



Ilustre Colegio
Oficial
de Geólogos

Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • Nº 35 • PRIMER SEMESTRE DE 2009

Centenario de la erupción del volcán Chinyero, Tenerife

- El geólogo, un recurso escaso en la industria del petróleo y el gas
- La implantación de un sistema de gestión ambiental en una empresa
- Mauritania 07
- Los jesuitas y la geofísica
- Darwin en la UIMP

DESARROLLO PROFESIONAL

los mejores profesionales
de la geología a su alcance

UN SERVICIO DE CALIDAD

procesos de selección,
evaluación competencias,
promoción interna,
assessment center

EL MEJOR EQUIPO

expertos en selección,
geólogos profesionales, psicólogos

NUESTRO OBJETIVO

promocionar actividades,
servicios y estudios que faciliten
el acceso al mercado laboral
del colectivo profesional
bajo un marco de
responsabilidad social que apoye
el desarrollo sostenible

Colegio Oficial de Geólogos





Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN
GEOLÓGICA
Nº 35 • PRIMER SEMESTRE DE 2009

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

DEPÓSITO LEGAL: M-10.137-1992

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

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

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

FOTO PORTADA: CHARLES DARWIN

Sumario

- 2 • EDITORIAL
- 3 • EL CENTENARIO DE LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN CHINYERO, EN TENERIFE
- 24 • EL GEÓLOGO, UN RECURSO ESCASO EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y EL GAS
- 29 • INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS EN EL COSTE DE CIMENTACIÓN DE UN EDIFICIO
- 35 • LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL EN UNA EMPRESA
- 47 • MAURITANIA 07
- 57 • LOS JESUITAS Y LA GEOFÍSICA
- 67 • HISTORIA DE UNA MINA, HISTORIA DE UN PUEBLO
- 73 • EL LABORATORIO GEOLÓGICO DE LAGE
- 81 • GEOLOGÍA Y HERÁLDICA
- 87 • DARWIN ESTUVO EN LOS CURSOS DE VERANO DE LA UIMP
- 97 • SE CELEBRA EN PUERTOLLANO LA JORNADA SOBRE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO₂ ORGANIZADA POR EL ICOG
- 101 • XXV ANIVERSARIO DE LA PROMOCIÓN 1979-1984 DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA
- 103 • DIVULGACIÓN GEOLÓGICA DE LA FACULTAD DE GEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA
- 104 • RECENSIONES

Editorial Año Darwin

A estas alturas de 2009, que nos hablen del Año Darwin puede comenzar a ser un poco monótono. Son muchos los actos que se llevan celebrados este año en todo el mundo para recordar su vida y obra científicas. Pero es que la ocasión, sin duda, lo merece. No sólo por el 200 aniversario de su nacimiento (12 de febrero de 1809) —también nació el mismo día y año Abraham Lincoln, que pasó a la historia por la abolición de la esclavitud y por ser el primer presidente de Estados Unidos que fue asesinado—, sino por ser uno de los naturalistas que más ha dado, y da, que hablar en estos 150 últimos años. Hay que recordar que, además del aniversario de su nacimiento, se conmemora también el sesquicentenario de la publicación de su obra *El origen de las especies*. Es probable que ninguna obra científica como *El origen...* haya creado tanta polémica en la sociedad occidental y, sobre todo, en la sociedad victoriana de la época. Las ideas de Charles Darwin cuestionaban siglos de asunciones sobre el hombre y el mundo, sobre la ciencia y la historia y, finalmente, sobre la religión y la filosofía. Aún hoy, la polémica evolucionismo *versus* creacionismo sigue constituyendo una de los debates más apasionados de la comunidad científica mundial. Ni siquiera los avances en la ciencia genética, que confirma con creces la teoría de la evolución, y a la que ningún genetista se opone, es capaz de convencer la irreductible tozudez de los insistentes creacionistas.

Pero, tal vez, lo que no conozcan muchas personas es que el pensamiento evolucionista de Darwin se basó en sus conocimientos geológicos y en la ayuda y apoyo que siempre le dio el gran geólogo inglés Charles Lyell. Él fue el que, a través de sus libros de geología, le introdujo en los principios de la geología moderna. Su famosísima trilogía de *Principles of Geology* constituyó el libro de cabecera de Darwin durante su viaje en el Beagle. Sin él, es muy probable que no hubiera desarrollado el elevado grado de observación geológica que desarrolló durante los casi cinco años que duró la travesía. Es difícil señalar qué aspecto de la obra o del pensamiento "lyelliano" influyó más decisivamente en Darwin. Lo que se puede decir es

que la teoría del uniformitarismo proveyó a Darwin de un escenario en el que se podía pensar que los procesos que afectan a los organismos vivos en el presente ocurrieron de manera similar en el pasado, y que su variación, de la cual existía abundante prueba en las observaciones geológicas de Darwin, pudo ocasionar la migración, expansión o desaparición de las especies. Éste fue el hilo conductor de la geología evolutiva a la biología evolutiva.

