorológica | Ig |
|---------------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| Albacete (Los Llanos) | 73,4 | Murcia (Alcantarilla) | 0,7 |
| Alicante (Ciudad Jardín) | 0,0 | Navacerrada (puerto) | 294,3 |
| Ávila (conservatorio) | 94,9 | Orense (Granja-Diputación) | 5,7 |
| Badajoz (base aérea de Talavera) | 3,9 | Oviedo (El Cristo) | 0,4 |
| Bilbao (aeropuerto de Sondica) | 2,5 | Palencia (observatorio) | 20,8 |
| Burgos (observatorio) | 44,5 | Pamplona (Noain) | 25,5 |
| Burgos (Villafraía) | 110,2 | Ponferrada | 14,9 |
| Cáceres | 0,0 | Pontevedra (instituto) | 0,0 |
| Ciudad Real (Escuela Magisterio) | 39,8 | Salamanca (Matacán) | 73,3 |
| Cuenca (capital) | 61,3 | Santander (centro) | 0,0 |
| Getafe (base aérea) | 13,5 | Santiago (Labacolla) | 1,7 |
| Gijón (capital) | 0,0 | San Sebastián (Igueldo) | 4,7 |
| Guadalajara (instituto El Serranillo) | 24,5 | Segovia (observatorio) | 38,3 |
| Huesca (Monflorite) | 21,4 | Soria (observatorio) | 100,7 |
| La Coruña (estación completa) | 0,0 | Teruel (E. normal-Huesca) | 133,5 |
| León (Virgen del Camino) | 66,1 | Toledo (Lonzana-Buenavista) | 6,2 |
| Lérida (observatorio) | 24,0 | Torrejón de Ardoz (base aérea) | 24,6 |
| Logroño (Argoncillo) | 10,2 | Valladolid (observatorio) | 56,0 |
| Lugo (punto centro) | 30,3 | Vigo (Peinador) | 0,2 |
| Madrid (Barajas) | 36,8 | Vitoria (Foronda) | 44,6 |
| Molina de Aragón | 321,5 | Zamora (observatorio) | 28,3 |
| Montseny (Turo del Home) | 175,1 | Zaragoza (aeropuerto) | 12,8 |

Fuente: López González-Mesones (2001), a partir de datos de la AEMET.

Tabla 2. Valores de K

| K | Condiciones de saturación |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Pavimentos exteriores, fuentes, pilastras. |
| 0,8 | Chimeneas, zócalos, molduras, áreas con riesgo de salpicaduras en paredes verticales. |
| 0,4 | Aplacados de paredes verticales sujetas con mortero, tracerías, cornisas, petos. |
| 0,05 | Fachadas ventiladas, paredes verticales de mampostería, pérgolas de balcón. |

Fuente: López González-Mesones (2001).

Bibliografía

- Cárdenas Van den eynde, V. (2008). *Desarrollo de una metodología para la protección de la pizarra para cubiertas frente a la oxidación*. Informe inédito.
- López González-Mesones, F. (2001). *Manual para el uso de la piedra en arquitectura*. Publicaciones Menhir.

Siria

Cinco mil años de historia nos contemplan

El ICOG, en colaboración con el doctor Malik Najjar, ha realizado un viaje de ocho días a Siria, dentro del programa de viajes que viene realizando el Colegio desde el año 2006. Todos los asistentes, como ya se esperaba, quedaron impresionados del país.

TEXTO | José Luis Barrera, geólogo

FOTOS | Rafael Yllera

Desde mediados de 2007, el doctor Malik Najjar (médico de origen sirio que estudió medicina en España y que ejerce en la Seguridad Social española) me comentó que se podía organizar un viaje a Siria para el colectivo de geólogos. Las fechas que propuso, del domingo 27 de abril al domingo 4 de mayo (el puente del 1 de mayo de 2008) no eran precisamente las más idóneas, pues el "puente" sólo era en Madrid y, además, había tres días laborables que muchos interesados no podrían tomar como vacaciones, como así fue. A pesar de todo, nos pusimos manos a la obra y, a comienzos de febrero, empezamos a prepararlo.

Yo ya había realizado ese viaje a Siria con Malik —como familiarmente le conocemos—, en el año 2004, y quedé tan impresionado de las bondades del país, tanto culturales como geológicas, que me pareció importante y obligado animar a compañeros y amigos para que se apuntaran, a pesar de las fechas. Al final, y después de mucho esfuerzo, conseguimos reunir un grupo de 40 personas, de las cuales sólo doce eran geólogos, a saber: Ramón Capote, M^a José Fernández Casals, Ana Peñalosa, Cristina Sapalski, Guzmán Fuente, Héctor Perotas, Juanita Sagredo, Fernando López Vera, Charo Lunar, Antonio Pineda, Carmen Olivares y José Luis Barrera. El resto eran cónyuges, familiares, amigos y demás parientes.

Por las fechas del viaje, se le aconsejó a la gente que llevara ropa de verano pues el clima en Siria es similar al



Figura 1. Torre de entrada a la Ciudadela de Alepo.

del levante español. Pero el tan nombrado y dichoso cambio climático se hizo presente y, hasta en el desierto de Palmira, pasamos frío.

En primera instancia, estaba previsto que el vuelo regular de la *Syrian Air Line* fuera directo a Damasco, pero gracias a las gestiones del director de la compañía aérea en Madrid, Ammar Al-Humsi, el vuelo pudo parar primero en Alepo. A nosotros nos favoreció el cambio, pues nos permitía ahorrar kilómetros y tiempo en el circuito previsto.

Salimos de Barajas a la 01:00 h de la madrugada del lunes 28. Bueno, para ser exactos, salimos con una hora de retraso,

desde la terminal satélite de la famosa T4. En el aeropuerto, los amigos o familiares se reunían entre sí mientras que yo, que conocía a casi todos —por una razón u otra—, hacía de introductor entre ellos. Esta fragmentación del grupo, como ocurre siempre, fue desapareciendo hasta conseguir un grupo muy cohesionado que se comportó excelentemente durante todo el viaje. El buen humor, la amistad y la solidaridad fueron sus señas de identidad.

El vuelo se realizó con toda normalidad, aunque lo que se dice dormir, dormir... no fue precisamente lo más fácil de conseguir. Cuando no era la incomodidad del asiento, era el vecino que te roncaba



Figura 2. Edificios decorados en el interior de la Ciudadela.

en la cara o la luz que entraba por las ventanillas. En fin, qué les voy a contar que no sepan. Llegamos a las 06:30 h al aeropuerto de Aleppo con la cara de quien no ha dormido nada o lo ha hecho a salto de mata. Allí estaba nuestro guía esperándonos: Al-Manssur (Almanzor), un sirio de 45 años, de tez morena y pelo y bigote negro, que se pasó en Granada seis años estudiando informática y que ahora se gana la vida como guía de grupos españoles. Su español era casi perfecto, aunque el acento seguía siendo árabe y no granadino. Él nos acompañó durante todo el viaje. Después de pasar los trámites aduaneros, nos dirigimos al hotel Sheraton para desayunar. Algunos estaban algo “zombis”, pero la ilusión y el deseo de ver el país superaba al cansancio. Al terminar el desayuno, y sin tomar las habitaciones, iniciamos la visita a la ciudad.

Alepo. La ciudad habitada más antigua del mundo

Alepo es la segunda ciudad de Siria con casi dos millones de habitantes. Hoy,



Figura 3. Interior del zoco de Aleppo.

el color gris ha impregnado el paisaje urbano, con edificaciones bajas aterrazadas impersonales y fachadas bastante deterioradas, entre las que aún quedan algunas casas antiguas con balconadas de madera, y alguna que otra casa de piedra. Dista mucho de ser aquella ciudad visitada por personalidades que se alojaban en el lujoso hotel Barón, como Lawrence de Arabia (del que se conserva una factura), Agatha Christie o Lindberg, el famoso aviador que cruzó el Atlántico en solitario y que más tarde se descubrió que formó dos familias: una a cada lado del Atlántico. Hoy, aquel lujoso hotel se presenta como un edificio decrepito engullido por la ciudad, que allá por 1909, cuando fue construido, era el establecimiento más lujoso de la ciudad y, muy probablemente, de Oriente Próximo. A nosotros no nos dio tiempo de visitar el famoso hotel Barón, pero si van alguna vez, no se pierdan la visita y revivan aquella atmósfera política del reparto de Oriente Medio entre las potencias occidentales a la caída del Imperio Otomano. ¡Cuántos negocios y acuerdos se debieron hacer en el restaurante del hotel!

Pero a pesar de todo, y de que la transición a la modernidad no se haya hecho con la armonía deseable, Alepo guarda celosamente su gran historia, escondida entre todos esos elementos

modernos que tratan de ocultarla. Si exceptuamos los cambios arquitectónicos, podríamos decir que la población no ha cambiado nada desde que Abraham pasó por allí en busca de la Tierra Prometida. Es una ciudad bulliciosa que palpita en un laberíntico zoco cubierto —uno de los más bellos y genuinos del mundo— donde la población revive su pasado fenicio de comerciantes, y que constituye el alma misma del sirio actual.

En Alepo destaca la Ciudadela (*figuras 1 y 2*), una fortificación militar construida en caliza clara con bandas decorativas de basaltos, que se asienta sobre una colina artificial de 40 metros de altura. Según la tradición, fue el lugar donde Abraham se detuvo en su búsqueda de la Tierra Prometida. Está rodeada de un foso que algunas autoridades nostálgicas han prometido rellenar de agua y de cocodrilos, como en sus mejores tiempos. Hasta arriba subimos, mientras que el guía nos explicaba cada uno de los rincones de la construcción. Su parte alta se convierte en un privilegiado mirador desde donde se ve una panorámica de toda la ciudad en la que sobresalen los minaretes de las mezquitas. Terminada la visita, que es larga, y dada la hora que era, decidimos ir a comer al hotel. Después, tomamos las habitaciones y descansamos un poco.



Figura 4. Fachada principal de la basílica de San Simeón.

A las cinco de la tarde emprendimos la visita en dirección a la mezquita omeya. Es una mezquita edificada bajo los cánones de la de Damasco aunque algo menor. En su interior está la tumba del profeta Zacarías, padre de Juan el Bautista. En Siria conviven todas las religiones respetándose mutuamente y sin interferencia alguna. Con la llegada de los árabes, las mezquitas, que normalmente se construían encima de los templos cristianos, respetaron muchos de los símbolos del cristianismo, como es el caso de esta tumba de Zacarías o la de San Juan Bautista en la mezquita de Damasco.

Siguiendo el itinerario, llegamos al zoco, ese bullicioso mundo subterráneo que te transporta a los tiempos bíblicos (figura 3).

En él se encuentran todos los ingredientes de la vida en tiempos de Jesucristo: plantas aromáticas, especias, telas, orfebrería, los famosos jabones de aceite o los burros transportando la mercancía, atendidos por personajes sacados de los nacimientos. Y mientras eso ocurre, el turista se afana en regatear para conseguir algo que ya de por sí es baratísimo. En medio de tanto bullicio y tenderetes, una sencilla puerta que pasa desapercibida nos introduce en unos baños públicos. Hombres deambulando por sus estancias transitan envueltos en sus toallas, de una ducha a la otra. Y, en medio, nuestro grupo avanzaba silencioso, sin atreverse a levantar la voz pero haciendo alguna foto que otra, sorprendido por una práctica pública ya desaparecida en España.

Seguimos por el zoco y el guía nos condujo a un antiguo hospital psiquiátrico del siglo XVI, el Bimaristán Arghan, que, parece, era muy famoso en su tiempo. Hoy está convertido en un museo de medicina algo destartado. Nadie en el interior, sólo nosotros deambulando de estancia en estancia escuchando las explicaciones de Manssur. El edificio está compuesto de varias estancias en torno a patios rodeados de alcobas que explican la historia de la medicina árabe antigua en Siria. Cada patio está dotado de una fuente de la que mana el agua y cuyo sonido formaba parte del tratamiento médico, junto con la luz que entra por los techos y, sobre todo, la música. Los patios tenían una tarima, donde una orquesta amenizaba la vida de los pacientes.

Era ya tarde y la luz daba paso a la oscuridad. A pesar de ello, de camino al autocar, visitamos, entre más sombras que luces, uno de los numerosos *caravanserais* que hay en la ciudad, esas estructuras de época otomana a modo de fondas, en los que reposaban los caravaneros con sus camellos. Esa noche cenamos en una estupenda casa armenia convertida en restaurante. Al fin, se acabó el día y todos nos fuimos a dormir. ¡Ya era hora!

Viaje a la época bizantina

A la mañana siguiente emprendimos camino hacia San Simeón, un conjunto basilical bizantino de cuatro iglesias



Figura 5. Uno de los ábsides de la basílica de San Simeón.



Figura 6. Interior de la basílica. Los restos de la "columna" de San Simeón, en la parte izquierda.



Figura 7. Árbol del pistacho, con sus frutos.

El pistacho sirio

El cultivo del pistacho es antiquísimo, pues era conocido por los antiguos sumerios, egipcios, griegos y romanos. Se introdujo en Italia desde Siria en el siglo I. Siria es el tercer productor mundial, con 40.000 t, después de Irán y Estados Unidos. Es una planta muy resistente a la sequía (superior a otras especies frutales) y a las altas temperaturas del verano, pero no tolera un exceso de humedad. Su desarrollo es lento, pero la planta es muy longeva, ya que suele vivir y producir frutos durante 150 a 300 años. La bondad del pistacho para la salud está, precisamente, donde muchos creen que está su debilidad: en la grasa. Grasa buena, con alto contenido de moléculas de baja saturación, las mejores para el organismo. Los expertos dicen que los mejores pistachos del mundo son los iraníes y después los de Alepo, en Siria. De hecho, el nombre árabe de este alimento es "fistūq halabī" o "pistacho de Alepo".

dispuestas en cruz griega de la que aún se conservan bastantes restos (figuras 4 y 5). Una joya de arte paleocristiano. Allí fue donde el famoso San Simeón "el Estilita" construyó una columna (*stilla*) para vivir en ella y no se bajó en 35 años. Eso dicen. Hoy, no esperen encontrar la columna. En su lugar hay un peñasco marmóreo en el cruce de las cuatro naves del edificio (figura 6). Un hecho tan especial no podía pasar desapercibido para el cineasta español Buñuel, tan ávido de fenómenos

singulares y surrealistas, que realizó en 1965 una película sobre tan singular personaje. Ese año, aunque con problemas en su financiación, Buñuel presentó la película en la Mostra de Venecia, obteniendo el León de Plata.

Corriendo, como casi siempre ocurre en este tipo de viajes, nos encaminamos hacia el sur a través de un paisaje agrícola salpicado de pistacheros (figura 7), para visitar los restos de una ciudad muerta: Serjelleh, situada en medio de un páramo rocoso con pequeñas zonas cultivables (figura 8). En Siria hay más de 700 "ciudades muertas" de la época bizantina, que se extienden por una vasta extensión calcárea por los alrededores de Alepo y que aún conservan bastantes de sus edificaciones de una solidez impresionante. No se sabe si se abandonaron por el cambio de las rutas comerciales, por la sismicidad de la zona, por la invasión árabe o por cambios climáticos. El caso es que hoy están para que apreciemos el esplendor arquitectónico de sus diversos edificios: viviendas, iglesias, tabernas, termas y una curiosa arquitectura funeraria con techos piramidales. Pero lo mejor es que, mirando mirando, descubrimos ciertos desperfectos en los paramentos (figuras 9 y 10) que bien los podrían haber producido los numerosos terremotos. Se lo comenté a Capote,



Figura 8. Panorámica de la ciudad muerta de Serjelleh.



Figuras 9 y 10. Desperfectos originados en el paramento, provocados por un terremoto?

que me manifestó que así podía haber sido.

Cuando los romanos desconocían las placas tectónicas

Comimos sobre la marcha en un pueblo cercano y nos fuimos a Apamea, las ruinas romanas con la mayor columnata de todo el mundo en su cardo máximo: ¡casi dos kilómetros! (figura 11). Pero, si son impresionantes las ruinas, más impresionante es el lugar que ocupan. Se encuentran situadas en el valle del río Orontes, conocido con el nombre de Al-Ghab basin (un *pull-apart*). El río discurre por el límite de las placas africana y arábiga, en el borde de esta última. La falla que delimita las placas tiene un movimiento transcurrente sinistral que recorre Siria de norte a sur, pasa por el borde del Golán, continúa por Jordania y sale al mar Rojo por el golfo de Aquaba. La ciudad romana se eleva sobre la margen derecha del río. En esa situación geodinámica tan estratégica, Apamea fue destruida en varias ocasiones, como era de esperar, por los terremotos. Poco sabían los antiguos de la dinámica terrestre y, erre que erre, volvían a levantarla. El profesor Capote, para ilustrar al grupo, ya que no quedaba ningún romano, nos dio una excelente explicación divulgativa de tan singular punto geológico (figura 12). La gente quedó tan fascinada, incluido

el guía, que, durante el resto de la visita, se fueron pensativos a lo largo del cardo máximo sin fijarse casi en los aspectos artísticos de las ruinas. Hasta Manssur, el guía, le pidió a Capote clases particulares para incluir los datos geológicos en su programa. Habrá que ver lo que contaría sobre las placas a los siguientes grupos de españoles. Hacía fresco y comenzaba a anochecer cuando emprendimos el viaje a Hama, el lugar de dormida.

Hama y sus norias

Es la tercera ciudad siria y muy conocida turísticamente por sus diecisiete norias de madera, algunas muy antiguas, que se disponen a lo largo del río Orontes (figura 13). Llegamos de noche a la ciudad, pero eso no fue óbice para que, después de cenar, nos acercáramos a la gran feria que había. Estaban en fiestas. Todo eran casetas iluminadas y alineadas, como en nuestra Feria



Figura 11. Panorámica del cardo máximo de Apamea.



Figura 12. Ramón Capote explicando la tectónica de Apamea.

del Libro, pero sin llover. Lo más llamativo eran los puestos que vendían ropa interior de mujer de colores y diseños harto provocativos. A ellas se acercaban las lugareñas con sus vestidos largos oscuros, la cabeza cubierta e, incluso, algunas con la cara tapada. Todo un contraste. A su vez, las norias del Orontes gemían mientras giraban y giraban elevando agua a ninguna parte, aunque los más optimistas dicen que el

agua es para el riego. A la mañana siguiente, nos acercamos a verlas antes de partir hacia el Crac de los Caballeros. Nos quedamos sorprendidos de tan magno sistema hidráulico.

Las Cruzadas

En el oeste de Siria hay multitud de fortalezas de la época de los cruzados, que aún se conservan bastante bien. Pero ninguna tan espectacular como el Crac de los Caballeros, la fortaleza medieval inexpugnable más famosa del mundo (figura 14). Está construida sobre una colina basáltica de 650 m de altura, situada en el borde oriental de la placa africana. Por el valle que hay a sus pies pasa el límite de las placas que, tranquila y pacíficamente, cruzamos sin enseñar el pasaporte. El autobús comenzó la subida por una pendiente elevada y, por momentos, no estábamos seguros de que subiera. Al final sí lo hizo y, en pocos minutos, nos encontramos en la puerta de la fortaleza. Nada más ver la llegada de turistas, los niños comienzan a avasallarte vendiéndote todo tipo de productos típicos, sobre todo, pistachos. La mayoría de nosotros, con un cucurucho de pistachos o almendras en la mano, comenzamos la visita. La entrada, los estrechos pasillos, el puente

levadizo, las torres y los túneles nos transportaron a la época de las Cruzadas, en una edificación de enormes dimensiones que configura una de las más grandiosas fortalezas medievales de Oriente Medio. La nota de color la puso Héctor que, subido en una de sus ocho torres circulares, enarboló una bandera española en recuerdo de un antepasado suyo que estuvo en Las Cruzadas (figura 15). Todo un toque de humor. La ciudadela fue dañada a causa de varios terremotos, pero cada vez fue reparada y reforzada. Pero, ¿a quién se le ocurre poner el castillo en el límite de placa? Otros que no conocían la tectónica de placas. Sin casi tiempo para evacuar, nos dirigimos a Palmira, donde teníamos que llegar a comer.

El reino de Zenobia

Como estaba previsto, llegamos sin parar al oasis de Palmira para comer. El restaurante (hotel Zenobia) estaba justo enfrente de las ruinas romanas y, aunque tenía una terraza exterior, preferimos comer en el interior. A pesar de que nos encontrábamos en pleno desierto, hacía fresco, menos que en el Crac, pero el tiempo no estaba para permanecer parado al aire libre.

Palmira es la mítica ciudad caravanera de la reina Zenobia, situada en medio del desierto sirio (figura 16). Surgió en un gran oasis con aguas termales y cantidades enormes de palmeras y cantidades enormes de palmeras datileras. Fue conocida ya en tiempos de los romanos como la Perla del desierto.

Después de comer, visitamos parte de las ruinas, empezando por el templo de Bel. Seguimos por el cardo máximo (el rasgo más característico de Palmira) hasta la mitad del recorrido, pues era la hora de la puesta del sol y nos subimos a verla al castillo árabe que preside desde la altura todo el oasis de Palmira. Esa tarde, como había una ligera neblina, no pudimos apreciar la belleza que cantan otros viajeros sobre la puesta del sol y, al menos a algunos, nos pareció una puesta digna pero no extraordinaria. Más bonito resultaba ver



Figura 13. Norias de madera en Hama.

cómo la sombra avanzaba lentamente sobre las ruinas romanas, envolviéndolas poco a poco hasta hacerlas desaparecer. Finalizado el espectáculo, nos fuimos al hotel, el Cham Palace, la mejor cadena hotelera de Siria. En esta cadena nos alojamos durante todo el viaje, menos en Alepo. La cena fue en una jaima cerca del templo de Bel. Era una jaima pequeña bien decorada al estilo nómada con capacidad para unas 60 personas. Prácticamente estábamos solos. La cena estuvo amenizada por dos bailarinas con las que, nuestro compañero Alberto Turon, además de bailar competía en destreza artística. Lógicamente, las chicas ganaron y se llevaron las propinas. De vuelta al hotel, algunos viajeros del grupo empezaron a manifestar el síndrome de intestino irritable provocado por los hábitos culinarios del país; lo que se llama la "diarrea del turista". No hay viaje a estas tierras, y similares, en el que varios viajeros no caigan por este síndrome.

La mañana siguiente amaneció despejada y fría. Una parte del grupo salimos a las 7 de la mañana a visitar lo que nos había quedado de ver la tarde anterior: el teatro, el ágora, donde se realizaban operaciones comerciales y se discutía, el tetrapylón y el valle de las tumbas con construcciones como torres cuadradas y macizas (figura 17). A esa hora tan temprana estábamos solos en las ruinas acariciados por un aire frío del desierto que obligaba a abrigarse. Regresamos al hotel y, a las 8:15, salimos con dirección al Golán. Malik, después de negociar la visita con las autoridades de la zona, había acordado el encuentro para esa mañana al medio día. Hay que decir que la visita también fue posible gracias a la mediación del embajador sirio en España, Makran Obeid.

A mitad de camino, nos detuvimos en el afamado café Bagdad, una pequeña construcción al borde de la carretera, en medio del desierto, que nadie osa pasar de largo sin parar. Allí tomamos café, compramos recuerdos y nos hicimos la foto de grupo los doce geólogos que fuimos al viaje (figura 18).



Figura 14. El Crac de los Caballeros.

Reanudamos la marcha y, después de entrar en el centro de Damasco a confirmar el hotel y descansar un momento, nos dirigimos al Golán, atravesando extensos terrenos volcánicos, donde llegamos a la hora convenida.

Con los Cascos Azules en el Golán

Los Altos del Golán fueron ocupados por el ejército israelí en la guerra de 1967, mientras huían más de 70.000 personas de la barbarie de la guerra. Las razones de la ocupación no fueron sólo estratégicas (la meseta volcánica del Golán es el área con más altitud de la zona y desde donde la artillería siria bombardeaba intermitentemente el valle del Jordán), sino también hidrológicas: el 30% del abastecimiento de agua para Israel procede fundamentalmente de esta zona. Su capital, Kuneitra, fue dinamitada y reducida a escombros, aunque el ejército israelí manifestó que su destrucción había sido el resultado de los bombardeos. Siria, a pesar de reconquistarla en la guerra de Yom Kippur, en octubre de 1973, construyó una nueva capital a pocos kilómetros de ella. La antigua la dejaron como un símbolo reivindicativo de su territorio

y de la barbarie israelita. Es la única zona del Golán que puede ser visitada por encontrarse bajo protección internacional. Pero no todos los turistas pueden hacerlo. Los buenos oficios de Malik y del embajador sirio hicieron posible nuestra visita.



Figura 15. Héctor, enarbolando la bandera española en el Crac de los Caballeros.



Figura 16. Panorámica de las ruinas de Palmira. Al fondo, el palmeral del oasis.



Figura 17. El valle de las tumbas en Palmira.

que se encuentra una maqueta de la zona, con los límites de las fronteras antiguas y actuales. Con un puntero, nos explicó la maqueta indicándonos cada una de las áreas representadas. Todo muy interesante y sorprendente. Después, nos dirigimos todos en el autobús a las ruinas de la antigua Kuneitra, y algún que otro blindado de Naciones Unidas, hasta el hospital, Al-Golan Hospital, unos de los edificios que se mantienen en pie difícilmente, acribillado a impactos de fusiles y cañones. Subimos a la azotea desde donde divisamos, a sólo 200 metros los puestos de vigilancia israelitas y los relieves más prominentes de los Altos del Golán: unos conos volcánicos de gran envergadura. Allí mismo nos hicimos una foto de grupo con la autoridad siria y junto a las banderas de los dos países (figura 20). Acto seguido, le regalamos al señor Jnesi la bandera española que traía Héctor. La tomó muy agradecido, indicándonos que la pondría en el centro de relaciones públicas. Continuamos en el autobús la visita a las ruinas, mientras que los antiguos habitantes hacían pic-nic ante sus casas destruidas, recordando nostálgicamente un pasado que ya no volverá. Incluso nuestro chofer se acercó a su antigua casa en la que había vivido hasta la guerra de 1967. Tenía entonces seis años. Llegamos hasta un paso en las alambradas que guardaban las fuerzas de Naciones Unidas (los Cascos Azules) donde tomamos las correspondientes fotos (figura 21). En las inmediaciones, una cantera inactiva dejaba al descubierto mantos piroclásticos provenientes de los altos conos volcánicos ocupados por los puestos de vigilancia del ejército israelí.

Impresionados por la visita, nos fuimos a comer a la nueva Kuneitra. Comimos bastante bien, en un modesto restaurante donde también almorzaban algunos soldados polacos de Naciones Unidas.

Emprendimos viaje hacia Bosra, escoltados durante varios kilómetros por los motoristas oficiales. La carretera, estrecha como todas las de Siria, atraviesa la enorme meseta volcánica

Pasada la nueva capital, unos motoristas oficiales escoltaron el autobús hasta el centro de relaciones públicas de Kuneitra, situado justo antes de la entrada a la zona de control internacional. Allí nos esperaba el encargado de las relaciones públicas del Golán, Muhamad Jnesi, que nos dio la bienvenida, uno a uno, y nos hizo pasar al salón de visitantes. Ya todos sentados, nos agasajaron con un café

y un té, antes de que la autoridad siria nos dirigiera unas palabras que fueron traducidas por Malik. Posteriormente, me dieron la palabra y agradecí el recibimiento, deseando un futuro de paz y convivencia para la zona. Muhamad Jnesi me entregó una placa conmemorativa de la visita, que agradecí públicamente en nombre de todos los asistentes (figura 19). Sin solución de continuidad, nos pasó a otra sala en la



Figura 18. Grupo de geólogos asistentes al viaje. De izquierda a derecha: Cristina Sapalski, Guzmán Fuente, M^º José Fernández Casals, Fernando López Vera, José Luis Barrera, Charo Lunar, Héctor Perotas (pelo amarillo), Juanita Sagredo, Antonio Pineda, Carmen Olivares, Ana Peñalosa y Ramón Capote.

poco poblada y con pocos recursos naturales que se extiende desde el Golán hasta Jordania. Está constituida por un apilamiento de lavas basálticas que llega a tener hasta 300 m de potencia. La alteración de las antiguas coladas da un suelo rojizo grisáceo donde se cultivan árboles frutales y otros productos. Pero lo sorprendente del paisaje son los conos volcánicos recientes de pequeña y mediana altitud que salpican periódicamente la meseta, alineados según fisuras eruptivas. Son los testigos de erupciones más recientes que emitieron coladas escoriáceas que todavía se distinguen perfectamente. Con este paisaje, y siempre sobre la meseta, llegamos al borde de un valle muy encajado donde Capote explicó el corte geológico del apilamiento subhorizontal de las coladas. La gente volvió a quedarse sorprendida de la cantidad de cosas que podemos ver los geólogos en un simple barranco, pues aquello era para ellos, eso, un simple barranco y no el Cañón del Colorado.

La negritud volcánica de Bosra

Comenzaba a anochecer cuando entramos en Bosra, una ciudad que conserva importantes ruinas romanas construidas en rocas basálticas cuya resistencia ha mantenido los monumentos en un estado de conservación admirable. Después de ocupar nuestras habitaciones, una parte del grupo nos acercamos, antes de cenar, a una zona de la ciudad donde se oía música y las luces anunciaban fiesta. Atravesando a oscuras las ruinas romanas, ya de por sí oscuras por su naturaleza basáltica, llegamos hasta la fiesta. Resultó ser la despedida de soltero de un muchacho que había concentrado en la plaza a medio pueblo. Los lugareños nos abrieron paso y nos atendieron como invitados especiales. Inclusive alguno de nosotros se puso a bailar con ellos.

A la mañana siguiente amaneció un día soleado y sin mucho calor. Comenzamos la visita a la ciudad por su símbolo más representativo: el teatro romano excepcionalmente intacto (figura 22).



Figura 19. José Luis Barrera recibiendo la placa entregada por Muhamad Jnesi. En el centro, el Dr. Malik.



Figura 20. Foto del grupo en la azotea del hospital del Golán.

Desde el exterior, el teatro no se aprecia, porque está rodeado de una muralla árabe que lo oculta totalmente. Su interior es espectacular. Toda la gradería y la escena están intactas. Su capacidad para 15.000 personas da una idea de la importancia que tuvo el teatro y la ciudad. Bosra fue la antigua capital de la provincia romana de Arabia e importante etapa en la antigua ruta caravanera de La Meca, que llegó a tener 50.000 habitantes.

La visita continuó por el resto de ruinas que, como el teatro, son de basaltos. Entre ellas había pequeños tenderetes de objetos típicos para el turismo, y gente amable que te invitaba a entrar en su casa a tomar té. Terminada la visita nos dirigimos hacia el norte en dirección a Shabha. Los terrenos que atravesábamos seguían siendo volcánicos, sobre los que crecían los cultivos. En ocasiones, se veían pequeñas construcciones funerarias de los drusos que, junto a refugiados palestinos, habitan esta parte sur de Siria. En el trayecto, paramos primero en As Suwayda, donde hay también ruinas romanas pero con la particularidad de estar con "ocupas". Sí, leen bien. Varias de las edificaciones romanas, de sólida construcción, están ocupadas por ciudadanos de la zona.

La construcción original no está completa pero hay bastantes partes habitables, aunque en España, probablemente, no tendrían cedula de habitabilidad. Allí, esas cosas no existen y la gente vive donde puede, que no es poco. De todas las ruinas, llama la atención un pequeño teatro con numeración en las gradas. Toda una joya en miniatura.

Continuamos viaje y, sólo a diecisiete kilómetros, está Shabha, ciudad dominada por un cono volcánico

recientísimo y sobre cuyas coladas están las casas de la población. En ella también hay ruinas romanas entre la población moderna. Lo particular es su pequeño museo de cinco mosaicos romanos de una hermosa factura; de los mejores de todo el Oriente romano. Se hacía tarde y continuamos hacia Damasco. Comimos en un restaurante de carretera, el mismo menú que todos los días. Después de comer, el guía nos llevo hasta su casa, construida entre olivos, donde invitó a té y pastas a todo el grupo. Eran las 7 de la tarde cuando emprendimos el camino a Damasco, a donde llegamos ya anochecido.

Damasco

Nada más llegar a la capital, nos instalamos en el Cham Palace del centro de la ciudad y, tras tomar las habitaciones, subimos a cenar al restaurante giratorio que tiene el hotel en su undécimo piso. La visión nocturna de Damasco es digna de verse. Por primera vez en todo el viaje, cenamos a la occidental. Todo un descanso para nuestro estómago si consideramos que en los seis días anteriores habíamos comido a la siria: ensaladas, "humus", cordero, pollo, más ensaladas, más cordero y más pollo.

Damasco, además de ser la capital de Siria, está considerada sagrada tanto



Figura 21. Alambradas en el Golán.



Figura 22. Teatro romano de Bosra.

para el cristianismo, como para el islam. Tiene dos partes muy bien diferenciadas, la ciudad antigua, con una historia que se remonta seis mil años, y la ciudad moderna, con sus amplias avenidas y atascos de tráfico. Está situada a orillas del río Barada, y ha sido considerada una de las ciudades más bellas de la tierra, pero la modernización de los últimos años, como le pasa a Aleppo, no ha respetado el esplendor con el que se la conocía.

Al levantarnos, nos dirigimos hacia el casco antiguo para visitar los sitios más emblemáticos. Pasamos por el gran zoco cubierto (figura 23), lleno de gentío que va de allá para acá, hasta llegar al palacio Azem, del siglo XVIII y de diseño árabe-otomano, hoy convertido en un museo de las artes y tradiciones. En los diversos cuartos, maniqués y elementos de la época ilustran la vida cotidiana en esa residencia, que perteneció al gobernador de Damasco.

La segunda parada la hicimos en la tumba de Saladino, el genio militar que unificó a los árabes y luchó contra los cruzados; es un pequeño edificio próximo a la Gran Mezquita. Antes de entrar, hay que descalzarse y dejar los zapatos fuera, como es preceptivo. Sin embargo, no se cumple del todo eso de que la vigilancia de los *mokabarats*, o policía secreta del régimen, hace, según sus

habitantes, que Damasco “sea la ciudad más segura del mundo”. La verdad es que el país transmite una seguridad alta y en ningún momento o lugar te sientes inseguro. Pero mira por dónde, algún gracioso se llevo las sandalias de Rafa Yllera. Por buscar, las buscamos hasta debajo de los faldones de Saladino, aunque todo fue inútil. Alguna alma caritativa le prestó a Rafa unas sandalias hasta que pudo comprarse otras en las callejuelas del barrio antiguo.

La historia, aunque después de que la estudiamos se nos olvida, siempre está presente en la memoria de los pueblos, y si no... juzguen ustedes. De la tumba de Saladino se cuenta la anécdota de que, en julio de 1920, cuando viajó el general Henri Gouraud, el primer gobernador del mandato francés, a Damasco, se paró sobre la tumba y, sin pensárselo dos veces, exclamó: “Saladino, hemos vuelto”. Para otros autores, la expresión fue más incendiaria, pues comentan que, pisando la tumba dijo: “Despierta, Saladino, nosotros hemos retornado. Mi presencia aquí consagra la victoria de la Cruz sobre la Media Luna”. Igual que Héctor recordó a sus antepasados cruzados en el Crac de los Caballeros, el francés hizo lo mismo, aunque no sé si se atrevió a poner una bandera francesa sobre la tumba.

Terminada la visita, entramos a la Gran Mezquita, uno de los lugares santos del islam. Otra vez descálzate y, esta vez sí, Rafa cogió las sandalias y se las llevó en la mano, como todos. Las mujeres, quieran o no, tienen que cubrirse la cabeza, hombros y cuerpo para poder acceder al interior. Si no llevas la túnica adecuada, pues te la suministran al entrar. El patio de la Gran Mezquita, la que construyeron los Omeyas en el siglo



Figura 23. Zoco cubierto de Damasco.



Figura 24. Patio de la mezquita omeya de Damasco.

VIII, es, simplemente, espectacular (figura 24). Con el suelo y las paredes revestidos de mármoles y mosaicos vidriados de oro y plata se hizo legendaria en todo el mundo islámico. La sala de oración está compuesta por un cuerpo central, que se encamina al mihrab, existiendo a cada lado del citado cuerpo tres naves que se desarrollan en sentido paralelo al muro de la kibra. En el interior, está la tumba de san Juan Bautista, caso excepcional en el islam y vestigio de la antigua basílica de san Juan Bautista de la que,

los árabes, respetaron la sepultura. Es, sin duda, un lugar de peregrinación de todas las civilizaciones.

Más tarde, nos fuimos perdiendo por las callejuelas en busca de alguna de las casas antiguas damascenas que cuentan con espléndidos patios restaurados típicos de este tipo de construcción. En uno de ellas, convertida en restaurante, entramos a comer. La tarde estaba llena de visitas, por lo que anduvimos rápido para cumplir el programa. Primero visitamos la

mezquita chiita de Ruqayya, llena de espejos, azulejos de colores y una rica ornamentación. Después, callejeando entre la multitud, llegamos a una tienda situada en el zoco donde fabricaban seda. Muchos de nosotros aprovechamos la parada para “perdernos” por las tiendas del zoco. Aunque la tarde se echaba encima, volvimos a meternos en la serpiente humana que circula por la ciudad antigua, en dirección al barrio cristiano. En él, la visita a la iglesia de san Ananías (figura 25) es una parada obligada.

La mañana siguiente hubo libertad de programa. Unos se fueron al zoco, mientras que otros nos fuimos al interesante Museo Nacional de Damasco. En su interior alberga los hallazgos arqueológicos desenterrados en Siria a lo largo de los últimos dos siglos. Allí se encuentran los famosísimos yacimientos de Mari, con sus esculturas, y Ebla, ciudades emblemáticas de la antigua Mesopotamia que florecieron hacia el 2500 a. C. También se encuentran las tablillas con escritura cuneiforme que contienen el primer alfabeto de la historia de la humanidad, halladas en Ugarit. No menos importantes son las piezas helenísticas, romanas, paleocristianas y bizantinas. Pero la sorpresa te la llevas cuando ves el Hipogeo de Yarhai, trasladado piedra a piedra desde el valle de las Tumbas de Palmira, y la sinagoga del siglo II, de Dura Europo, con todas las paredes pintadas.

Del museo nos fuimos a comer al barrio antiguo, y de ahí al aeropuerto. Todo había terminado menos para aquellos que estuvieron reponiéndose algunos días de los “estrágos” causados por la comida, aunque hay que decir que, en ningún caso, hubo que llamar al Samur. Volveremos.



Figura 25. Cruces en San Ananías.

Agradecimientos

Al embajador sirio en España, Makran Obeid, al director de las líneas aéreas sirias en Madrid, Ammar Al-Humsi, y al doctor Malik Najjar, el promotor y alma del viaje.

Anaglifo digital del relieve de la Península Ibérica

A partir de los datos de altitud contenidos en el Modelo Digital de Elevación SRTM3, se ha creado un anaglifo digital de la Península Ibérica basado en el sombreado del relieve peninsular. Este anaglifo proporciona una visión tridimensional de alta calidad a escala regional, por lo que constituye una cartografía de marcada utilidad para el análisis y cartografía del relieve y sus características morfoestructurales.

Texto y Fotos | Alfonso Benito Calvo, Dr. en Ciencias Geológicas

Palabras clave

Anaglifo, MDE, Península Ibérica.

En este artículo se presenta el anaglifo digital de la Península Ibérica, elaborado con motivo de los estudios geomorfológicos y morfométricos que se están realizando en el NE de la Cuenca del Duero (Benito-Calvo, 2004, Benito-Calvo y Pérez-González, 2007), y otros puntos del territorio peninsular. Este tipo de anaglifos permiten un análisis tridimensional más extenso del territorio que los fotogramas aéreos y está basado en distribuciones altimétricas cuantitativas, como son los MDE.

La construcción de un anaglifo se basa en la proyección, en forma superpuesta, de dos imágenes desfasadas o desplazadas y mostradas con colores complementarios (usualmente rojo y verde/azul), de forma que, aplicando filtros de observación con los correspondientes colores complementarios, se forma la imagen tridimensional. Tales técnicas anaglíficas han sido aplicadas durante años para la reproducción tridimensional de fotos, películas, fotogramas aéreos o cartografías de diversa índole (Galaz Villasante, 2002).

En este caso, el anaglifo fue creado a partir de Modelos Digitales del Terreno (MDT), usando como imagen el modelo digital de sombreado del relieve (*figura 1*). La utilización de modelos del sombreado confiere al anaglifo un especial interés para el análisis morfoestructural del territorio, ya que el efecto tridimensional que proporcionan las técnicas anaglíficas se ve aún más intensificado gracias al efecto de luces y sombras contenido en el sombreado del relieve.

La información de partida para la creación de este anaglifo corresponde a los datos topográficos del Modelo Digital de Elevaciones de la NASA SRTM (Shuttle Radar Topography Mission; <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>). Dicho modelo constituye una base de datos altimétrica de alta calidad que fue elaborada mediante interferometría radar, a partir de la cual se obtuvieron datos de elevaciones de la mayor parte de la superficie terrestre englobada entre las latitudes de 60º norte y 54º sur. El MDE SRTM3 de libre acceso presenta una resolución espacial de 3 arcos de segundo (~82 m en la Península Ibérica) y errores absolutos que han sido estimados en 6,2 m para el 90% de los datos en Eurasia (Rodríguez *et al.*, 2005). Estas características permiten que el anaglifo aporte una visión tridimensional continua de la superficie de la Península con alta definición dentro de las escalas regionales (*figuras 1 y 2*). A su vez, al proceder de información georreferenciada, el anaglifo presenta igualmente un sistema de proyección geográfica y puede ser sujeto a mediciones espaciales o como base planimétrica para la cartografía de otros rasgos del terreno (*figuras 1 y 2*).

La elaboración del anaglifo constó en primer lugar de la descarga de los archivos de datos, transformación del formato y su unión hasta completar el territorio de la Península Ibérica. El MDE resultante, en coordenadas geográficas, fue transformado a coordenadas UTM. A partir de este MDE fue realizado el

Breve reseña histórica sobre los anaglifos

- En 1853, el físico alemán W. Rollmann inventa el principio de los anaglifos, usando proyecciones de líneas azules y rojas sobre fondo negro.
- En 1858, J. D'Almeida (profesor de física del Liceo de París), efectuó la primera proyección tridimensional usando un linterna mágica y gafas rojo/verde.
- En 1881, el inventor de la fotomecánica, Ducos du Hauron, realiza las primeras proyecciones públicas usando el proceso de Rollmann y los primeros anaglifos impresos en papel. Estos anaglifos de visualización en blanco y negro fueron utilizados por todas la editoriales hasta 1989, pese a que ya en los años cincuenta, José Ariznavarreta había inventado los anaglifos en color.
- En 1889, W. Friese-Green creó la primera proyección anaglífica en movimiento, dando paso al desarrollo de las películas en tres dimensiones durante los años veinte.
- En 1950, J. Ariznavarreta realiza diapositivas anaglíficas en color mediante virajes químicos (Laboratorios Cinematográficos Arroyo de Madrid), utilizando imágenes seleccionadas sobre emulsiones pancromáticas. Es en 1955, cuando Ariznavarreta patenta los anaglifos en color (Estereocrom) sobre películas cinematográficas y diapositivas (Laboratorios Cine-Fotocolor de Aragónés y Pujol en Barcelona). En 1974, Ariznavarreta vuelve a patentar sistemas Estereocrom aplicados a televisión y vídeo.
- En 1953, los anaglifos comenzaron a ser usados en revistas, periódicos y cómics.
- Más recientemente, los avances informáticos ofrecen nueva posibilidades para la creación de anaglifos y mapas anaglíficos, así como otras imágenes estereoscópicas.