Darwin siempre se sintió geólogo, así lo dijo durante toda su vida. En su autobiografía, escrita en 1876, manifestó: "La investigación de la geología de todos los lugares visitados fue mucho más importante (que el resto de observaciones), pues es en ella donde se pone en juego el razonamiento".

Sin embargo, la historia le recuerda por sus teorías evolutivas, sin duda, mucho más trascendentes que las aportaciones que hizo a la geología. Su vocación de naturalista apasionado por la geología se vio truncada por su enfermedad. En junio de 1842, Darwin hizo su última excursión de campo. Se marchó sólo a reconocer la morfología glacial al norte de Gales, al mismo sitio en donde había comenzado su carrera geológica de la mano de su profesor de geología en Cambridge, Adam Sedgwick. "Fue la última vez en la que me sentí lo bastante fuerte como para subir montañas o dar las largas caminatas necesarias para realizar el trabajo geológico", manifestó a su vuelta. Con ello, tal vez la historia de la geología perdió a un geólogo eminente, pero ganó a un gran biólogo.

Charles Darwin falleció un 19 de abril de 1882. El deseo de la familia era enterrarlo en su casa de Down, pero cuando el decano de la abadía de Westminster, de acuerdo con la petición de miembros del Parlamento, accedió a que recibiese sepultura en la abadía, la familia no se negó. Hoy, para aquellos visitantes de Londres que quieran acercarse a su sepultura, busquen la de Newton, Darwin reposa junta a la suya.

El centenario de la erupción del volcán Chinyero, en Tenerife

El 18 de noviembre de 2009 se cumplen 100 años de la erupción del volcán Chinyero, que sacudió la isla de Tenerife después de 111 años de tranquilidad eruptiva. Ha sido la última erupción histórica que se ha producido en Tenerife y la primera erupción canaria con documentación fotográfica y estudios de carácter científico. La erupción fue sólo una noticia nacional y pasó casi desapercibida en la prensa mundial, salvo en Gran Bretaña, por las vinculaciones económicas y comerciales que mantenía con el archipiélago canario.

TEXTO | José Luis Barrera, vulcanólogo, biotita@arrakis.es

FOTOGRAFÍAS | Diversas fuentes

Palabras clave

Chinyero, Tenerife, Canarias, volcanes, vulcanología, erupción

El 18 de noviembre de 1909, la isla de Tenerife quedó sacudida por una nueva erupción volcánica en su territorio. La impresión fue nueva para toda la población isleña, pues la última erupción habida en la isla, el volcán Chahorra o Narices del Teide, se había producido en 1798, ¡111 años antes!

La erupción del Chinyero (*figura 1*) fue la que emitió el menor volumen de lava de todas las erupciones históricas que se han registrado en las islas Canarias. Tal vez sea porque la erupción fue corta en el tiempo, ya que sólo duró diez días. Así, la superficie cubierta por la lava expulsada fue de 2.379 hectáreas.

Esta erupción no ha sido la única en tiempos históricos que se ha producido en el archipiélago; desde el siglo XIV otras 17 erupciones han recordado a la población que el vulcanismo de Canarias está activo.

Las erupciones históricas en las islas Canarias

El archipiélago canario ha tenido 17 erupciones históricas más o menos documentadas, repartidas en tres islas: Lanzarote, Tenerife y La Palma. Hay tres dudosas, no incluidas en la relación, que se cree se produjeron en la zona del Taoro, Tenerife, que carecen de testimonios fiables y se fundamentan sólo en aspectos geomorfológicos de conservación y en tradiciones de navegantes. Hay también otras dos dudosas, no incluidas en la relación, como son la de 1793 en El Hierro, que



Figura 1. Foto antigua de la erupción del volcán Chinyero. Fuente: Centro de Fotografía Isla de Tenerife.

algunos autores la relacionan con el volcán de Lomo Negro o una erupción submarina en El Golfo, y la de 1492, que se cita en el diario de Colón y que diversos autores la identifican con el volcán Montaña Reventada.

En la *tabla 1* se relacionan todas ellas ordenadas por años, indicando también el nombre del volcán, la isla, la fecha y la duración.