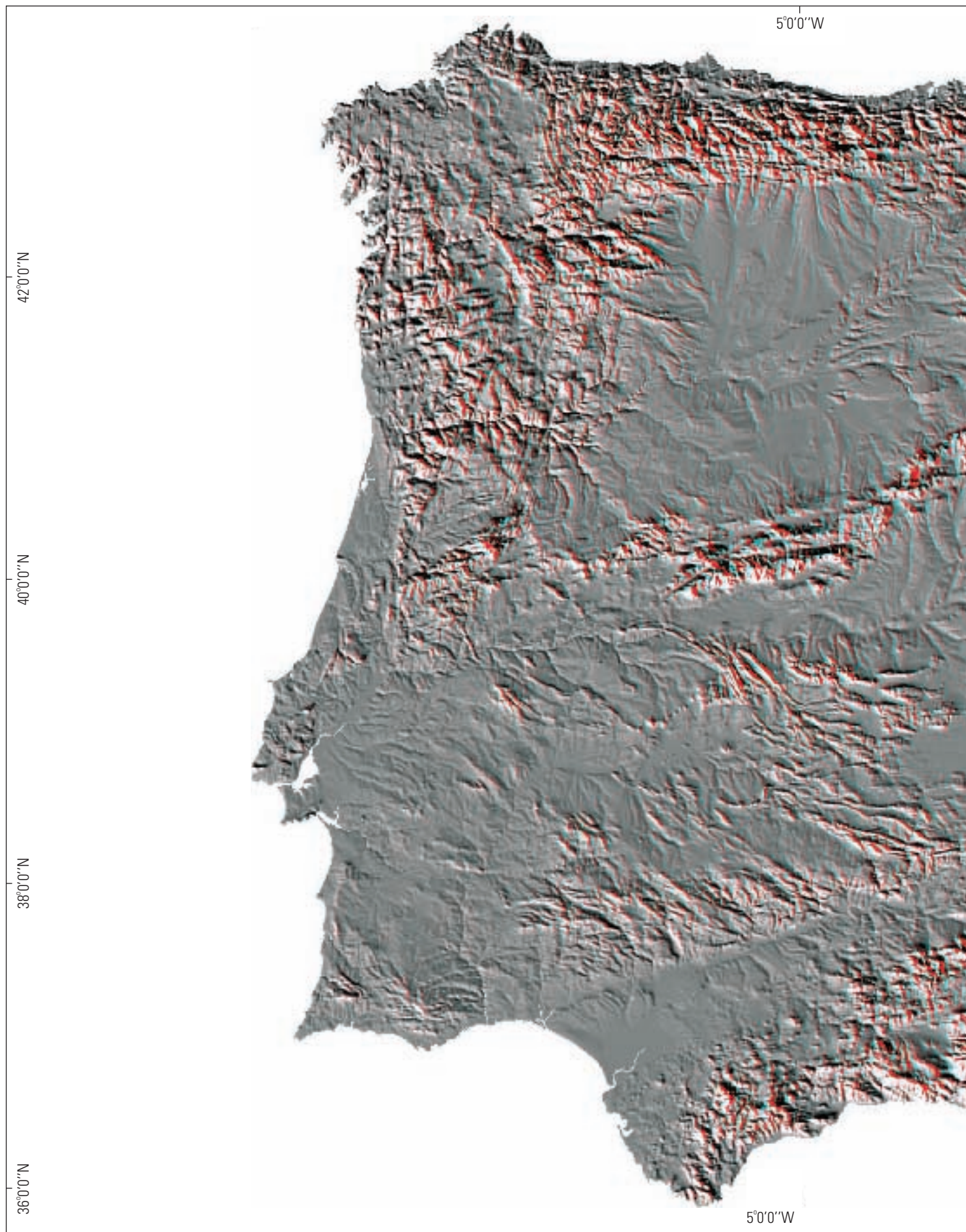
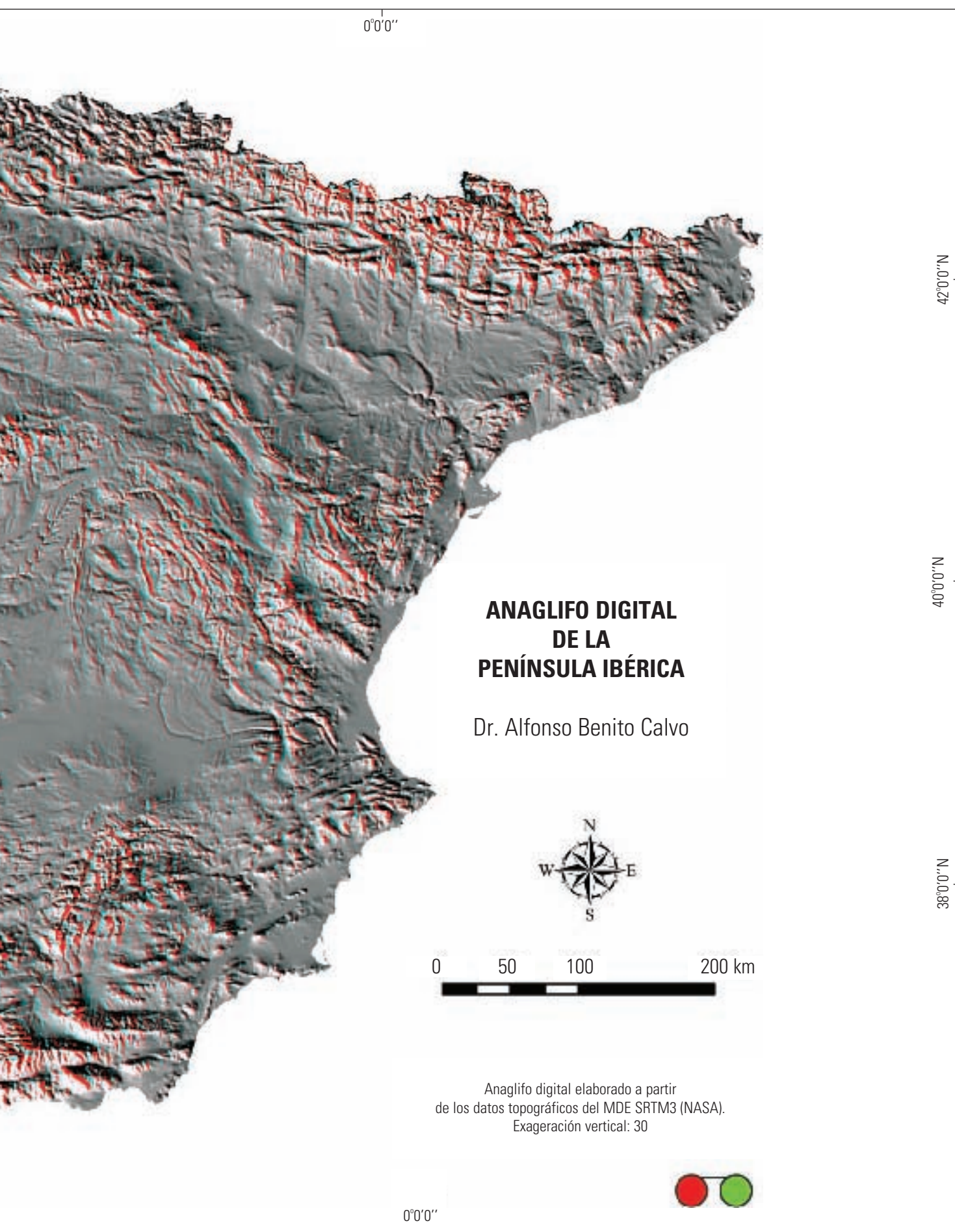
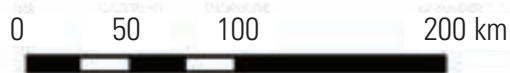


Figura 1. Mapa anaglífico digital de la Península Ibérica, elaborado a partir de los datos topográficos del MDE SRTM3 (NASA).



**ANAGLIFO DIGITAL
DE LA
PENÍNSULA IBÉRICA**

Dr. Alfonso Benito Calvo



Anaglifo digital elaborado a partir
de los datos topográficos del MDE SRTM3 (NASA).
Exageración vertical: 30



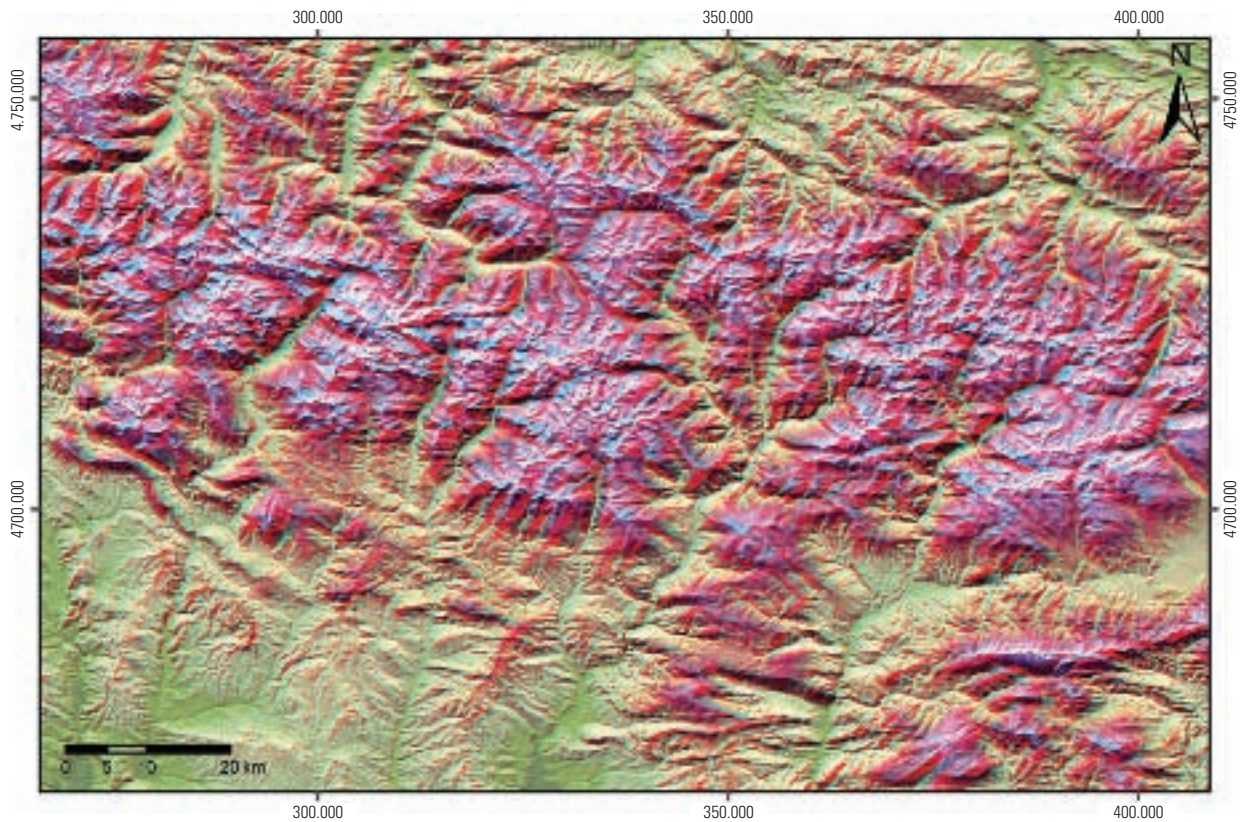


Figura 2. Mapa anaglífico digital del relieve en los Pirineos Centrales, elaborado a partir de los datos topográficos del MDE SRTM3 (NASA). Proyección geográfica: UTM H31N ED50, exageración vertical: 10.

modelo digital de sombreado del relieve, aplicando un azimut solar de 225° y una elevación solar de 45° . Ambos modelos, MDE y sombreado del relieve, constituyeron los elementos base para la generación del anaglifo. Para la creación de anaglifos son necesarias dos imágenes de la misma área u objeto, generalmente tomadas desde puntos de vista diversos. En este caso, la imagen a representar del territorio lo constituye el sombreado del relieve, por lo que se hizo necesario generar un segundo modelo de sombreado, deformado respecto al original. El grado de deformación de este segundo modelo determinará la exageración vertical y, por tanto, la sensación de relieve en el momento de su

visualización. La información necesaria para este paso está contenida en el MDE y en las especificaciones del usuario. En el programa empleado (Erdas Imagine), el usuario debe definir la exageración vertical deseada y la escala de trabajo, a partir de los cuales se aplican los parámetros de deformación, calculados en función de la altitud contenida en el MDE y el sistema de proyección cartográfica. En el presente anaglifo, se especificó una exageración vertical muy elevada (30), con objeto de conseguir un contraste del relieve adecuado para una visualización a tamaño DIN A4 (figura 1). De este modo, se genera un segundo modelo de sombreado, deformado respecto al original que, junto a éste, forma el par

de imágenes que componen el anaglifo. El último paso para la generación del anaglifo consistió en unir ambos modelos de sombreado en una imagen multicapa, donde a la imagen deformada se le aplica un canal de color (rojo) y a la segunda otro, ya sea verde o azul (figuras 1 y 2).

El resultado es un modelo georreferenciado, cuya visualización con gafas anaglíficas (lente roja a la izquierda y lente verde/azul a la derecha), permite una visualización detallada y precisa del relieve peninsular. Este anaglifo digital está basado en un modelo de sombreado representado en escala de grises, aunque también puede ser procesado utilizando sombreados hipsométricos del relieve (figura 2) o imágenes de satélite.

Bibliografía

- Benito-Calvo, A. (2004). *Análisis geomorfológico y reconstrucción de paleopaisajes neógenos y cuaternarios en la Sierra de Atapuerca y el valle medio del río Arlanzón*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense, Madrid.
- Benito-Calvo, A. y Pérez-González, A. (2007). Erosion surfaces and Neogene landscape evolution in the NE Duero Basin (north-central Spain). *Geomorphology*, 88, 226-241.
- Galaz Villasante, J.S. (2002). Fotogrametría aérea aplicada a la situación de cavidades. *Cubía*, 5, 14-18.
- Rodríguez, E., Morris, C.S., Belz, J.E., Chapin, E.C., Martín, J.M., Daffer, W. y Hensley, S. (2005). *An assessment of the SRTM topographic products*, Technical Report JPL D-31639. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena (California).

Homenaje a dos pioneros del ICOG de Asturias

'Una bella tarde para un merecido reconocimiento'

TEXTO | Abel Devita Toyos. Colaborador ICOG Asturias. Coordinador de eventos

Luis A. Fernández. Geólogo. Corresponsal ICOG Asturias

Tras más de veinte años de dedicación a la Delegación Asturiana del ICOG, César Casero Fernández y Luis Fernández Muñoz, los que fueron su presidente y tesorero, respectivamente, han decidido dejar sus funciones directivas. Lo han hecho cuando pensaron que la Delegación estaba ya lo suficientemente asentada como para no sufrir grandes avatares y que existía un grupo amplio de personas con la suficiente experiencia y ganas para tomar el relevo. Lo han hecho de una forma sosegada y elegante; simplemente no presentándose en las últimas elecciones de marzo de 2007, dejando así la puerta abierta a que gente nueva recoja su testigo y continúe trabajando en ese campo ya abonado.

Largo, y en bastantes ocasiones tortuoso, ha sido el camino que recorrieran César y Luis desde que fueron cofundadores de la Delegación Asturiana del ICOG allá por el año 1986. ¡21 años de dedicación! ¡21 años de desasosiegos! ¡21 años de entrega a la Delegación!

Hay un proverbio chino que dice que "la vida humana conoce tres fases: veinte años para aprender, veinte años para luchar y veinte años para llegar a ser sabio"; pues bien, César y Luis dedicaron su fase de lucha y algún año que otro de sabiduría a la puesta en marcha, organización y consolidación de la Delegación que ahora conocemos.

Para aquellos que leyeran estas líneas en el desconocimiento histórico de la



Figura 1. Obsequio conmemorativo del evento entregado a los asistentes. Botellita de licor con etiqueta alusiva al homenaje y la fecha de éste.

trayectoria de la Delegación Asturiana del ICOG, veinte años de inamovible presencia de César y Luis en su Junta de Gobierno les parecerá exagerado y podrán pensar que a lo largo de todo ese periodo hubieran tenido oportunidad de dejarlo. Cierto; y cierto es que en más de una ocasión tuvieron la seria intención de hacerlo, pero en buena parte de esas veces no existía candidatura alternativa de relevo y, para que no quedase desierta la Junta de Gobierno, continuaron a pesar de aquel deseo de abandonar. Habrá quienes piensen igualmente que lo que les podría

mover a permanecer ahí era un interés de beneficio personal; a éstos les recordaré que ninguno de los cargos de la Junta de Gobierno de la Delegación Asturiana tiene, ni tuvo, contraprestaciones económicas, con lo que, como hay que ganarse el pan con una jornada laboral, esos cargos lo que conllevan es, entre otras cosas, la pérdida de buena parte de su tiempo libre, restándolo a su dedicación familiar o a sus aficiones.

Hay un tango que dice "[...] que veinte años no es nada, qué febril la mirada errante en la sombra [...]"; pero en este caso, si hablamos de cargos directivos no liberados el desgaste que supone es mucho, y ya se sabe que aunque no se quiera... la edad no perdona. Y al final, tras tantos años de abnegada dedicación, en la soleada tarde del pasado 1 de marzo, César y Luis por fin tuvieron una muestra de reconocimiento colectivo en una entrañable comida-homenaje.

A la llamada de la Delegación Asturiana acudieron, a arrojarse a César y a Luis, amigos, compañeros de promoción y colegas de profesión. No faltaron los que reunían además la condición de ser representación institucional del ICOG y del ICOGA. En total se sumaron al evento algo más de medio centenar de personas.

Así, desde la Sede Central asistieron el presidente, Luis Suárez Ordóñez, el vicepresidente, José Luis Barrera

A lo largo de la comida se fue creando el ambiente idóneo para que aflorara el momento deseado de emotividad y confraternización que, tras los postres, iba a dar paso a las oratorias y entregas de presentes



Figura 2. Vista general del interior del local de la celebración con los asistentes.

Morate, a los que se sumaron las Srtas. de personal Nieves, Yolanda e Irina. Desde la Delegación del País Vasco, su presidente Miguel Gómez y esposa. El Colegio de Andalucía estuvo representado por el secretario Antonio Guerrero. Acudieron igualmente desde Aragón Joaquín La Hoz y Agustín Muñoz (ex presidente y ex tesorero, respectivamente). Y desde Cataluña se desplazaron Carlos Hellín (ex presidente) y las Srtas. de personal Silvia, Maite y Yasmina. Y, por supuesto, actuando como anfitriones, los miembros del Consejo de Gobierno y de Personal del Colegio de Asturias encabezado por su presidente, Juan Manuel Zubieta Freire, y esposa.

El lugar elegido para la comida homenaje fue el Restaurante Tierra-Astur, sito en Colloto, a las afueras de Oviedo, al cual se llegó tras un pequeño paseo en autobús concertado por el ICOG de Asturias. Tanto la decoración del lugar como el menú fueron típicos asturianos, buscando así el agasajo a los congregados, a los que se les obsequió con un pequeño detalle conmemorativo del evento, que formaba parte de la presentación del cubierto en las mesas y que fue muy apreciado (figura 1).

Tanto la decoración (figura 2), como la elaboración de los platos y las bebidas fueron del agrado de los asistentes.

A lo largo de la comida se fue creando el ambiente idóneo para que aflorara el momento deseado de emotividad y confraternización que, tras los postres, iba a dar paso a las oratorias y entregas de presentes.

Fue el presidente del ICOG de Asturias, Juan Manuel Zubieta Freire, el primero en tomar el micrófono para leer los mensajes que, procedentes de distintos lugares, enviaron varios colegas disculpándose por no poder asistir al evento y expresando su eterno agradecimiento a los homenajeados por su entrega desinteresada y su labor encomiable al frente de la creación y mantenimiento de la Delegación asturiana del ICOG.



Figura 3. Entrega de presentes a los homenajeados a cargo de Juan Manuel Zubieta Freire (relojes), de Joaquín La Hoz (botellas de vino) y de Antonio Guerrero (portadocumentos).

Almudena, como administrativo de la Sede desde 1989, vio, vivió y compartió con César y Luis momentos difíciles y críticos de la Delegación. Todos esos años de trabajo codo con codo hicieron que se estableciera entre ellos una relación no sólo profesional sino también de amistad. Por ello, no pudo más que darles su sentida gratitud ante la presencia de unas lágrimas evocadoras de recuerdos, a sabiendas de que este homenaje no implica una despedida absoluta de ambos y que ahí estarán para cualquier cosa que precise.

Seguidamente, Juan Manuel Zubieta les hizo entrega de sendos relojes de bolsillo conmemorativos encargados al efecto por el Colegio de Asturias, en los que figuraba la inscripción de la fecha del evento y el logotipo del ICOG. Joaquín La Hoz les obsequió con vino de la tierra de Aragón en un bonito maletín de madera. Y Antonio Guerrero con un fantástico portadocumentos en piel de la tierra andaluza de Ubrique (figura 3).

A continuación, visiblemente emocionados, los homenajeados expusieron unas palabras que habían preparado y que suponen un resumen de una parte importante de la historia del ICOG (figura 4).

La lectura de estos párrafos no estuvo falta de emoción, especialmente cuando con voz algo entrecortada César hizo partícipes de sus logros a compañeros ya fallecidos; participación que los presentes corroboraron con sus aplausos.

Tras una larga ovación final, llegaron abrazos y palabras que más sonaron a agradecimiento que a despedida. Primero fue el presidente del ICOG, Luis Suárez Ordóñez, quien honró el trabajo y la dedicación mantenida por César y Luis a lo largo de su trayectoria en el ICOG. Le siguió Antonio Guerrero, secretario del Colegio andaluz. También tomaron la palabra Carlos Hellín, ex presidente de la Delegación catalana, y Miguel Gómez, presidente de la Delegación vasca (figura 5).



Figura 4. Momentos de la lectura de las palabras de los homenajeados. A la izquierda, César Casero; a la derecha, Luis Fernández.



Figura 5. Luis Suárez Ordóñez, Antonio Guerrero, Carlos Hellín y Miguel Gómez en sus respectivas intervenciones orales.

Fue simpática la última intervención. Rosa, mujer de un colega geólogo, les dedicó unas palabras de elogio no sólo a ellos, sino también a sus abnegadas mujeres, que fueron seguidas de una canción homenaje (figura 6).

Tras estas sentidas intervenciones, la emoción dio paso al relax y a la tertulia



Figura 6. Rosa cantando junto a los homenajeados.

Visiblemente emocionados, los homenajeados expusieron unas palabras que habían preparado y que suponen un resumen de una parte importante de la historia del ICOG



Figura 7. Cantando el Asturias patria querida al modo de "danza prima".



Figura 8. Grupo de asistentes al homenaje.

Como no podía faltar el colofón a una buena fiesta asturiana, se cantó, puestos en pie y con las manos entrelazadas en señal de hermandad, el Asturias patria querida

de la sobremesa. Fue después cuando, a petición de Joaquín La Hoz, ex presidente de la Delegación aragonesa, y como no podía faltar el colofón a una buena fiesta asturiana, se cantó, puestos en pie y con las manos entrelazadas en señal de hermandad y en reconocimiento a la "Tierrina" anfitriona, el *Asturias patria querida* (Himno de Asturias) (figura 7).

Finalmente, la reunión concluyó con la foto de rigor de todos los asistentes al acto de homenaje a dos precursores del ICOG en Asturias (figura 8).

César y Luis, Luis y César son parte viva de la historia del Colegio de Asturias. En esos veintitantos años de trayectoria ligada al ICOG acumulan entre ambos múltiples experiencias que no guardan para sí, sino que ponen a disposición de aquellos que las precisen. Han dejado sus cargos, sí; pero no por ello cejarán en la lucha para que la de geólogo sea una profesión reconocida, respetada y considerada por nuestra sociedad actual, porque ellos seguirán siendo GEÓLOGOS.

En fin, una bella tarde para un merecido reconocimiento la de ese 1 de marzo de 2008.

Discurso de los homenajeados

Pronunciado por César Casero

Buenas tardes.

Lo primero que queremos es daros las gracias a todos los que estáis acompañándonos en esta comida, así como a todos aquellos otros compañeros que no han podido asistir y hubiesen querido estar con nosotros en estos momentos y así nos lo han hecho saber.

La verdad es que nos sentimos muy, pero que muy agradecidos por este acto. Acto que debe servir también para recordar necesariamente aquel grupo de personas que, de una forma entusiasta e incondicional, nos pusimos manos a la obra con el objetivo de conseguir que un colectivo de PROFESIONALES, escrito con mayúsculas, *fuesen reconocidos y valorados* por su trabajo y su labor profesional en nuestra región.

Y por otro lado, también queríamos que dispusiesen en Asturias de aquellos servicios que sólo el ICOG con sede en Madrid podía ofrecerles en ese momento: altas de nuevos colegiados, visado colegial, asesoramiento profesional, la realización de cursos y seminarios de formación, el poder fomentar la participación entre nuestro colectivo, actividades sociales, etc. Para esta labor, teníamos que contar por lo menos, con un espacio físico donde reunirnos.

Así fue como comenzamos una peregrinación por las diferentes agencias inmobiliarias que existían en Oviedo, buscando también por los anuncios de la prensa regional, preguntando a porteros, a amigos y conocidos, etc.

Lo de encontrar un alquiler de oficina o piso, con renta más o menos asequible para nuestros escasos recursos, no era tarea fácil. Incluso llegamos a compartir sede colegial con otros profesionales, como los ingenieros técnicos agrícolas. Finalmente, y después de estar un tiempo de aquí para allá, nos asentamos en la que aún hoy sigue siendo nuestra sede actual.

De inmediato nos pusimos manos a la obra con la intención de adecuar la que iba a ser nuestra nueva sede oficial. Pero teníamos que enfrentarnos a la cruda realidad, no teníamos ni un duro de capital social. Así que toca arrebato: convocamos una asamblea extraordinaria para explicar la situación en que nos encontrábamos. Después de muchas discusiones se toma la decisión de hacer una aportación económica, específica para la compra de los muebles, lámparas y todo aquello que nos hiciera falta para poner en marcha la sede. Compramos hasta equipamiento de segunda mano, como aquella maravillosa



Compramos hasta equipamiento de segunda mano, como aquella maravillosa máquina de escribir eléctrica IBM que tanto nos ayudó hasta la llegada de la informática

máquina de escribir eléctrica IBM que tanto nos ayudó hasta la llegada de la informática. También hubo colegiados que realizaron donaciones, Carlos Luque nos llevó unos fantásticos y valiosos cuadros sobre minería, o José Luis Suárez Lescún nos trajo su colección de fotografías de minerales, y así cada uno iba llevando lo que podía, libros, planos geológicos, revistas..., había que dignificar nuestra primera sede.

Este fue nuestro comienzo y, a partir de aquí, con mayor o menor acierto y desde la primera junta de gobierno, empezamos a hacer cosas.

Lo primero, fomentar las relaciones institucionales, así que solicitamos entrevistas con responsables de la Administración

autonómica relacionados con nuestra profesión, minería, medio ambiente, obras públicas, etc. También con el Ayuntamiento, con la Facultad, con el IGME, con otros Colegios Profesionales, entrevistas en la prensa, etc. Más o menos conseguimos lo que nos propusimos, difundir que Asturias contaba en su territorio con un nuevo Colegio Profesional.

Quizá lo que más nos sirvió en aquellos momentos para darnos a conocer, fueron las I Jornadas sobre Riesgos Geológicos. Tuvieron bastante repercusión en los medios de comunicación, tanto por el tema tratado como por las entidades implicadas en su realización. Hubo conferencias, exposiciones y mucha afluencia, tanto de público como de profesionales.

De esta suerte continuamos nuestro camino con los pocos recursos de que disponíamos y tiempo más bien escaso para poder dedicárselo al colegio; pero sí contábamos con algo fundamental: voluntad.

También es verdad que pasamos por momentos bajos y muy difíciles, incluso estuvimos a punto de tener que cerrar esta Delegación asturiana, por falta de recursos económicos y de malas relaciones institucionales, pero con alguna que otra ayuda pudimos seguir adelante

Así que paso a paso y salvando dificultades fuimos cumpliendo objetivos, sobre todo con el tema de formalización de los visados. Siempre veníamos a la sede con prisas y daba igual la hora o el día que, de una forma u otra, atendíamos al compañero. Más de un domingo, o en horas digamos fuera de oficina, nos tocaba a algún miembro de la Junta gestionar un visado, o cuando te avisaban de madrugada que se había roto una tubería de la calefacción y había que ir a cerrar la llave del circuito del agua... Podríamos contar un montón de cosas más. Entre todos los miembros de las diferentes Juntas de

Gobierno nos fuimos turnando y colaborando en las tareas administrativas u otros cometidos propios del Colegio.

No fue hasta el año 1989 cuando contratamos a Almudena como personal administrativo, que supuso para nuestra Delegación un punto de profesionalidad y estabilidad que no teníamos hasta entonces.

Podemos contar mil y una anécdotas que nos han ocurrido a lo largo de este tiempo, incluido el contrato de autobús, golpe de efecto y cambio presidencial en la Junta del ICOG. También es verdad que pasamos por momentos bajos y muy difíciles, incluso estuvimos a punto de tener que cerrar esta Delegación asturiana, por falta de recursos económicos y de malas relaciones institucionales, pero con alguna que otra ayuda igualmente institucional —presidencial—, pudimos seguir adelante.

Ya han pasado más de veinte años desde aquel 1986 en que se creó la Delegación asturiana, que por cierto, fue la primera que se instituyó en España, y echando la mirada hacia atrás, vemos lo que se hizo y lo que queda por hacer en favor de nuestro colectivo de geólogos.

Creemos que no hay que preocuparse por el futuro de la Delegación asturiana; ha quedado en muy buenas manos, tanto o más por el actual presidente, nuestro buen amigo Juan Zubieta, como por su equipo que no puede ser mejor; tienen experiencia, voluntad y saber hacer.

Y desde aquí, damos las gracias a todos los compañeros que colaboraron año tras año, unos como miembros de las diferentes Juntas de Gobierno y otros por el mero hecho de ayudar y sacar adelante la profesión. Por desgracia, algunos ya nos están entre nosotros como José Luis Suárez Lescún, Valentín Suárez, Javier Bermejo Donapetry, José María Verdejo Sitges, Nacho Llana..., a los que recordamos con cariño y por su trabajo en dignificar la labor profesional y el reconocimiento social de lo que significa la palabra Geólogo.

No quisiéramos despedirnos sin demandar el necesario conocimiento y acercamiento a la sociedad asturiana en general para potenciar el reconocimiento social de nuestra actividad laboral.

Os volvemos a repetir, muchas gracias, por acompañarnos en este acto tan verdaderamente emotivo para nosotros.

Buenas tardes.

Walter Álvarez en el IGME

La pasada primavera, nuestro geólogo honorífico, Walter Álvarez, profesor de Geología de la Universidad de California, Berkeley, realizó una visita de cortesía al Instituto Geológico y Minero de España, acompañado por el vicepresidente del ICOG, José Luis Barrera.



Figura 1. Fotografía de grupo en el despacho del director. De izquierda a derecha: Isabel Rábano, José Luis Barrera (con la corbata de la Universidad de Berkeley), Walter Álvarez, José Pedro Calvo, Milly, Carmen Antón-Pacheco y Cecilio Quesada.

Todo empezó allá por el mes de febrero cuando Walter me escribió preguntándome si era posible hacer una visita de cortesía al IGME el lunes 17 de abril, en su próximo viaje a Madrid. El tenía que venir a España en el mes de marzo para asistir el 28 de ese mes en Oviedo a su investidura como Doctor Honoris Causa por la Universidad de Oviedo, y quería pasar previamente por Madrid para visitar el Instituto y organizar un viaje por el sur de España.

Para preparar la visita, me puse en contacto con el director del IGME, José Pedro Calvo, que se mostró atento

e interesado en la misma, y me confirmó que la fecha que proponía, lunes 17 de abril (el lunes de la Semana Santa), sí estaría en su despacho y no había inconveniente para recibirnos. Acordamos que la hora fuera las 10:30 de la mañana pues, más tarde, tenía el director una visita de trabajo y no podría atendernos. Me confirmó que estarían varios de los subdirectores del Instituto, a pesar de las fechas vacacionales del encuentro.

Walter, acompañado de su mujer, Milly, llegó a Madrid procedente de San Francisco el domingo 16, por la tarde, y se alojó en un

hotel cercano al aeropuerto de Barajas. Un viaje largo que deja cansado a cualquiera.

A la mañana siguiente, quedé con él en su hotel para recogerle e ir al IGME. Le acompañaba Milly, una mujer muy discreta, culta y de voz baja que, cuando va ganando confianza entre sus acompañantes, puede resultar harto divertida e interesante, sobre todo cuando aplica esa ironía fina que la caracteriza.

Un cuarto de hora antes de la hora prevista, llegamos al Instituto. La entrada en el *hall* del edificio, con la escalera de mármol al



Figura 2. José Pedro Calvo le muestra a Álvarez un facsímil de la cartografía geológica española.



Figura 3. José Pedro Calvo firmando el facsímil que le regaló a Álvarez.

fondo, dejó a Walter sorprendido por la belleza del mismo. Me confesó que no conocía ningún Servicio Geológico del mundo (y supongo que habrá visitado muchos) tan bonito. Rápidamente, y cual turista que quiere inmortalizar los momentos cumbres de un viaje, sacó su máquina fotográfica y se puso a tomar fotos de todos los detalles del lugar: escalera, mármoles, vidrieras, columnas, etc. Subimos al despacho del director y allí estaba esperándonos, junto a la directora del museo, Isabel Rábano, el jefe del Área de Programación, Cecilio Quesada, y la directora del Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios, Carmen Antón-Pacheco (figura 1). El asombro de Walter por la belleza del edificio iba en aumento. Sin haber guardado aún la máquina de fotos, pidió permiso para fotografiar el despacho y los cuadros y mapas que pendían de las paredes. Especialmente interesado se mostró en el retrato de la Reina Isabel II ya que, su tatarabuelo, había sido el mayordomo del Infante Francisco de Paula, hermano de Fernando VII y suegro de Isabel II. Ante el mapa geológico de España se sorprendió por el "accidente" estructural que supone el valle del Guadalquivir y pregunto a los presentes si ese "accidente" era una falla.

El director y demás geólogos asistentes le dijeron que no y, acto seguido, nos sentamos todos para hablar del Instituto. Allí nos pasamos 25 minutos charlando sobre la organización del Instituto y algunos de los proyectos de investigación que ejecuta, de interés común para ambos. Posteriormente, se pasó a visitar las dependencias más emblemáticas del IGME, como la biblioteca y el museo. Empezamos por la primera que, como era de esperar, le dejó nuevamente sorprendido. El director, junto con un técnico responsable de la biblioteca, le describió la misma y los fondos que se guardaban, mostrándole algunos ejemplares de la cartografía antigua española. José Pedro Calvo le hizo entrega de algunos libros editados recientemente por el IGME (figura 2 y 3).

La visita continuó por el museo donde su directora, Isabel Rábano, le explicó la estructura, los contenidos y los proyectos que se llevan a cabo en el mismo (figura 4). Walter volvió a quedarse maravillado del espacio, las vidrieras del techo y las vitrinas, tomando fotografías de todo. Especial atención puso, como no podía ser menos, en la vitrina que guarda los meteoritos. Con ese motivo, el profesor Álvarez explicó a todos los presentes, sus últimas investigaciones y teorías sobre los impactos meteoríticos sobre la Tierra. Cecilio Quesada se mostró interesado por el tema y estuvo departiendo con él un tiempo; hasta se intercambiaron los correos electrónicos para enviarse

diversas publicaciones. Terminada la visita, que fue de sumo agrado por ambas partes, nos despedimos del personal directivo del Instituto agradeciéndoles sus atenciones.

Al salir, y con la máquina fotográfica ya guardada, Walter me comentó que quería ir a la tienda de publicaciones del Instituto para comprar, si estaba disponible, un mapa geológico de una zona concreta de Campo de Calatrava (Ciudad Real). Una vez localizada la hoja geológica correspondiente a sus intereses, el servicio de publicaciones le comunicó que no estaba editada. Pero, a pesar del inconveniente, la suerte estaba de su parte. Casualmente, ese día estaba en su despacho Victorio Monteserín, el geólogo que la ha realizado. Le llame, le presente a Walter y, con una prueba de imprenta de la susodicha hoja en la mano, Victorio explicó al profesor la geología de la zona que le interesaba. Con este episodio concluyó la tan deseada visita al IGME. Walter, su mujer y yo, nos fuimos a comer a El Pardo. Al día siguiente, el matrimonio comenzó su viaje por el sur de España y, el 28 de marzo, nos volvimos a ver en Oviedo.

José Luis Barrera

Agradecimientos

Al IGME por la cesión de las fotos.



Figura 4. Isabel Rábano explicando a Álvarez las vitrinas del museo.

Biocombustibles, ¿alternativa real?

La industria de los biocombustibles está pasando por un momento difícil, dado que éstos están siendo acusados de ser los principales responsables del aumento de los precios de los alimentos. ¿Son los responsables de este aumento? ¿La segunda generación de biocombustibles es la solución? ¿Están tanto la legislación como los mercados preparados? ¿Son en realidad una buena alternativa? Éstas son algunas de las preguntas que nos debemos plantear.

Texto | Julio César Aparicio Gaya, licenciado en Ciencias Químicas
(especialidad: desarrollo sostenible, Universitat Utrecht,
julio.cesar.aparicio@gmail.com.)

Palabras clave
Biocombustibles, biocarburantes, bioetanol, biodiesel, gases de efecto invernadero

Los biocombustibles, en su última versión, surgen para paliar la falta de carburantes en la década de los ochenta ("Crisis del petróleo") y, actualmente, han vuelto a tomar fuerza como parte de la receta para disminuir la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero y paliar, en parte, el fuerte encarecimiento de los combustibles fósiles. La gran ventaja de los biocombustibles es que son el único camino, entre las actuales energías renovables, que pueden sustituir a los combustibles fósiles en los medios de locomoción a corto y medio plazo, hasta que las pilas de combustible estén totalmente desarrolladas.

Los principales productos son el bioetanol y el biodiesel; el primero sustituye a la gasolina, siendo demandado fundamentalmente por EE UU y Brasil, para los mercados automovilísticos; el biodiesel, por su parte, reemplaza al diesel, siendo su mayor consumidor Europa, donde se ha apostado por los motores diesel de tecnologías Common Rail e Inyector-Bomba (Inyección Directa), ambas desarrolladas por los principales fabricantes europeos de automóviles.

El bioetanol se produce a partir de cereales (por ejemplo, el maíz, etc.) o plantas con alto contenido en azúcares (remolacha y caña de azúcar), a los que se les somete a una fermentación anaerobia

para producir etanol. Es un proceso muy similar a la fabricación de cervezas. El biodiesel se obtiene de plantas oleaginosas, destacando la colza y el girasol en Europa, el aceite de palma y coco en Asia o la alternativa de las grasas animales en Irlanda, de donde se extrae el aceite para hacerlo reaccionar con un alcohol, generalmente metanol, produciéndose una transesterificación.

Tabla 1. Objetivo de cuota energética de biodiesel en la UE (Eurobionet, 2003)

| Año | Cuota energética |
|------|------------------|
| 2005 | 2,00% |
| 2006 | 2,75% |
| 2007 | 3,50% |
| 2008 | 4,25% |
| 2009 | 5,00% |
| 2010 | 5,75% |

A ambos productos se les exigen unas especificaciones técnicas concretas (EN 14214), al igual que a los combustibles fósiles convencionales y, por supuesto, las normativas europeas en cuestiones medioambientales. El *boom* actual de los biocombustibles comenzó con la iniciativa de la Unión Europea, de que éstos alcanzasen un 5,75% de la cuota energética de la Comunidad (tabla 1), con lo que cambió la idea inicial, es decir, se pasó de cultivar los excedentes de tierras (en torno a un 10% en Europa) a requerir gran cantidad de terreno para poder aproximarse a los

objetivos fijados. Si a esto se añade que la agricultura no es una ciencia exacta, que tiene una gran dependencia del clima y que estamos en presencia de una sociedad especuladora, el resultado es un aumento desmesurado del precio de los productos básicos para la alimentación, con lo que ello implica para los pueblos en vías de desarrollo.

Éste ha sido hasta ahora el gran problema de los biocombustibles, y ha repercutido fuertemente en su imagen, pero también hay que tener en cuenta que no es un sector maduro desde el punto de vista económico ni tecnológico, lo que contrasta con otras energías renovables que han

Los principales
productos son
el bioetanol y el
biodiesel; el primero
sustituye a la gasolina,
el biodiesel, por su
parte, reemplaza
al diesel

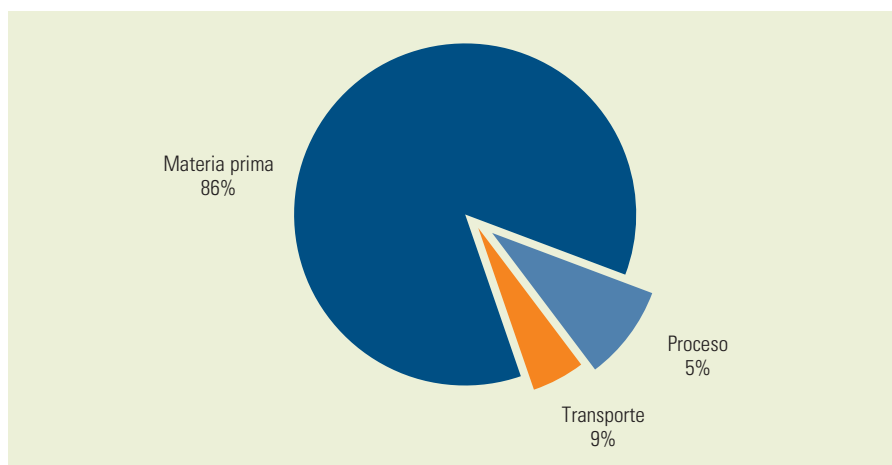


Figura 1. Distribución de los costes de producción de biodiesel.

contado desde el principio con primas y subvenciones mayores, como la eólica. En Europa, los incentivos económicos se cifran en que esta fuente de energía está exenta de impuestos (impuestos sobre hidrocarburos), pero no tienen una prima directa como ocurre en EE UU o Argentina. Como se observa, es una industria en la que hay demasiados participantes, diferentes puntos de vista, y a la que le queda mucho camino por recorrer, hasta que se consoliden unos patrones económicos y tecnológicos adecuados.

Al profundizar en el estudio de la estructura de los costes en la producción de biodiesel, y simplificando éstos a tres capítulos (figura 1) en los que no se ha tenido en cuenta los ingresos de los subproductos, sorprende que la partida con mayor incidencia en el coste es la materia prima (superficie cultivable, semillas, fertilizantes, mano de obra, extracción del aceite y su refinado), muy superior, tanto a la partida del transporte (desde las tierras de cultivo hasta la fábrica) como al propio proceso de producción (personal, equipos y su mantenimiento, consumo energético y de reactivos, administración, etc.). Cabría incluir otra partida más, los gastos de

comercialización y distribución, aunque éstos son demasiado variables, dependiendo, en gran medida, de la escala de la planta, su ubicación geográfica y el sistema de transporte, terrestre, marítimo, etc. Por tanto, se puede decir que es una industria en desarrollo que necesita buscar nuevas materias primas (aceite usado de freír en el caso del biodiesel) y/o nuevos procesos para disminuir su dependencia de los alimentos básicos, por su repercusión negativa en la alimentación. Por otra parte, tampoco interesa al proyecto el encarecimiento desmesurado de las materias primas, dada la fuerte repercusión que éstas tienen en el precio final.

Tecnológicamente, se están desarrollando los "biocombustibles de segunda generación", los cuales emplean materias primas distintas, con lo que se evita el consumo y la especulación de los productos alimenticios básicos. Estas nuevas materias primas se obtienen de muy diversas fuentes. En el caso del bioetanol, se están empleando lignocelulosas, que se obtienen de los residuos agrícolas, forestales, etc. La estructura de la materia lignocelulósica es mucho más complicada que la de los azúcares, por lo que requiere unas

condiciones más agresivas para su transformación en biocombustible. Los nuevos procesos son más complejos y caros, pero más válidos para la sociedad y sus necesidades alimenticias; son tecnologías a perfeccionar y adaptar a las nuevas materias primas.

Las ventajas de los biocombustibles son muchas, destacando: la reducción de los gases de efecto invernadero; las emisiones prácticamente nulas de compuestos de azufre, evitando así la lluvia ácida, al igual que la disminución de compuestos orgánicos volátiles; evitan parcialmente la exagerada dependencia energética de otros países, generalmente inmersos en problemas socio-políticos; contribuyen a la agricultura sostenible, creando riqueza en zonas que tienden a despoblarse o que son muy pobres, puesto que en cada región casi siempre hay materias primas susceptibles de ser convertidas en biocombustibles (por ejemplo, la jatropha); y la principal ventaja a día de hoy, son los únicos capaces de sustituir a las gasolineras y los gasóleos en los medios de transporte.

En definitiva, no hay una fuente de energía capaz de satisfacer la demanda constante de la sociedad actual, por lo que se deben considerar todas las contribuciones energéticas posibles, tanto a nivel medioambiental como económico. Lo ideal sería contar con una pila de hidrógeno totalmente desarrollada, una fusión perfeccionada; pero hasta que esto no ocurra, el abastecimiento energético debe ser el sumatorio de distintas fuentes de energía, tanto los derivados del petróleo, como el carbón, nuclear, o renovables (solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica, etc.); y, por supuesto, las fuentes de energía renovables deberán ir sufriendo de forma sucesiva a las fósiles, si se quiere alcanzar un desarrollo sostenible.

Bibliografía

- Aparicio, J.C. y Patel M. (2003). *Biodiesel from rapeseed oil and used frying oil in European Union*. Copernicus Institut, Utrecht Universitat.
- Bockey D. y Körbitz W. (2002). *Situation and development potential for the production of Biodiesel — an international study*. UFOP.
- IFO (2002). *Macroeconomic evaluation of rape cultivation for biodiesel production in Germany*.
- Reinhardt, G.A. (1999). *Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselkraftstoff*. Berlín, Ed. Umweltbundesamt.

La recuperación de los hornos de cal del Zancao en Vegas de Matute (Segovia):

hacia un nuevo parque de arqueología industrial

Presentamos en este trabajo el proceso de rehabilitación de una calera tradicional en Vegas de Matute (Segovia) y su adecuación para la visita didáctica como parque de arqueología industrial. Como paso previo estos hornos fueron objeto de un completo proceso de documentación histórico y arqueológico que ha puesto de manifiesto la importancia del conjunto, que comenzó a producir cal en el siglo XVI para la obra del Monasterio de El Escorial.

Texto y Fotos | Cristina Martínez Mollinedo (arquitecta), José Miguel Muñoz Jiménez (historiador) y Pablo Schnell Quiertant (arqueólogo)

Palabras clave

Hornos de cal, Zancao, Vegas de Matute

Consideramos de gran importancia dar a conocer las vicisitudes más destacables del proceso de recuperación del conjunto de siete hornos de cal, de venerable antigüedad, que posee el pueblo segoviano de Vegas de Matute (*figura 1*), en el paraje llamado El Zancao.

Debido a que estas caleras —auténticas joyas de la arqueología industrial—, no habían sido estudiadas con anterioridad, tiempo atrás decidimos realizar un trabajo integral. Se emprendió una búsqueda en archivos que permitió encontrar una abundante documentación sobre las mismas, a la vez que aplicábamos a los hornos una metodología arqueológica (sin excavación), levantando plantas y alzados de cada uno de ellos, fotografiándolos exhaustivamente, etc. Paralelamente, realizamos una encuesta entre varios vecinos del pueblo que trabajaron en los hornos o que los vieron funcionar. Fruto de ello ha sido la publicación de un primer artículo, y de un libro monográfico (Muñoz y Schnell, 2007) Todo ello nos llevó a obtener una serie de conclusiones, como que la calera comenzó a producir en el siglo XVI, a raíz de la demanda de cal para El Escorial, que el número de hornos fue aumentando desde dos hasta un total de siete a finales del siglo XVIII, siendo a partir de 1808 cuando, por falta de sitio en El Zancao, se empezaron a levantar



Figura 1. Vista general desde el este con la intervención muy avanzada. En primer plano, el acueducto con su canal reparado y en el conjunto de hornos pueden apreciarse las consolidaciones y la adecuación del terreno.

hornos en La Tejera, lugar hoy llamado La Lobera, o que los hornos parecen tener una estructura característica, con los típicos portales delante, que se repite en otras caleras de la sierra del Guadarrama, que también produjeron cal para El Escorial en sus inicios.

Junto a dichos estudios, nos animamos a promover ante las autoridades municipales la necesaria conservación de dichas estructuras, iniciándose, así, un proceso al que se sumaron diligentemente el alcalde de la localidad y la entidad de

iniciativa local Segovia Sur, obteniéndose hasta 90.000 euros para tal fin, cifra que se ha visto superada en las actuales obras de acondicionamiento.

Localización y geología del enclave

Vegas de Matute es un pueblo de la provincia de Segovia en el *pedemonte* de la sierra de Guadarrama, que se localiza a unos 25 km al suroeste de la capital, a unos 14 km al este de Villacastín y a unos 10 km, en línea recta, al norte de El Espinar.

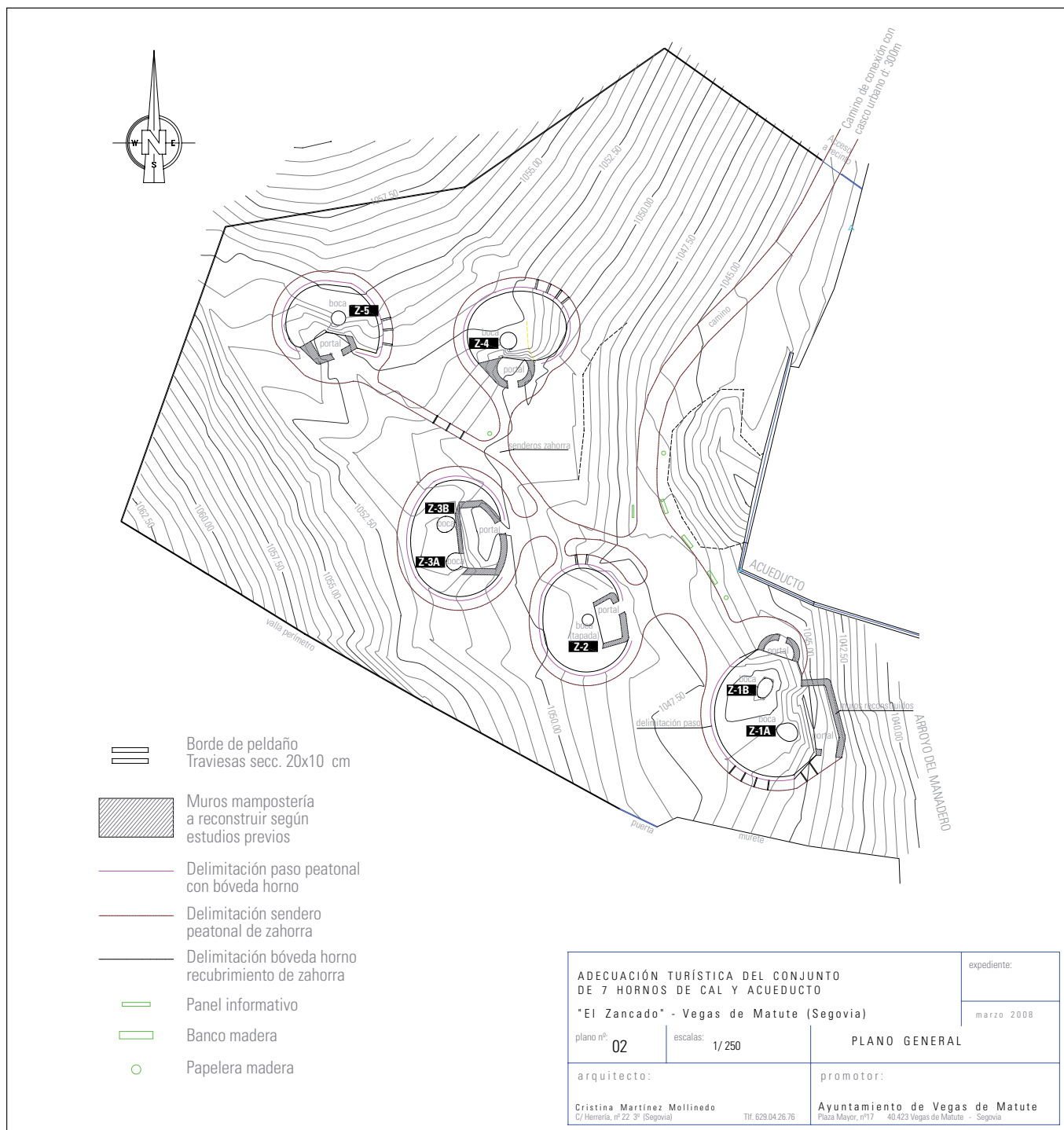


Figura 2. Plano general de los hornos de cal y acueducto.

Geológicamente hablando, siguiendo a García Quiroga (2006), la zona se sitúa en el borde noroccidental del Sistema Central, justo sobre el límite en el que los materiales comienzan a quedar cubiertos por el relleno mesozoico (Cretácico) y terciario de la cuenca del Duero, concretamente por los materiales que cubren la fosa de Segovia. Estos sedimentos (entre ellos las calizas explotadas para su conversión en cal) fueron depositados antes y después

de la reactivación alpina del Sistema Central en el Cenozoico (Terciario). Las rocas paleozoicas que constituyen el núcleo de la sierra de Guadarrama, en este sector, son fundamentalmente granitoides hercínicos que *intruyen* sobre metasedimentos y ortogneises. El relleno mesozoico en la zona de estudio se compone de una serie del Cretácico superior, en la que en la base encontramos niveles detríticos, sobre la que se dispone un conjunto de materiales más

o menos carbonatados. Casi la totalidad del término está formado por una penillanura de paramera o por superficie tipo *pedimet*, entre cotas que oscilan de 1.050 m a 1.400 m de altitud, con las alturas situadas al sur del término en la pequeña cordillera de los Calocos.

La situación de las Vegas en esta zona de contacto entre los granitoides de la sierra y los sedimentos de la cuenca del Duero fue determinante a la hora de instalar en

ella la producción calera, ya que los hornos se construían, por regla general, cerca o sobre los afloramientos calizos, como ocurrió en este caso. La riqueza geológica de la zona fue explotada de antiguo, como demuestran las minas romanas de cobre en el cercano cerro de los Almadenes, en Otero de los Herreros, que fueron dadas a conocer por C. Domergue, y que podrían ser de la misma época que la explotación de los Hoyones de los Calocos, aunque esta última hipótesis aún está por demostrar arqueológicamente. Aparte del aprovechamiento de las calizas como piedra de construcción y material para cocer cal, la explotación de los recursos minerales ha continuado hasta nuestros días con la reutilización de los Almadenes a comienzos del siglo XX, las minas de wolframio en Otero a mediados del siglo XX, o las canteras de caolín y caliza actualmente en producción en el término de Vegas de Matute.

La provisión de cal para el Monasterio de El Escorial

La documentación más antigua referente a la compra de cal producida en los hornos de Vegas de Matute fue dada a conocer por J. L. Cano de Gardoqui en su libro sobre el Monasterio de El Escorial, que nosotros hemos revisado en el Archivo General de Simancas, obteniendo valiosos datos sobre los nombres de los caleros, entregas, etc., para cuya consulta remitimos al libro citado, en el que los publicamos completos.

La necesidad de cal para la obra de El Escorial fue masiva y constante desde el primer momento, y, para atenderla, el propio Juan Bautista de Toledo diseñó, en 1562, cuatro hornos en las proximidades del Monasterio, de los que sólo se construyeron dos. Como no daban abasto, se comenzó a comprar cal en los pueblos cercanos, mencionándose en los documentos que, en 1564, producían en tierras segovianas hornos en Ituero, Vegas de Matute y El Espinar. Es posible que, como en el caso madrileño, fuese el propio arquitecto real el que diseñase estos hornos, poniendo en explotación una industria que comenzaba con

el impulso de la demanda constante del Real Monasterio.

En el caso concreto de las Vegas, la documentación consultada nos informa de la existencia de, al menos, un horno fabricando cal para El Escorial entre 1564 y 1567. Pudo existir una producción calera anterior, o bien ser aprovechado el afloramiento calizo para iniciarla con la desmesurada necesidad del monasterio; ese dato no lo podemos asegurar. A partir de 1569, los libros de cuentas de la obra dejan de aposentar los detalles de la cal, debido a las inmensas cantidades que importaban, por lo que podemos suponer que el o los hornos de las Vegas continuarían atendiendo dicha demanda.

Por medio de nuestro estudio hemos concluido que este primer horno del siglo XVI corresponde con el que se conserva más próximo al arco del Zancao —que hemos denominado en el mapa levantado, Z-1 (figura 2)— y que era un horno doble, o dos hornos emparejados, como es aún hoy. Indudablemente, estas estructuras serían reparadas e incluso reconstruidas innumerables veces a lo largo de sus cuatro siglos de existencia (hemos documentado, por ejemplo, que en el siglo XVIII las bocas de los hornos y los portales tenían una orientación distinta a la actual) pero sus vicisitudes se pueden seguir con continuidad a través de los documentos de los siglos XVII, XVIII y XIX, para cuya consulta derivamos al libro antes citado.

Los hornos en los siglos XVII-XX

Combinando los datos de los protocolos notariales con los que ofrece el Catastro del Marqués de la Ensenada, deducimos que a este primer horno doble del Zancao se le fueron añadiendo otros más a lo largo del siglo XVIII que se corresponden con los que hemos denominado Z-2, Z-3 (doble), Z-4 y Z-5. Éste es el último horno que se construyó en este paraje, hacia 1804, de manera que los siguientes ejemplares se trasladaron (por falta de espacio en el Zancao para más) al lugar llamado La Lobera, a partir de 1808.

Así, los datos que ofrece el *Diccionario Geográfico* de Madoz, en 1850, referentes



Figura 3. Vista general desde el este antes de la intervención en la que se observan los muros desplomados y los túmulos erosionados. El horno en primer plano es Z-1-A con su "portal" derrumbado.

a que en las Vegas había *ocho hornos de cal* y *uno de valdosa y ladrillo*, concuerdan con los que hemos extraído de los protocolos notariales; es decir, los siete del Zancao más otro doble (anterior a 1808) en el sitio de la Tejera, junto a La Lobera. A lo largo de los siglos XIX y XX se fueron construyendo más hornos en este sitio y, en años posteriores a la Guerra Civil, se levantaron otros dos en el paraje de La Dehesa con una tipología distinta (gran chimenea exenta), destinados en origen a fabricar teja, aunque también cocieron cal.

Descripción general de los hornos

La calera del Zancao se localiza a unos 500 m al norte de la población, junto al camino que sube a los Calocos y frente al arco del acueducto que abastecía de agua al pueblo. Se compone de siete hornos, tres sencillos y dos dobles que, para su tratamiento hemos denominado con la inicial Z de Zancao, más un número correlativo asignado en el sentido de las agujas del reloj desde el uno, junto al arco del Zancao (que además es el más antiguo) hasta el cinco (que también es el más reciente). Son hornos dobles los denominados Z-1 (A-B) y Z-3 (A-B), mientras que a los sencillos, los hemos nombrado Z-2, Z-4 y Z-5.

Todos los hornos tienen una estructura similar: la cámara de combustión, de planta elipsoidal, en torno a los 2,5 x 3 m, y alzado troncocónico de unos 3 m de altura, está semienterrada en la ladera de la montaña para minimizar la pérdida de calor. Su sistema constructivo es



Figura 4. Horno doble Z-3 tal como estaba antes de la intervención, con las cámaras semihundidas y el "portal" totalmente enterrado.



Figura 5. Vista del horno doble Z-3 en primer plano y el sencillo Z-5 en segundo antes de la intervención desde el oeste, con los muros desplomados parcialmente y los túmulos perdiendo material a causa de la erosión.

a base de piedras de tamaño medio (principalmente granito, gneis y cuarcita), ligadas con barro que se cuece en la calcinación; las piedras de la abertura superior son más grandes y su disposición es radial. Por la parte del horno que no quedaba arropada por la tierra de la ladera, éste se tapaba con capas de caliches y polvo de cal, muy probablemente cociones defectuosas y deshechos que eran reaprovechados para esta función de aislante térmico. Estas capas dan un fuerte color blanco al exterior de muchos de los hornos, al haberlas dejado la erosión al aire libre.

El interior de la cámara se reviste con un revoco de barro rojo que cumple, además, las funciones de aislante térmico. En la base del horno, el revoco presenta un escalón a lo largo de todo el perímetro de la base que servía de arranque para el encañado del horno, es decir, para sujetar la primera hilada de piedras calizas que se iban a cocer.

La boca del horno es bastante estrecha (en torno a los 45-50 cm) y en ella se disponen las mejores piedras, talladas, grandes y de superficies lisas. Al menos en dos casos estas piedras provienen con seguridad del cercano arco del acueducto, ya que presentan la característica forma triangular de su cubierta.

Delante de la boca se dispone, en cada horno, una sala hoy descubierta pero que originalmente se cubría con techumbre de retama; son los "portales" según los denominan aún hoy en las Vegas, los *solares* de la documentación histórica (figura 3). Estos espacios tenían la función de servir de abrigo a los operarios en caso de inclemencias meteorológicas, a la vez que impedían que se mojase la leña o incluso la producción de cal en caso de lluvia. Como hemos dicho, cada horno tiene delante uno de estos "portales", a excepción del conjunto Z-3, en cuyo caso ambos hornos comparten uno mismo; se trata, sin duda de hornos dobles o aparejados.

En otras caleras también podemos localizar estos "portales" delante de los hornos, como en los cercanos ejemplares de Ituerto y Lama, o en los de Quijorna-Valdemorillo (Madrid).

El proceso de rehabilitación

Como antes se adelantó, debemos destacar la aceptación de la importancia de este conjunto arqueológico-industrial así como la disposición para su restauración que, desde el primer momento, demostró el Ayuntamiento de Vegas de Matute, representado en la persona de su alcalde, Gregorio Allas Cubo, así como el consorcio de desarrollo rural Segovia Sur, representado por Emilio García Gómez. También la Junta de Castilla y León, a través de Benito Arnáiz, advirtió de inmediato la relevancia de la calera del Zancao y aceptó inmediatamente la propuesta de publicación que le hicimos, editando a finales de 2007, en su colección de estudios de etnografía y folclore, el libro *Hornos de cal en Vegas de Matute (Segovia), el conjunto del Zancao, siglos XVI-XVIII*, del que somos autores.

La calera a la que nos referimos tenía la ventaja de estar localizada en una finca de propiedad municipal. Así, el Consistorio procedió a encargar el proyecto de acondicionamiento de los siete hornos de cal a la arquitecta municipal, Dña. Cristina Martínez Mollinedo, que presentó su memoria en enero de 2007.

Estado inicial de la calera del Zancao

Los hornos de la calera se habían podido mantener en uso desde el siglo XVI debido a sus constantes reparaciones y reconstrucciones, que en algún caso debieron de ser casi totales, ya que sabemos que los hornos más antiguos tenían su estructura en el siglo XVIII al revés de cómo se presentan hoy. Estos arreglos cesaron cuando se abandonó la producción en la década de los sesenta y, desde entonces, comenzó su paulatino deterioro debido principalmente a la erosión.

Lo primero en desaparecer fueron las cubiertas vegetales de los portales, cuyas paredes comenzaron a derrumbarse al quedar expuestas a la lluvia. Estas estructuras eran las que más estaban sufriendo, de hecho pudimos documentar la caída de casi todo el cierre exterior del horno Z-1-A en el invierno de 2006 (figura 3). El portal del conjunto Z-3 estaba tan perdido que sólo se apreciaba un resalte en el suelo, lo que nos llevó a contemplar la hipótesis de que fuese de otro material más degradable que la piedra, aunque durante la rehabilitación ha aparecido su parte inferior, demostrando que era como los demás.

Las cámaras, más sólidamente edificadas y arropadas por los túmulos de caliche, aguantaban mejor, aunque alguna había comenzado también a caerse, como Z-3-A. Todas tenían el revoco de arcilla refractaria bastante perdido y el interior lleno de desperdicios; alguno, como Z-3-B y Z-4 tenían árboles creciendo en su interior con el consiguiente deterioro estructural. En los últimos años, la degradación del conjunto se venía agravando con la acción antrópica: más allá del habitual uso de los pozos como

vertedero de basuras. La calera había comenzado a ser frecuentada por conductores de *quads* y motocicletas, que utilizaban los túmulos a modo de montaña rusa, acelerando con sus rodadas la destrucción del conjunto. Estos dos factores: la erosión cada vez más fuerte al quedar las estructuras paulatinamente más dañadas y la creciente acción antrópica que aceleraba el proceso anterior habían llevado al conjunto del Zanco a un punto preocupante de cara a su conservación (figuras 3, 4 y 5).

El proyecto de acondicionamiento

Consciente de la necesidad de frenar ese deterioro y ofrecer la calera acondicionada para su visita pública, el ayuntamiento de Vegas de Matute encargó el mencionado proyecto de acondicionamiento a su arquitecta municipal, y contactó con los autores para que, de manera conjunta con ella y con el consistorio, propusiésemos las líneas maestras de la actuación.

Los problemas que debía de solucionar eran:

- Frenar el deterioro del conjunto.
- Consolidar las estructuras más dañadas garantizando su conservación.
- Ofrecer una visita didáctica y segura (riesgo de caídas en los pozos).
- Aislar la calera de su entorno mediante su vallado.
- Garantizar la conservación futura.

El proyecto de la arquitecta municipal, Cristina Martínez Mollinedo, propone la intervención en una parte de la parcela municipal del Zanco, de 24.000 m², clasificada como suelo rústico con protección de elementos históricos, concretamente en la zona en donde se localizan los siete hornos y el acueducto, unos 6.000 m² del total, con objeto de proteger tanto estas estructuras como su entorno.

Las actuaciones propuestas son:

- Acondicionar el terreno en la zona intervenida.
- Delimitar el ámbito a proteger mediante una valla.



Figura 6. Vista del portal del horno Z-1-B durante el proceso de restauración. Se aprecia el "portal" aún sin cubrir y los rollizos de madera que emplearán para tal fin al fondo.

- Consolidar las estructuras deterioradas reconstruyéndolas si fuese preciso, en especial la zona caída del acueducto.
- Acondicionar el camino de acceso desde el pueblo.
- Garantizar la conservación de los túmulos con manta geotextil.
- Favorecer la didáctica mediante la reconstrucción de un portal y una cámara armada con una carga de piedras.
- Acondicionar la visita mediante senderos señalizados, bancos y paneles.

De acuerdo con las normas urbanísticas municipales vigentes en Vegas de Matute (aprobadas en 2004), tanto los hornos como el acueducto gozan de un grado de protección integral. Las obras, por tanto, deben de garantizar su supervivencia y prohíben el derribo de los elementos, salvo en las partes puntuales que desvirtúen el aspecto original, permitiéndose los trabajos de restauración y/o reforma parcial. Estas restauraciones deben, además, respetar los estudios históricos previos.

La duración de los trabajos se estimó en seis meses con un total de 89.492,60 euros, aportados por Segovia Sur, organismo dependiente de la Junta de Castilla y León, el ayuntamiento de Vegas de Matute, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y también con fondos europeos Proder.

De acuerdo con las normas urbanísticas municipales vigentes en Vegas de Matute, tanto los hornos como el acueducto gozan de un grado de protección integral

Desarrollo de la intervención

Siguiendo estas directivas, las obras comenzaron en septiembre de 2007 a cargo de la empresa CALME S. L. Se empezó por los hornos más antiguos, llamados por nosotros Z-1 A y B, procediendo a limpiar sus cámaras, recreciendo los muros de los portales, que habíamos documentado que se habían desplomado un año antes. Las fachadas interiores, que presentaban riesgo de desplome, fueron aplomadas eliminando este para la integridad de las estructuras y la seguridad de la visita.

Con la idea de favorecer la didáctica se decidió reconstruir el portal del horno Z-1-B, que es el más atractivo del conjunto.

Se contactó con vecinos de las Vegas que habían visto los hornos en funcionamiento e incluso trabajado en ellos y se procedió a reconstruir la techumbre siguiendo sus indicaciones. Así, se colocaron una serie de rollizos de madera soportados entre la pared exterior del portal y el muro de fachada del horno que debía sujetar una cobertura vegetal de retama y piorno cubierta con una capa de barro. Para garantizar la durabilidad del conjunto se decidió colocar una capa de chapa ondulada entre medias, pero de manera que quedase envuelta por retama para que no resulte visible. Este tipo de cubierta exigía una reparación constante por parte de los caleros que, como hoy día no se va a realizar, iba a resultar deteriorada por la humedad si no se insertaba el material moderno (figura 6, 7).

Todo el entorno ha sido limpiado y acondicionado, retirándose la vegetación y la basura acumulada, y se ha rodeado con una valla de 200 m lineales de postes de madera de 80 cm, con acceso a través de una puerta con jambas de mampostería

Para favorecer la explicación del conjunto se decidió armar una carga de piedra caliza para cocer en el interior de Z-1-B con su característica falsa bóveda para mostrar el proceso de fabricación de cal a los visitantes. Por otro lado, en Z-1-A se ha armado otra carga de piedras para cocer (figura 8), pero en este caso dejándola a medio levantar, para que se vea la labor de encañado (figura 9). Estas labores también contaron con el asesoramiento de los vecinos que habían cargado los hornos cuando estos aún cocían cal.



Figura 7. "Portal" del horno Z-1-B reconstruido según el aspecto original siguiendo las indicaciones de los que lo vieron en uso. Se aprecia la cubrición formada por rollizos que soportan un entramado de retama cubierto por una capa de barro.

Posteriormente, se intervino en el cercano arco del acueducto (figura 10), que presentaba un tramo desplomado frente al arco Z-1-A: se retiró el paquete de tierra que había caído por la ladera causando el daño y se procedió a restaurar el tramo hundido con las mismas piedras que aún estaban caídas al pie, incluidas las del canal. Se ha dejado un pequeño tramo sin cubrir para que el visitante pueda apreciar la estructura original del acueducto, con su canal cubierto de losas y la tubería posterior que se colocó al abandonarse este sistema, pues de haberse reconstruido por completo no habría quedado visible y, así, es comprensible con un golpe de vista (figuras 11 y 12).

Los demás hornos fueron atendidos a continuación, limpiándose sus cámaras de basuras y vegetación invasora, retirando los escombros que impedían, en varios casos, el acceso al interior y, en Z-3, dejando visible el propio portal, que estaba completamente enterrado (figura 4). Estas estructuras sólo han sido consolidadas, sin realizarse la reconstrucción que se ha hecho en los dos primeros. Así, el visitante tiene una idea completa de cómo eran los hornos y de cómo se conservan.

Todo el entorno ha sido limpiado y acondicionado, retirándose la vegetación y la basura acumulada, y se ha rodeado con una valla de 200 m lineales de postes de madera de 80 cm, con acceso a través de una puerta con jambas



Figura 8. Carga de piedras calizas para cocer.

de mampostería. En el interior de este espacio se han habilitado los recorridos por medio de unos senderos de pavimento terrizo con traviesas de madera donde la pendiente del terreno lo hace necesario. Cuando los recorridos se aproximan a las chimeneas de los hornos, y para evitar caídas accidentales, se han instalado vallas de madera (figura 1).

Quedaban por cubrir los túmulos de los hornos con manta geotextil para proteger las capas de caliche, que son parte integrante de los mismos, instalar los bancos, papeleras y carteles, así como acondicionar el camino de acceso desde el pueblo.

Novedades arqueológicas mostradas por la intervención

La restauración ha puesto de manifiesto una serie de características que estaban ocultas. La más importante es que la retirada de lo escombros ha permitido entrar en las cámaras de los hornos que estaban bloqueados por ellos, comprobando que sus medidas son similares a las que habíamos podido constatar. También han quedado limpios los portales, estando a la vista del horno doble Z-3, que estaba totalmente enterrado, y del que sólo se intuía que pudiese existir por el abultamiento del terreno. Se trata de una estructura semejante a las de otros hornos, con planta elipsoidal y acceso frontal a través de una puerta.



Figura 9. Interior del horno Z-1-A una vez limpio de escombros. Sobre el reborde se aprecia la carga de piedras a cocer dejando en su interior la cámara de combustión. Esta carga se ha dejado así, a medio armar, mientras que en el horno vecino se ha armado por completo, hasta la chimenea.



Figura 10. Vista del arco del acueducto del Zancao con la calera en segundo plano. Se aprecian las dos canalizaciones superpuestas con las losas de la original repuestas en posición transversal; la parte donde gira en ángulo recto ha sido restaurada.

El desescombros parcial del acueducto ha puesto de manifiesto un engrosamiento del muro por debajo del canal entre el arco y el registro donde gira 90 grados. Este zócalo podría ser una estructura anterior o una fase previa, pues su dirección no es exactamente la misma que la que lleva el canal, pero, al no haberse retirado la tierra por el otro lado, no podemos asegurar nada.

Las obras de acondicionamiento del camino de acceso han permitido también apreciar la forma del canal en otro punto del acueducto, a medio camino entre la calera del Zancao y el pueblo, en un lugar próximo al primer pilón. La conducción ha quedado al descubierto junto a un registro de limpieza y hemos podido documentar su estructura:

- Por encima discurre una tubería de fibrocemento sobre una cama de mampostería con mortero de cal y arena, que era lo que estaba visible. A unos 50 cm por debajo de ella, encontramos el canal original, siguiendo el mismo esquema que apreciamos en el arco del Zancao, pero aquí la conducción original es también de tubería, aunque en este caso es de cerámica. Los tubos de cerámica van ensamblados los unos con los otros y encastrados en una caja de mampostería de mortero de cal y arena con algunas toscas losas de cobertura. Esta caja con los tubos en su interior descansa sobre una cama de mampuestos muy irregulares con un mortero de cal y arena anaranjado.

La caja no tiene caras regulares y da la impresión de que nunca estuvo vista; tal vez el sistema de construcción fue excavar una zanja en el terreno en la que se dispuso la capa anaranjada sobre la que se colocó la tubería y luego el conjunto fue encerrado en la caja de mortero blanco y enterrado. La tubería de cerámica presenta su interior totalmente lleno de concreciones calcáreas, impidiendo la circulación de agua, razón por la cual en algún momento indeterminado fue abandonada y construida otra encima, pues era imposible limpiarla.

- Esta tubería de cerámica acaba en un registro cuadrado tallado en granito y asentado sobre la capa de mampostería anaranjada; sin duda, un pozo de decantación del acueducto. Pero, curiosamente, al otro lado no sale otro tubo cerámico; el canal continúa con la misma estructura de cama anaranjada y caja blanca, habiendo en su interior un canalillo moldeado en la propia caja de mampostería y cubierto por toscas losas de piedra que también presenta fuertes depósitos calizos.

Hemos documentado, así, dos formas de construir el canal, ya que ambas son originales: una con tuberías cerámicas y otra con un canal modelado en la caja de mampostería cubierto de losas (figura 10).

Didáctica

Además de frenar el deterioro de las estructuras y garantizar su conservación,

la restauración debe tener un contenido didáctico con el fin de asegurar la comprensión de los elementos intervenidos. De esta manera se comprende la importancia del conjunto, y la sociedad valora y disfruta de sus elementos, al tiempo que favorece y exige su conservación y puesta en valor.

La didáctica de los hornos del Zancao se basa en un doble criterio:

- La mayoría de las estructuras han quedado en estado de ruina consolidada, tras frenar el deterioro y asegurar la conservación con las obras mínimas de mantenimiento (rejuntado, relevantes necesarios, consolidaciones puntuales, retirada de escombros y basuras) a las que se une la protección de los túmulos artificiales de caliche con manta geotextil (esta cubrición es el aislante térmico de los hornos y constituye una parte de los mismos no menos importante que los portales o la cámara).
- Se ha elegido un conjunto de dos hornos para reconstruirlos en su estado original. Para ello se ha contado con el asesoramiento de varios vecinos que nos informaron de los detalles, en especial de la cobertura de los portales con ramaje y barro, que en ningún caso se había conservado. Para esta función se han elegido los ejemplares más cercanos al acueducto por su impacto como primera vista que se aprecia.

Al entrar en el parque, el visitante ve un espacio acondicionado rodeado de naturaleza, vallado y con indicadores; a su derecha aprecia las estructuras consolidadas como ruinas arqueológicas, mientras que frente a él se destaca el elegante arco del acueducto y, a su lado, el portal de un horno reconstruido, con lo que se puede imaginar sin esfuerzo el aspecto original de la calera. Se dirige la visita hacia esta zona más atractiva visualmente y entramos en el portal del primer horno, el único reconstruido totalmente (Z-1-B), en cuya cámara podemos ver la carga de piedra caliza a cocer, armada en su interior, de manera que, con la ayuda de un panel explicativo, se puede comprender el

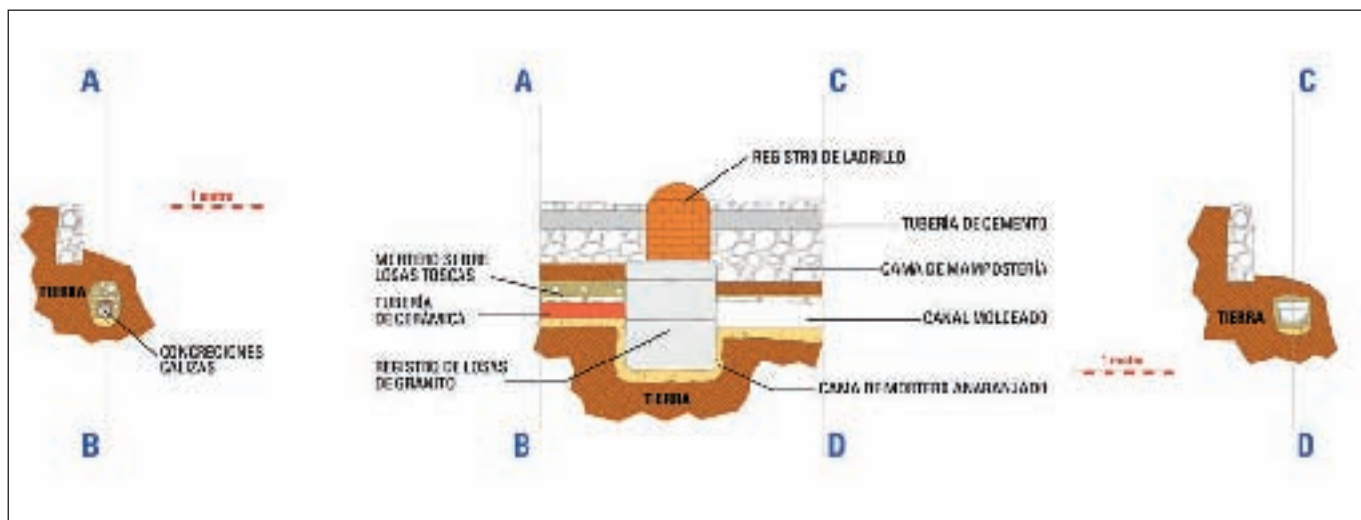


Figura 11. Vista lateral y secciones del acueducto junto al registro del primer pilón.

Creemos que el conjunto del Zancao tiene posibilidades de convertirse en un referente como parque de arqueología etnológica

funcionamiento técnico del horno. En los casos de visitas organizadas, escolares, etc., el guía puede encender fuego en su interior para aumentar el realismo de la explicación. Saliendo de este horno completo, la visita continúa hacia el contiguo (Z-1-A), en el que sólo se han consolidado las estructuras, pero en cuyo interior se ha armado a medias la carga de piedra caliza a cocer para que se pueda apreciar el detalle de este trabajo.

El visitante puede asomarse tanto desde la boca del horno como desde la chimenea superior, comprendiendo el proceso técnico de la cocción.

Tras haber visto tanto un horno completo como otro consolidado, la visita se dirige hacia el resto de hornos, que se aprecian desde el túmulo de Z-1 como una serie de ruinas arqueológicas que ya pueden ser comprendidas. El recorrido nos conduce hacia los otros hornos, unidos por un camino acondicionado. El visitante

puede apreciar más detalles, como la estructura interna de los hornos, el caso de Z-3-A, que tenía su cámara hundida y se ha dejado como estaba consolidando la rotura, de manera que ha quedado como una sección transversal que permite ver la estructura interna (figura 4).

Creemos que el conjunto del Zancao tiene posibilidades de convertirse en un referente como parque de arqueología etnológica; como muestra del oficio perdido de calero y su industria tradicional (figura 13). Partimos de la importancia de contar con una calera cuya existencia está demostrada documentalmente desde el siglo XVI, abasteciendo, además, a la obra de El Escorial; se trata de un conjunto bien conservado, afortunadamente restaurado y habilitado para la visita, y que cuenta con el añadido de la inmediatez de otro monumento como es el acueducto, y todo

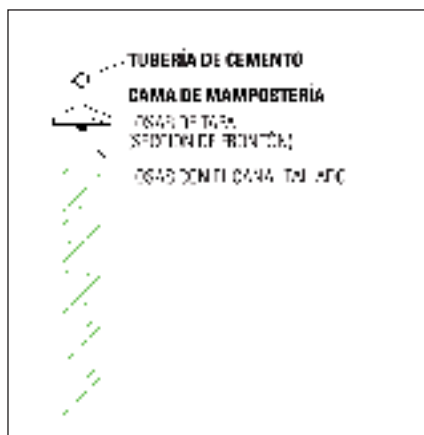


Figura 12. Sección del acueducto en el arco del Zancao (no está a la misma escala de 8).

dentro de un entorno natural privilegiado, en la falda de la sierra de los Calocos. Su potencial didáctico es enorme y podría utilizarse para explicar a los escolares y a lo visitantes en general el ciclo de la cal y la importancia de esta industria tradicional en la economía rural castellana hasta hace apenas cuarenta años. No es menor su potencial como dinamizador del turismo rural, aumentado por su situación a escasos kilómetros de la carretera que une Madrid con Segovia. Creemos, en suma, que este proceso que se ha iniciado con la restauración tiene muchas posibilidades de convertir al conjunto del Zancao en un elemento importante dentro de la arqueología industrial y del turismo rural segovianos.

Actuaciones futuras y potencial turístico

Todo este proceso no tendría sentido si no tuviese una proyección en el futuro y, de esta forma, será necesario un mínimo mantenimiento del parque para que la vegetación no lo invada ni la erosión lo degrade.

Por otro lado, y dado que las caleras de Vegas de Matute pueden y deben de convertirse en un referente de la recuperación didáctica y turística de la industria de la cal tradicional, sería interesante que se emprendiesen intervenciones similares a la realizada en el conjunto del Zancao en las otras caleras más modernas del pueblo, como

La Lobera y El Tejar, y que se realizase un censo de todos los hornos de cal existentes o documentados en el pueblo.

Sería conveniente que se desarrollase un centro de interpretación que podría estar centrado en la producción de cal por métodos tradicionales, pero también atendiendo a los otros recursos de la zona (agricultura, ganadería, naturaleza...). Vegas de Matute cuenta, además, con un notable patrimonio histórico monumental, por lo que este centro podría estar localizado en el palacio de los Condes de Vegas, edificio actualmente vacío y sin uso.

La industria tradicional de la cal en las Vegas podría ligarse con otras cercanas para formar itinerarios turísticos zonales o una ruta histórica de la cal para El Escorial, junto con otros pueblos que la documentación nos indica que produjeron cal para el monasterio (Ituero, El Espinar, Villacastín, Quijorna-Valdemorillo, El Escorial...).

No debemos tratar la industria de la cal como algo aislado y debemos recordar los otros muchos elementos con los que cuenta el pueblo y la zona que pueden ser puestos en valor para hacer la visita al Zancao atractiva en medio de una amplia oferta turística y cultural. Hemos mencionado ya el patrimonio histórico-artístico y el natural, en este aspecto también la extraordinaria riqueza geológica y minera de su término ofrece grandes posibilidades. Así, la minería antigua y moderna podría ser abordada

en rutas que comprendiesen las explotaciones romanas de los Hoyones a la par que la cercana de los Almadenes, en Otero de los Herreros, las canteras calizas explotadas ayer y hoy, el wolframio, el caolín...

Conclusiones

El pueblo de Vegas de Matute cuenta con un interesante patrimonio arqueológico industrial, destacando la calera del Zancao por ser la más antigua y por haber producido cal para la obra de El Escorial, como atestiguan los documentos recogidos por Cano de Gardoqui y los protocolos notariales que hemos consultado. Gracias a estos últimos, podemos seguir las vicisitudes de los hornos hasta el siglo XX, conocemos nombres de propietarios, precios, etc.

En el aspecto tipológico, los hornos presentan la particularidad de tener adosado un cuerpo delantero, llamado portal, que también puede rastreadse en otras caleras que produjeron en origen cal para el monasterio y que se relacionan a través de La Cañada Real Segoviana, como los cercanos de Ituero y Lama (publicados por I. Quintana) o los madrileños de Quijorna-Valdemorillo (publicados por Mazadiego, *et al.*). Resulta sugerente la hipótesis que apuntamos según la cual su abastecimiento para El Escorial habría fijado en todos ellos un tipo específico común con portal delantero perpetuado en los nuevos hornos hasta el siglo XX.

El pueblo de Vegas de Matute cuenta con un interesante patrimonio arqueológico industrial, destacando la calera del Zancao por ser la más antigua y por haber producido cal para la obra de El Escorial



Figura 13. Horno encendido para demostración a los visitantes.

Bibliografía

- Cano de Gardoqui, J.L. (1994). *La construcción del monasterio de El Escorial*, Valladolid, esp., 174-179.
- Cano de Gardoqui, J.L. (2002). Aspectos económicos relativos a la fábrica del monasterio del Escorial, en *El monasterio del Escorial y la arquitectura. Actas del simposium*, Madrid, 123-174.
- Domergue, C. (1987). *Catalogue des mines et des fondiers de la Péninsule Ibérique*. Casa de Velázquez, Madrid. 467-469.
- García Quiroga, F. (2006). Bases para un desarrollo sostenible en el municipio de Vegas de Matute (Segovia), *Observatorio Medioambiental*, 9, 297-315.
- Mazadiego, L., Pucho, O., Jordá, L. y Hervás, A.M^a (2004). Procesos comerciales e industriales. Hornos de cal de Quijorna, *De Re Metallica*, 2, 63-69.
- Muñoz Jiménez, J.M. y Schnell Quiertant, P. (2006). Los hornos de cal del Zancao en Vegas de Matute (Segovia). *De Re Metallica*, 6-7, 87-94.
- Muñoz Jiménez, J.M. y Schnell Quiertant, P. (2007). *Los Hornos de cal tradicionales de Vegas de Matute (Segovia), el conjunto del Zancao (siglos XVI-XVIII)*, Junta de Castilla y León, Valladolid, 161 pp.
- Quintana Frías, I. (2005). Una de cal y otra de historia. Los hornos de cal de Ituero y Lama (Segovia), *De Re Metallica*, 5, 95 -100.

Emilia Pardo Bazán y el geólogo Federico Bruck. ¿Quién era Bruck?

La narración que se presenta corresponde a un relato de Emilia Pardo Bazán (1851-1921) poco conocido en el mundo geológico español. Trata de las relaciones de la novelista con un geólogo figurado de origen inglés que se hace llamar Federico Bruck. ¿Era Bruck un personaje de ficción o existió realmente un geólogo inglés en España que Pardo Bazán escondió bajo ese seudónimo? El análisis detallado del texto sugiere que el geólogo existió y que, probablemente, era el gaditano de origen inglés José Macpherson (1839-1902), amigo de doña Emilia y doce años mayor que ella.

TEXTO | José L. Barrera, geólogo, biógrafo de José Macpherson

Una pasión Emilia Pardo Bazán

[Nota preliminar: edición digital a partir de la de *La dama joven*, 1885, *Arco Iris*, y cotejada con la edición crítica de Juan Paredes Núñez, *Cuentos completos*, La Coruña, Fundación Pedro Barrié de la Maza, Conde de Fenosa, 1990, T. IV, pp. 142-148.]

Siempre que nos reuníamos en Madrid o en Galicia mi amigo Federico Bruck y yo, echábamos un párrafo o varios párrafos sobre su ciencia predilecta, la geología; pues aunque Bruck es hombre de bastantes conocimientos y en alto grado posee esto que hoy llaman *cultura general*, inclinase a hablar de lo que mejor conoce y más ama, por instinto tan natural como el de las aguas al buscar su nivel.

De origen anglosajón, según revela el apellido, soltero, independiente y no pesándole los años, Bruck se consagró en cuerpo y alma al culto de la gran diosa Deméter, la Tierra madre. Esa ciencia erizada de dificultades, inaccesible a los profanos, le cautivó, gracias al feliz y sabio reparto que Dios hace de las aficiones y gustos, para que ningún altar se quede sin devotos y ningún santo sin su velita de cera. Yo confieso ingenuamente el error en que caí. Al pronto, juzgando con arreglo a mis sentimientos propios, pensé que lo que le interesaba a Bruck eran los ejemplares de mineralogía, los *pedruscos bonitos*; pero vi con sorpresa que mi colección, distribuida en las primorosas casillas del estante como joyas en sus estuches, no despertaba en él sino la curiosidad que produciría en cualquier aficionado a las ciencias naturales, mientras las piedras de construcción, el vulgarísimo granito esparcido en la calle, fijaba sus miradas y le umía en reflexiones profundas.



Desde entonces tuvimos asunto para discutir. Con mi doble instinto de mujer y de colorista, yo prefería, en el vasto reino mineral, los productos mágicos que sirven al adorno, a la industria y al arte humano, y describía con entusiasmo la eflorescencia rosa del cobalto, el intenso anaranjado del oropimente, la misteriosa fluorescencia de los espatos, que exhalan lucecitas como de Bengala, verdes y azules, los tornasolados visos del *labradorito*, semejantes al reflejo metálico del cuello de las palomas; la fina red de oro sobre fondo turquí del lapislázuli, las irisaciones sombrías de la pirita marcial y de la marcasita; coloridos nocturnos, vistos en mi imaginación como al través de la roja luz de un agua caldeada por las fraguas y hornos de Vulcano. Con la exigencia refinada del gusto moderno, que se prenda de lo exótico, ponderaba hasta las ponzoñosas descomposiciones del color, el moho verdoso del níquel, el verde manzana de los arseniatos, los extraños cambiantes del cobre; encarecía después el amarillo de miel del ámbar, las gotas de leche incrustadas en la roja faz del jaspe, la transparencia vaya y suave de las calizas, que parecen nieve mineral. Yo argüía, y para mí era argumento definitivo, que los colores más vivos, más brillantes, la mayor cantidad de luz atesorada en un cuerpo, no se encontraba ni en el cáliz de la flor, ni en el ala de la mariposa, ni en la pluma del pájaro, sino que era preciso buscarla allá en las entrañas del globo serpenteando por sus rocas, clavada en ellas, hasta que la inteligencia humana la extraía, tallando la piedra preciosa o refinando el petróleo para descubrir los matices espléndidos de la anilina.

Además de estas hermosuras incomparables del color de los minerales, me cautivaban y excitaban mi fantasía los peregrinos caprichos que en ellos satisface la naturaleza; citaba la luz fosfórica del cuarzo cambiante u *ojo de gato*, las arenillas doradas de la venturina, los curiosos listones del ónice y sardónice, las vetas y dibujos varios de la familia de las calcedonias. ¿Dónde hay cosa más linda que el ópalo, con sus diafanidades boreales, como el lago al amanecer; que el hidrófano, que sólo brilla y se irisa cuando lo mojan, lo mismo que una mirada cariñosa refule al humedecerla el llanto; o la límpida hialita, tan parecida a lágrimas congeladas? ¿Pues no es digna de admiración la singular birrefringencia del espato de Islandia, la figura de X que se encuentra dentro de la macla o *chiastolita*, los magníficos dodecaedros del granate y las cruces prismáticas de la *armotoma*? Filigranas de la creación, caladas y alicatadas por el buril de los gnomos o geniecillos de las cavernas subterráneas, se me figuraban todos estos minerales, y así los alababa con sumo calor, haciendo sonreírse a Federico Bruck. Pero donde empezaban mis herejías anticientíficas era al declarar que tamaños portentos me parecían mucho más asombrosos después que la mano del hombre completaba en ellos, con la forma artística, el trabajo oculto y paciente de las fuerzas creadoras.

Para mí, por ejemplo, el mármol de Paros no adquiriría pureza y excelsitud hasta considerarlo labrado por Fidias; el caolín era

barro grosero, y sólo me enamoraba convertido en porcelana sajona; el zafiro había nacido para rodearse de brillantes y adornar un menudo dedo; el brillante, para temblar en un pelo negro; el basalto rosa, para que en él esculpiesen los egipcios el coloso de Ramsés; el ágata, para que Cellini excavase aquellas copas encantadoras en torno de las cuales retuerce su escamoso cuerpo una sirena de plata. El arte, señor de la naturaleza, tal fue mi divisa.

Bruck afirmaba que estos gustos míos tenían cierta afinidad con los del salvaje que se prenda de unas cuentas de vidrio más que del oro nativo recogido en sus remotas cordilleras; y que lo verdaderamente grandioso y bello, con severa belleza clásica, en la tierra, no son esos caprichos del color ni esos jugueteos de la línea, sino las formas internas de las rocas, el plano arquitectónico, regular y majestuoso, de tan vasto edificio. Encarecía la magnitud de las anchas estratificaciones, que se extienden como ondas petrificadas del océano de la materia; los macizos y valientes pilares graníticos, fundamentos del globo, colocados con simetría solemne; las columnatas de pórfido y basalto, más elegantes que las de ninguna catedral de la Edad Media. Sobre todo, y aparte del especial deleite estético que encontraba en esa disposición sorprendente de las rocas, decía Bruck que le enamoraba ver escrita en ellas la historia del globo, de su formación, del desarrollo de sus montañas y hundimiento de sus valles.

A simple vista, con una ojeada rápida, discernía la estructura de un terreno cualquiera, su yacimiento y su origen. Distinguía al punto las rocas eruptivas —que parecen conservar en sus formas coaguladas indicios del misterioso hervor que las arrancó de los abismos del globo y las hizo rasgar su superficie, a manera de colmillos enormes— de los terrenos de sedimento, cubiertos de capas y más capas lo mismo que de fajas la momia. Sabía por cuál secreta ley las rocas alpestres se levantan y parten en agujas tan atrevidas, puntiagudas y escuetas, mientras las sierras del mediodía de España se aplanan en chatos mamelones, figurando que una mano fuerte les impidió ascender y las redondeó con las redondeces de un seno turgente, henchido de licor vital.

Y cuando pudiese engañarse la vista, tenía Bruck para conocer, sin metáfora, el terreno que pisaba, una señal infalible, la presencia o ausencia, en la roca, de ciertos restos fósiles, valvas menudas de moluscos, el carbonizado tronco de una planta, la huella de un helecho o de un licopodio. De estos restos se encontraban muchos en los terrenos de sedimento, que son a manera de museo donde puede estudiarse la flora y fauna del tiempo —digámoslo así— del rey que rabió, mientras las rocas eruptivas se hallan vacías, ajenas a toda vida, sin rasgos de organismos en sus mudas profundidades. Y aquí Bruck y yo volvíamos a disputar; porque mientras a mí me parecía digno de superior atención el terreno donde se tropiezan fósiles, él hablaba con el mayor respeto de esas



rocas muertas, las primeras y más antiguas, verdaderos cimientos del planeta. Las otras eran unas rocas de ayer acá, que contarían, a lo sumo, algunos cientos de miles de años.

Yo no comprendía la preferencia de Bruck, porque siempre me agrada encontrar vida e indicios de ella. Los fósiles me hacían soñar con paisajes antediluvianos, con animalazos gigantes, medio lagartos y medio peces. Bruck, al contrario, se remontaba a los tiempos en que el mundo, dejando de ser una bola de gas incandescente, comenzaba a enfriarse, y sus queridas rocas emergían, rompiendo la película delgada, la corteza del gran esferoide. En resumen, a Bruck le importaban poco las plantas, que son vestidura de la tierra; los minerales preciosos, que son sus joyas, y los fósiles, que son sus archivos y relicarios; sólo se sentía atraído por la anatomía de su monstruoso esqueleto.

Valía la pena oírle defender esta afición. Extasiábase hablando de la unidad que preside a las formaciones de las rocas, y del poderoso y visible imperio que ejerce la ley en los dominios de la verdadera geología o "geognosia". Ahí es nada eso de que la corteza terrestre sea igual en el Polo que en la zona tórrida, y que mientras los infelices naturalistas y botánicos se encuentran, en cada clima, con especies diferentes, el martillo del geólogo en todas partes rompa la propia piedra. La piedra inmóvil, grave, uniforme, idéntica a sí misma, figurábasele a Bruck majestuosa. A mí me daba frío, y... así como sueño. Pero que no lo sepa ningún geólogo, por todos los santos de la corte celestial.

Bruck no era un sabio de gabinete, ni se conformaba con ver los fragmentos y láminas de roca en las ajenas colecciones o en los museos, con su etiqueta pegada. Por valles, montañas y cerros, allí donde trazaban un camino, perforaban un túnel o excavaban una mina, andaba Bruck con su caja de instrumentos, inclinándose ávidamente para ver, al través de la rota epidermis y de la morena carne

de la gran Diosa, su osamenta formidable. Quería crear la geología ibérica, estudiar el terreno español tan a fondo como lo ha sido ya el francés, inglés y americano. Así es que cuando delante de Bruck nombraban alguna región de nuestra patria, Asturias, Galicia, Málaga, Sevilla, no se le ocurría nunca exclamar: "¡Hermoso país!", "¡Costa pintoresca!", "¡Cielo azul!", "¡Qué poéticas son las Delicias!", o "¡Qué bonito el Alcázar!", como nos sucede a cada hijo de vecino, sino que las ideas que acudían a su mente y brotarían de sus labios si Bruck fuese locuaz, eran, sobre poco más o menos, del tenor siguiente: "Terreno hullero", "Buen yacimiento de gneis", "Terreno triásico", "Formación cuaternaria".

He dicho que Bruck no pecaba de locuaz; pero, fiel a su oriundez anglosajona, era tenacísimo. Jamás se cansaba, ni se desalentaba, ni variaba de rumbo. Todos amamos nuestras aficiones, y, sin embargo, cometemos infidelidades; tenemos nuestras horas de inconstancia, y volvemos luego a abrazarlas con mayor cariño. Hay días contados en que yo no quiero que me nombren un libro, en que lo negro sobre lo blanco me aburre y en que diera todo el papel impreso y manuscrito por un rayo de sol, un momento de alegría, la sombra de un árbol, la luz de la luna y el olor de las madre selvas. Bruck no conocía semejantes alternativas; su amor por las rocas era, como ella, firme, perenne, invariable.

Dos o tres años hacía que no aportaba Bruck por mi país, y yo le suponía entregado a trascendentales investigaciones allá por las cuencas mineras de Extremadura o por las alturas imponentes de los Pirineos, cuando una tarde se me presentó de la manera más impensada, enfundado en su traje habitual de "hacer geología". El paño de su *chaquet* caía flojo y desmañado sobre su vasto cuerpo; una camiseta de color le ahorra la molestia de ocupar el baúl con camisas planchadas; su sombrero, abollado, lucía una capa de polvo a medio estratificar; y como le vi que traía calzados los guantes, comprendí al punto que estaba de excursión, pues Bruck no usa guantes sino para el monte, dado que en la ciudad no hay peligro de estropearse las manos.

Pregúntele el motivo de su viaje. La vez anterior vino a examinar, en persona, la dirección de los estratos del gneis en esta parte de la costa cantábrica; y ahora, con voz reposada, me dijo que el objeto de su expedición era verle el pie... *jhonni soit qui mal y pense!*, a la sierra de los Castros.

—Pero, ¡cuidado que sólo a usted se le ocurre!... Estamos en diciembre, se chupa uno los dedos de frío, y luego el viaje en diligencia es entretenido de verdad. ¿Cómo no aguardó usted a la inauguración del ferrocarril, al verano, etcétera?

Explicó que no podía ser de otro modo, porque ya había llegado a un punto tal, que sin ver la base de la sierra inmediatamente

no haría cosa de provecho. Bruck apuntaba metódicamente en cuadernos los resultados de sus observaciones, y luego los daba al público, no en una obra extensa y monumental, sino de modo más conforme al espíritu analítico y positivo de la ciencia moderna, en breves monografías de esas que por Inglaterra y los Estados Unidos se llaman "contribuciones al estudio de tal o cual materia", folletitos concretos, atestados de hechos y labrados y cortados con precisión matemática, como sillares dispuestos ya para un edificio futuro. Cuando en mitad de uno de sus trabajos le ocurría a Bruck la más leve duda, la necesidad de exactitud rigurosa y veracidad estricta en sus asertos no le dejaba pasar más adelante; y no cociéndosele, como suele decirse, el pan en el cuerpo, tomaba el tren, la diligencia, lo que hubiese, y se iba a comprobar sobre el terreno sus datos. No se cuidaba de si las circunstancias eran favorables; lo mismo hacía rumbo a Extremadura durante la canícula, que a Burgos en el corazón del invierno.

Aunque Galicia no es tan fría como Burgos, ni muchísimo menos, el plan de verle el pie a la sierra de los Castros

en diciembre no dejó de parecerme descabellado. La lluvia, incesante en tal época; la nieve, la escasez de recursos, la falta de esos hoteles diseminados por las cordilleras de otros países, donde el viajero se restaura, y mil y mil inconvenientes, se me ofrecieron al punto y los comuniqué a Bruck. Sin haber llegado nunca a sentarme en las faldas de la abrupta sierra, conocía mucho de oídas el país, y sabía que a veces, en tres o cuatro leguas de circuito, no se encontraba punto para condimentar el caldo de pote ni una arena de sal para sazonarlo. Mas vi al geólogo tan firme en su propósito, que lo único que pude hacer en beneficio suyo fue darle una carta de recomendación para el cura de los Castros. Justamente este buen señor había sido algunos meses capellán de nuestra casa.

Dos epístolas recibidas algún tiempo después completarán la historia del episodio que refiero. La primera, de Bruck; del cura, la segunda. Aquí las copio, para conocimiento y solaz del que leyere:

Las Engrovas, primero de enero

Mi distinguida amiga: No pensé empezar el año escribiendo a usted desde estas montañas, pero el hombre propone y las circunstancias —ya sabe usted que soy algo determinista— disponen. Heme aquí en las Engrovas: ¿ha estado usted por acá alguna vez? Parece mentira, cuando uno se acuerda de esas Mariñas tan risueñas, tan alegres hasta en la peor estación del año, que Galicia encierre sitios tan agrestes y salvajes.

Por supuesto que para mí son los mejores. Esa parte donde usted vive es una tierra blanda, deshuesada, sin consistencia. Aquí encuentro magníficas rocas metamórficas, terrenos de transición, con todas sus curiosas variedades. Sólo me estorba mucho la vegetación feraz y compacta, que me impide reconocer bien el terreno. Espero que en el corazón de la sierra las rocas se me presentarán en su noble y augusta desnudez.

Me han asegurado que, si me meto más en la montaña, me expongo a tropezar con manadas de lobos, a no encontrar donde dormir. No me importaría si no estuviese calado; pero es tanta la lluvia que ha caído por mí, que el traje se me pudre encima. Dirá usted: "¿Y el impermeable?". ¡El impermeable! Hecho jirones, señora: los escajos, los espinos, las zarzas han puesto fin a su vida. Cuando llegue a la hospitalaria mansión del cura de los Castros, voy a pedirle que me ceda un balandrán o cosa por el estilo, porque andar desnudo en diciembre no es agradable.

De la comida poco puedo decir a usted; yo suelo pasarme diez o doce horas sin recordar que es preciso dar pasto al estómago; y cuando se lo doy, al cuarto de hora ya no sé lo que he mascado. No obstante, aquí noto que me falta lastre. Creo que hay días en que me alimento con un plato de puches de harina de maíz. Gracias si puedo regarlos con leche de vaca.

En resumen: hambre, frío, sed de vino y café (de agua no es posible, pues el cielo la vierte a jarras); pero yo contentísimo, porque estas rocas valen un Perú, y su estudio arroja clarísima luz sobre diversos problemas que me preocupaban.

Mañana me internaré en lo más despoblado y agrio de la región. Aprovecho la coyuntura de enviar a El Ferrol esta carta, para que la echen al correo. Siempre a sus órdenes su amigo afectísimo,

Federico Bruck

Parroquia de San Remigio de los Castros, 27 de febrero

Estimada señorita: Le escribo para darle razón del señor forastero que usted se sirvió recomendarme en el mes de diciembre del pasado año. Ese señor salió de las Engrovas el 2 de enero, muy tempranito, a caballo, pensando llegar a los Castros a "la mediodía". Yo nunca vi tanto frío, que el mismo cortaba; hasta al consagrar parece que se me caía la partícula de los dedos; la noche antes heló mucho, y los caminos resbalaban como si estuviesen untados con sebo. Ese señor traía un chiquillo para tenerle cuenta de la caballería y llevarle una caja y no sé qué más lotes; y el chiquillo, que es hijo de mi compadre Antón de Reigal, me ha contado cómo pasó el lance. El señor se bajó del caballo a medio camino, en el sitio que llaman "Codo-torto", y sacando un martillo comenzó a arrancar pedacitos de piedras, que se conoce que los ingleses, sabiendo que aquí hay oro, quieren buscarlo y acaso hacer minas. Piedras fueron, que se pasó así toda la mañana, hasta que el chiquillo, cansado de esperar y no viéndolo por ninguna parte, y muriéndose de ganas de comer, tuvo la debilidad de venirse a los Castros solo, y el caballo detrás, muy pacífico. Luego, cuando el rapaz vio que se hacía de noche y que no parecía su amo, vino llorando a contarme el lance.

Como, según el chiquillo, ese señor se encaminaba a mi casa, en seguida me dio la espina de que sería algún amigo o pariente de usted; llamé a tres feligreses, les hice encender "fachucos" de paja bien retorcidos para que durasen, y nos metimos por la sierra, busca que te buscarás al viajero. ¿Dónde le fuimos a encontrar? En el despeñadero de "Codo-torto", que lo rodó de una vez, señorita, y, pásmese, no se mató, sólo se rompió una pierna. Le trajimos en brazos como se pudo, y gracias al "algebrista" de Gondás, ¿no sabe usted?, aquel hombre que cura toda rotura y dislocación sin reglas ni sabiduría, con unas tablillas, unos cordeles y siete avemarías con sus "Gloria Patris", no tendrá que gastar muleta el señor de "Brus" o como se llame, aunque siempre al andar se le conocerá un poquito.

Yo y mi hermana la viuda lo cuidamos lo mejorcito que supimos, que nos dio mucha lástima; es un señor llano y parece un infeliz. Lo peor de las horas que pasó solito, dice él que fueron unos lobos que le salieron y que los espantó encendiendo fósforos. A pesar de la desgracia, asegura que no le pesó venir a la sierra. Se conoce que la mina de oro promete. Tendrá la bondad de dar un besito a los niños y de saludar con la más fina atención a los señores y mandar a éste su reconocido servidor y capellán, q. s. m. b.,

José Taboada Rey

Moraleja. De cómo por verle los huesos a la tierra, rompió Bruck sus huesos propios.

Análisis del texto

A lo largo del texto de Pardo Bazán se descubren multitud de alusiones personales y profesionales que coinciden con la figura de José Macpherson. Hay que partir del hecho de que, en aquella época, no residía en España ningún geólogo inglés en ejercicio salvo Macpherson, que vivía en Madrid, desde el año 1875. La narración sobre los aspectos geológicos que hace doña Emilia es tan precisa que no hay duda de que la conversación que relata la mantuvo con un geólogo, y que no hay ficción alguna. No consta que, a pesar de la formación humanística y científica que tenía la novelista —se sabe que leía textos de física, mineralogía y de astronomía—, conociera con tanta precisión la terminología y los conceptos geológicos. Por otro lado, la amistad entre ambos está documentada. Así, por ejemplo, en el verano de 1879, José se va de excursión geológica a Galicia y la visita durante día y medio, en La Coruña. La escritora queda impresionada con la figura de Macpherson, y así lo escribe a su amigo Giner, diciendo: "Macpherson me hubiera agradado siempre, por aquella figuraza tan franca y tan simpática, sajona recastada de andaluza [...]". Ambos se debieron de conocer a través de su amistad con Giner de los Ríos, en la Institución Libre de Enseñanza. Con ella colaboró asiduamente Macpherson, y Pardo

Bazán se trataba frecuentemente con Giner, al que consideraba su maestro. Las buenas relaciones entre la escritora y el geólogo se mantuvieron siempre, por lo que es muy factible que el interlocutor de ella en la narración *Una Pasión* fuera José Macpherson.

Desgranado algunas frases del relato, se puede comprobar que la coincidencia con las circunstancias personales y profesionales del geólogo gaditano son muchas, como puede verse a continuación, en las siguientes expresiones:

“Siempre que nos reuníamos en Madrid o en Galicia.”

Macpherson residía en Madrid y viajaba con frecuencia a Galicia en sus excursiones geológicas.

“De origen anglosajón, según revela el apellido, soltero, independiente y no pesándole los años, Bruck se consagró en cuerpo y alma al culto de la gran diosa Deméter, la Tierra madre.” Macpherson, aunque nacido en Cádiz, era de origen anglosajón, estaba soltero —siempre lo estuvo—, trabajaba de manera independiente —nunca se ligó a ninguna institución académica salvo las pequeñas colaboraciones que hacía con la Institución Libre de Enseñanza— y toda su vida la dedicó “en cuerpo y alma” a la geología.

“... pensé que lo que interesaba a Bruck eran los ejemplares de mineralogía [...], pero vi con sorpresa que mi colección [...], no despertaba en él sino la curiosidad que produciría en cualquier aficionado a ciencias naturales, mientras las piedras de construcción, el vulgarísimo granito esparcido en la calle, fijaba sus miradas y le sumía en reflexiones profundas.” Ciertamente, Macpherson no se ocupó nunca de la mineralogía y su verdadera vocación fue la petrología.

“Bruck afirmaba que estos gustos míos tenían cierta afinidad con los del salvaje que se prenda de unas cuentas de vidrio más que del oro nativo recogido en sus remotas cordilleras; y que lo verdaderamente grandioso y bello, con severa belleza clásica, en la tierra, no son esos caprichos del color ni esos jugueteos de la línea, sino las formas internas de las rocas [...].” Nuevamente aquí se pone de manifiesto el gusto que el geólogo mencionado tenía por la petrología; lo mismo que le ocurría a Macpherson.

“Sobre todo, y aparte del especial deleite estético que encontraba en esa disposición sorprendente de las rocas, decía Bruck que le enamoraba ver escrita en ellas la historia del globo, de su formación, del desarrollo de sus montañas y hundimiento de sus valles. A simple vista, con una ojeada rápida, discernía la estructura de un terreno cualquiera, su yacimiento y su origen. Distinguía al punto las rocas eruptivas [...].” Otra de las preferencias que tenía Macpherson era la del plegamiento de las rocas (la geología estructural), un aspecto sobre el que realizó varias publicaciones y que, la narración de doña Emilia, recoge con precisión.

“Sabía por cuál secreta ley las rocas alpestres se levantan y parten en agujas tan atrevidas, puntiagudas y escuetas, mientras las sierras del mediodía de España se aplanan en chatos mamelones, figurando que una mano fuerte les impidió ascender y las redondeó con las redondeces de un seno turgente, henchido de licor vital.” Aquí se tiene otra manifestación del interés por los plegamientos y movimientos tectónicos que estaba presente en Macpherson.

“[...] él hablaba con el mayor respeto de esas rocas muertas, las primeras y más antiguas, verdaderos cimientos del planeta. Las otras eran unas rocas de ayer acá, que contarían, a lo sumo, algunos cientos de miles de años.” En esta frase queda claro el gusto que “el geólogo” de doña Emilia tenía por las rocas paleozoicas, un gusto en todo coincidente con el de Macpherson.





José Macpherson.

“Bruck, al contrario, se remontaba a los tiempos en que el mundo, dejando de ser una bola de gas incandescente, comenzaba a enfriarse, y sus queridas rocas emergían, rompiendo la película delgada, la corteza del gran esferoide. En resumen, a Bruck le importaban poco las plantas, que son vestidura de la tierra; los minerales preciosos, que son sus joyas, y los fósiles, que son sus archivos y relicarios; sólo se sentía atraído por la anatomía de su monstruoso esqueleto.”

Nuevamente, la escritora profundiza en el gusto de “su geólogo” por el estudio de los terrenos paleozoicos y su tectónica, tal y como lo hacía Macpherson.

“Extasiábase hablando de la unidad que preside a las formaciones de las rocas, y del poderoso y visible imperio que ejerce la ley en los dominios de la verdadera geología o ‘geognosia’.”

Otra manifestación de los gustos coincidentes con los de Macpherson.

“Bruck no era un sabio de gabinete, ni se conformaba con ver los fragmentos y láminas de roca en las ajenas colecciones o en los museos, con su etiqueta pegada.”

En esta frase hay bastantes alusiones a la actividad que ejercía Macpherson. Por una parte, está su afición por el campo unida a su observación de “láminas de roca”. Hay que decir que, en aquella época de comienzos de los años ochenta del siglo XIX, en España sólo observaban láminas petrográficas por el microscopio dos geólogos: José Macpherson (que fue el iniciador de esa técnica en España) y su discípulo José Quiroga. Resulta difícil concebir que Pardo Bazán utilizara con tanta precisión el término de “lámina de roca” si no lo hubiera oído de Macpherson.

“Quería crear la geología ibérica, estudiar el terreno español tan a fondo como lo ha sido ya el francés, inglés y americano. Así es que cuando delante de Bruck nombraban alguna región de nuestra patria, Asturias, Galicia, Málaga, Sevilla [...]” En esta ocasión, queda claro que el fin último del estudio del geólogo Bruck era la geología total, igual que el objetivo que perseguía Macpherson. También, no parece casual que las regiones y provincias que cita doña Emilia sean las mismas donde centró mayoritariamente sus estudios José Macpherson.

“[...] Bruck no pecaba de locuaz; pero, fiel a su oriundez anglosajona, era tenacísimo. Jamás se cansaba, ni se desalentaba, ni variaba de rumbo.”

Aquí, todas las características de personalidad que se citan coinciden plenamente con las de Macpherson: poco hablador (era ligeramente tartamudo), orgulloso de su origen anglosajón y constante en su trabajo.

“Bruck no conocía semejantes alternativas; su amor por las rocas era, como ella, firme, perenne, invariable.”

Otra vez se recalca la afición desmedida por la petrología.

“El paño de su *chaquet* caía flojo y desmañado sobre su vasto cuerpo [...]” Se conoce que Macpherson era alto y un poco desgarrado.

“Bruck apuntaba metódicamente en cuadernos los resultados de sus observaciones, y luego los daba al público, no en una obra extensa y monumental, sino de modo más conforme al espíritu analítico y positivo de la ciencia moderna, en breves monografías de esas que por Inglaterra y los Estados Unidos se llaman ‘contribuciones al estudio de tal o cual materia’.”

Macpherson publicó casi todos sus estudios en artículos de las revistas científicas de la época sin configurar obras monumentales. Sólo al final de su vida publicó un pequeño volumen sobre geología.

Agradecimientos

A Luis Sebastián Alafont, que me hizo conocer el relato de Pardo Bazán.

versos '08

VERTEDEROS Y SOSTENIBILIDAD

3-4 noviembre de 2008 PRIMERA COMUNICACIÓN

Lugar de celebración



CONGRESO

Mejores Tecnologías Disponibles en Vertederos Controlados



PRESENTACIÓN

La tecnología de vertederos o Ingeniería de vertederos es una parte de una disciplina científico-tecnológica novedosa y desarrollada desde finales del pasado siglo XX: La Geotecnología Ambiental.

Esta disciplina se ha desarrollado de una manera intensa debido a dos factores fundamentales:

- El impulso de una industria medioambiental cada vez más necesitada de tecnologías avanzadas para la gestión de residuos.
- La demanda por parte de la sociedad de un marco legislativo y normativo de la mayor exigencia para regular y controlar las citadas actividades de gestión de residuos.

La situación actual se ha convertido en un reto para las empresas del sector, implicadas de lleno en la obtención y desarrollo de las Autorizaciones Ambientales Integradas de acuerdo con la Ley IPPC, que puede considerarse la culminación a un largo camino de adaptación normativa que incluye la Directiva 1999/31/CEE, la posterior Decisión 2003/33/CE así como a nivel estatal el RD 1481/2001.

A nivel autonómico, el Gobierno Vasco, a través de su Viceconsejería de Medio Ambiente, está actualmente desarrollando un Decreto "para la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la regulación de rellenos", Decreto que presumiblemente estará listo para fin de año, lo cual añade más interés si cabe al momento actual en relación con la temática de esta comunicación.

Este Congreso se presenta como una oportunidad para intercambiar las últimas experiencias surgidas tras el impulso de las circunstancias citadas, fomentando los aspectos prácticos de las mismas, en un enfoque aplicado que interese a las empresas del sector, a la administración y otros agentes implicados.

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente

Miguel Gómez (GARBIKER, Presidente ICOG País Vasco)
Guillermo Bernal (LURGINTZA)
Aitor Zulueta (Consultor)

Secretario Supervisor científico

COMITÉ ASESOR

- Javier Alonso (TRISOPLAST)
- J. L. Barrera (Vicepresidente ICOG España)
- Ramón Blanco (CTRIG-SOGARISA)
- Iván Botamino (FCC-AMBITO)
- Daniel Castro (UNIVERSIDAD DE CANTABRIA-ETS Caminos)
- Alberto Foyo (UNIVERSIDAD DE CANTABRIA-ETS Caminos)
- Alfonso García de Cortazar (TERRANOVA)
- Carlos Hevia (CALCINOR)
- Carlos Luengo (GOBIERNO VASCO-Viceconsejería M. Ambiente)
- Iñaki Susaeta (IHOBE)
- José Miguel Unzaga (BETEARTE-URBASER)

PONENCIAS

Los borradores de las ponencias se deberán recibir para su selección antes del 30 de Julio de 2008 en la siguiente dirección de correo electrónico versos2008@gmail.com

Los borradores se ajustarán a las siguientes condiciones:

- El borrador se encabezará con el título de la ponencia y nombre del/os autor/es y centro de trabajo.
- Constarán como máximo de 500 palabras en cualquier estilo de escritura a tamaño 12 con interlineado sencillo.
- Se evitarán gráficos, figuras y tablas.
- Se indicará al pie el bloque temático en el que se desea incluir la ponencia.

PROGRAMA

Las sesiones monográficas a desarrollar durante las jornadas del congreso, se ajustarán a los temas propuestos a continuación:

- Normativa y Legislación en relación con vertederos e instalaciones de depósito de residuos.
- Sistemas de tratamiento de residuos en vertederos e instalaciones complementarias.
- Nuevos materiales y técnicas constructivas en vertederos.
- Diseño, explotación y control de vertederos e instalaciones de depósito de residuos.

Se aceptarán ponencias que no se ajusten a los temas anteriores siempre y cuando se propongan y se considere que tengan un interés científico-técnico indiscutible.

Sesión práctica

Adicionalmente se realizará una sesión práctica dentro del Congreso, consistente en la visita a instalaciones del entorno, dentro de la Comunidad Autónoma del País Vasco, aspecto éste que se detallará en sucesivas comunicaciones.

LUGAR Y FECHA DE CELEBRACIÓN

En la siguiente comunicación se remitirá una aplicación para las inscripciones.

Aquellas personas interesadas podrán remitir, no obstante, su expresión de interés a la dirección versos2008@gmail.com.

Las sesiones se celebrarán en las salas del BEC (Bilbao Exhibition Centre) que se comunicarán oportunamente, durante los días 3 y 4 de Noviembre, coincidiendo con "GEO2 Feria Internacional del Desarrollo Sostenible".

Para la inscripción se ha definido una única cuota de 300 (IVA no incluido). Los autores de ponencias que vayan a realizar su exposición en el Congreso quedarán exentos de cuota.

De la fecha tope para el ingreso de las cuotas de asistencia al Congreso y datos bancarios para la realización del ingreso se informará en la siguiente comunicación.

SECRETARÍA

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos del País Vasco
Att.: Gentzane Txurruka
C/ Iparragirre nº 36 - 1ª Dcha. / 48011 Bilbao (Bizkaia)
Telf. 944 431 182 / Fax. 944 218 247
www.icogeuskadi.org / versos2008@gmail.com

Organiza:

Patrocinan:

Entidades Colaboradoras:



Entidad Geológica en Cargo Oficial
Ilustre Colegio Oficial de Geólogos del País Vasco
www.icogeuskadi.org/versos2008





Enrique Díaz Martínez

ISBN 978-84-7840-754-5

Editado por A. García Cortés

Publicado por el Instituto Geológico y Minero de España (MCI)

Contextos geológicos españoles: Una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional

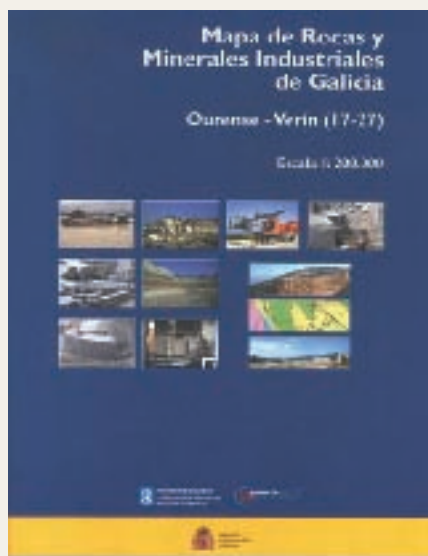
El patrimonio natural comprende aquellos elementos de la naturaleza, ya sean bióticos o abióticos, poseedores de algún valor que los hace merecedores de ser considerados bien de interés colectivo, y que debemos preservar para las generaciones futuras. Debido a nuestra tradición histórica y cultural, son mucho más conocidos y apreciados socialmente los elementos bióticos que los abióticos y, por tanto, suele ser más valorada la biodiversidad que la geodiversidad. Pero todo lo que conocemos sobre la evolución de la Tierra, de la vida, de los climas, de los continentes, está escrito en el registro geológico y, por ello, la conservación del patrimonio natural es incompleta si no incluye el patrimonio geológico, incluyendo todos sus aspectos (estratigráfico, paleontológico, geomorfológico, etc.).

Durante la última década, y como primer paso necesario para la protección del patrimonio geológico global, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Unión Internacional para las Ciencias Geológicas (IUGS) han desarrollado el Programa Geosites, una iniciativa global para inventariar el patrimonio geológico de relevancia internacional. Dada la diversidad y complejidad del registro geológico a escala mundial, este primer paso consistió en que cada país propusiera los grandes contextos geológicos (*geological frameworks*) que pueden constituir la diversidad geológica mundial. Posteriormente, y para facilitar la gestión y protección legal de cara a su conservación, dentro de cada contexto se establecen los lugares de interés geológico de relevancia internacional (*geosites*) que mejor representan sus características.

Como órgano asesor del Gobierno español en temas relacionados con la geología, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) asumió las funciones de coordinación de toda esta labor en España y acaba de publicar la propuesta española de *geosites*. Se trata de un libro de cuidada edición en el que se describen e ilustran los contextos geológicos españoles ya dados a conocer brevemente a la comunidad científica en el año 2000. La otra importante contribución de este libro es el listado de los lugares concretos que se consideran como más representativos de cada contexto geológico español. Este listado, que no debe considerarse exhaustivo —pues los inventarios siempre deben ser revisados—, servirá a las comunidades autónomas para desarrollar las competencias atribuidas por la nueva Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Esta ley establece la obligación de realizar un Inventario de los Lugares de Interés Geológico representativos de los contextos geológicos recogidos en el anexo VIII-II, correspondientes a los identificados bajo el Programa Geosites recientemente finalizado en España y que ahora se difunden con este libro.

Las fotografías y esquemas utilizados para cada contexto geológico español de relevancia internacional ayudan a comprender sus principales características, así como su situación geográfica y geológica, mientras que la bibliografía que los acompaña permitirá ampliar información a los más interesados. El conjunto resultante es una obra de consulta sobre los contextos geológicos españoles de relevancia internacional y aquellos lugares que mejor los representan. Será de utilidad para las administraciones públicas, las entidades locales y para cualquier persona interesada en el patrimonio geológico de España y su conservación eficaz. Se trata de una obra que ayudará a comprender la importancia de este aspecto indebidamente olvidado del patrimonio natural.

Enrique Díaz Martínez
Geólogo



Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

225 págs, 1 mapa, 1 CD

Depósito legal: M-42002-2007

ISBN: 978-84-7840-694-4

Autores:

A. Ferrero Arias (IGME); J. Rubio Navas (IGME); J.M.

Baltuille Martín (IGME); F. Pérez Cerdán (IGME); F. Garrido

Menéndez (INGEOFISA); C. Fernández Ferreiro (INGEOFISA)

Coordinación Xunta Galicia:

J.J. Iglesias Suárez; R. Recuna Carrasco



Instituto Geológico y Minero

de España, Madrid. 202 págs, 1 mapa, 1 CD

Depósito legal: M-42003-2007

ISBN: 978-84-7840-695-1. Año 2007

Autores:

A. Ferrero Arias (IGME); J. Rubio Navas (IGME); J.M.

Baltuille Martín (IGME); F. Pérez Cerdán (IGME); V. González

Aramendi (INGEOFISA); C. Fernández Ferreiro (INGEOFISA)

Coordinación Xunta Galicia:

J.J. Iglesias Suárez; S. Covelo López

Mapa de Rocas y Minerales Industriales de Galicia a escala 1:200.000

El Instituto Geológico y Minero de España ha publicado recientemente el Mapa de Rocas y Minerales Industriales correspondiente a las hojas 1:200.000 de Pontevedra-A Guarda (16-26) y de Ourense-Verín (17-27). Estas dos hojas han sido realizadas por el Instituto Geológico y Minero de España, con el apoyo también de autores externos, en el marco de un convenio de colaboración entre este organismo y la Consellería de Innovación e Industria de la Xunta de Galicia a través de su Dirección Xeral de Industria, Enerxía e Minas.

Se trata de una obra orientada a ofrecer un conocimiento de la minería de las rocas y minerales industriales en el ámbito de cada hoja realizada, que sea útil bajo distintos aspectos: gestión de recursos mineros a escala regional, exploración minera... La información se ha informatizado e incorporado a una aplicación informática ad hoc, que permite acceder con facilidad y rapidez tanto a las memorias generadas como a los mapas, y facilita la navegación según criterios diversos, tanto geológicos como mineros; así como el acceso a información general factual y gráfica de los puntos mineros.

Para cada hoja se entrega una memoria, un mapa y un CD con toda la información, y una aplicación para el manejo de la información. Cada memoria está estructurada según los siguientes capítulos y contenidos:

1. *Introducción*

Aspectos generales sobre encuadre geográfico y la metodología de trabajo.

2. *Síntesis geológico-minera*

Se realiza una breve síntesis de las características geológicas y mineras para el ámbito de cada hoja, como marco general de los recursos mineros.

3. *Minería de las rocas y minerales industriales*

Se describe la minería de las rocas y minerales industriales tanto en explotación como inactiva.

4. *Resumen socioeconómico*

Se realiza un breve análisis de los parámetros básicos de la minería en el ámbito de cada hoja.

5. *Impacto ambiental*

Un apunte sobre los principales impactos derivados de la actividad minera que se desarrolla en la hoja.

6. *Consideraciones finales*

Consideraciones en relación con la actividad minera actual y pasada y la existencia de recursos mineros de las sustancias presentes en cada hoja.

7. *Bibliografía*

8. *Anexos*

Listado de explotaciones e indicios; aspectos generales relativos a la caracterización, usos y sectores de consumo de las rocas y minerales industriales presentes en la hoja; legislación relativa a la actividad minera; normativa de calidad y vínculos en Internet para la actualización de algunos de los contenidos de los anexos.

Para la hoja de Ourense-Verín (17-27) se incluyen en el CD algunos estudios concretos de mayor detalle sobre algunos sectores, que mejoran la orientación de la actividad minera en ellos desarrollada.

Ángel Ferrero Arias

Geólogo

www.unionprofesional.com

La Web de referencia
informativa y documental
del ámbito colegial.



www.profesiones.org

El medio de comunicación de
las profesiones colegiadas
en Internet.

Normas de publicación de la Revista T&T

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 600 palabras son una página editada de la revista.
- Todas las ilustraciones (mapas, esquemas, fotos o figuras) y tablas serán referenciados 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 600 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** y **bibliografía**.
- 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 por un punto del título.

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 con una copia en papel, tanto del texto como de las ilustraciones, a la redacción de la revista *Tierra & Tecnología*, Colegio Oficial de Geólogos; Avda. de la Reina Victoria, 8, 4ºB, 28003 Madrid.

Separatas y originales

Los autores recibirán 20 separatas y varios ejemplares de la revista completa. Se devolverán los materiales originales.

Colegio Oficial de Geólogos

*Creando contigo
la Geología Profesional*

Colegiación

Visado

Asesoría

Títulos profesionales

Formación

Bolsa de empleo

Tertulias

Revista *Tierra y Tecnología*

Es miembro de

Federación Europea de Geólogos

Unión Profesional

Unión Interprofesional de Madrid

Asoc. Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra



icog@icog.es - 915 532 403

BARCELONA BILBAO MADRID OVIEDO ZARAGOZA

www.icog.es