Las erupciones históricas en Tenerife

En la isla de Tenerife hay cuatro erupciones históricas bien documentadas. En la *figura 2*

se puede ver la distribución de las mismas junto a la fisura del Taoro, cuya veracidad está en duda. Ninguna de las erupciones causó víctimas mortales, pero sí grandes daños. Así, la erupción del volcán de Garachico (Arenas Negras) o volcán de Trevejo, ocurrida el 5 de mayo de 1706, produjo daños materiales considerables, destruyendo buena parte de la villa y el puerto natural de Garachico, por entonces el más importante de la isla. Crónicas de la época dejan clara la magnitud del desastre: "El espacio del puerto que quedó lleno de lava tenía más de 400 varas de ancho y 360 de largo, quedando sólo uno incómodo de 140

Tabla 1. Relación de las erupciones históricas ocurridas en las Islas Canarias

Año	Nombre	Lugar	Fecha y duración
1470 o 1492	Volcán Tacande o Montaña Quemada	Cumbre Vieja (La Palma)	?
1585	Volcán Tahuya	Cumbre Vieja (La Palma)	19 mayo-10 agosto (84 días)
1646	Volcán Martín o de Tigalate	Cumbre Vieja (La Palma)	2 octubre-21 diciembre (82 días)
1677	Volcán de San Antonio	Cumbre Vieja (La Palma)	17 noviembre-21 enero (66 días)
1704/1705	Fisura de: – Volcán de Sietefuentes – Volcán de Fasnia – Volcán de Arafo	Dorso Cañadas (Tenerife) ladera sur de Izaña Dorsal de Pedro Gil	31 diciembre-4 ó 5 enero (5 días) 5 enero-16 enero (12 días) 2 febrero-27 marzo (54 días)
1706	Volcán de Arenas Negras	Garachico (Tenerife)	5 mayo-13 junio (40 días)
1712	Volcán del Charco	Cumbre Vieja (La Palma)	9 octubre-3 diciembre (56 días)
1730/1736	Timanfaya	Sector central (Lanzarote)	1 septiembre 1730-16 abril 1736 (2.055 días)
1798	Volcán Chahorra (Narices del Teide)	Laderas Pico Viejo (Tenerife)	9 junio-14 y 15 septiembre (99 días)
1824	Fisura de: Volcán de Tao (Clérigo Duarte) Volcán Nuevo del Fuego o Chinero Volcán de Tinguatón	Sector central (Lanzarote)	31 julio 29 septiembre-5 octubre 16 octubre-17 octubre (85 días)
1909	Volcán del Chinyero	Dorsal de Abeque (Tenerife)	19 noviembre-27 noviembre (10 días)
1949	Volcán de San Juan (Nambroque, Duraznero)	Cumbre Vieja (La Palma)	24 junio-30 julio (47 días)
1971	Volcán del Teneguía	Cumbre Vieja (La Palma)	26 octubre-18 noviembre (24 días)

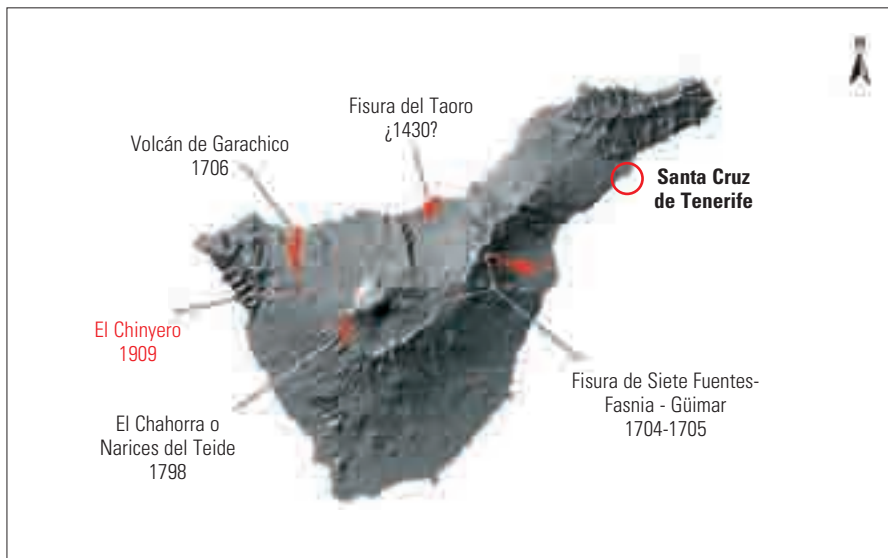


Figura 2. Mapa de situación de las erupciones históricas en la isla de Tenerife.

El volcán Chinyero se localiza geográficamente en la parte noroccidental de la isla de Tenerife, al noroeste del Pico Viejo y al este de Valle Santiago, en el término municipal de Santiago del Teide

varas por lo más ancho, cuando antes tenía más de 500 brazas. Y su boca de entrada, que antes tenía más de 300 brazas, en el día sólo tiene 80”.

La destrucción del puerto de Garachico convirtió al puerto de la Cruz en el principal de la isla en aquella época. El auge de los

puertos de La Orotava y de Santa Cruz hizo que Garachico perdiese importancia como referencia portuaria y mercantil.

Localización del volcán Chinyero

El volcán Chinyero se localiza geográficamente en la parte

noroccidental de la isla de Tenerife, al noroeste del Pico Viejo y al este de Valle Santiago, en el término municipal de Santiago del Teide. Tiene una altura de 1.560 metros sobre el nivel del mar.

Desde el punto de vista geológico, el Chinyero pertenece al eje eruptivo (rift)

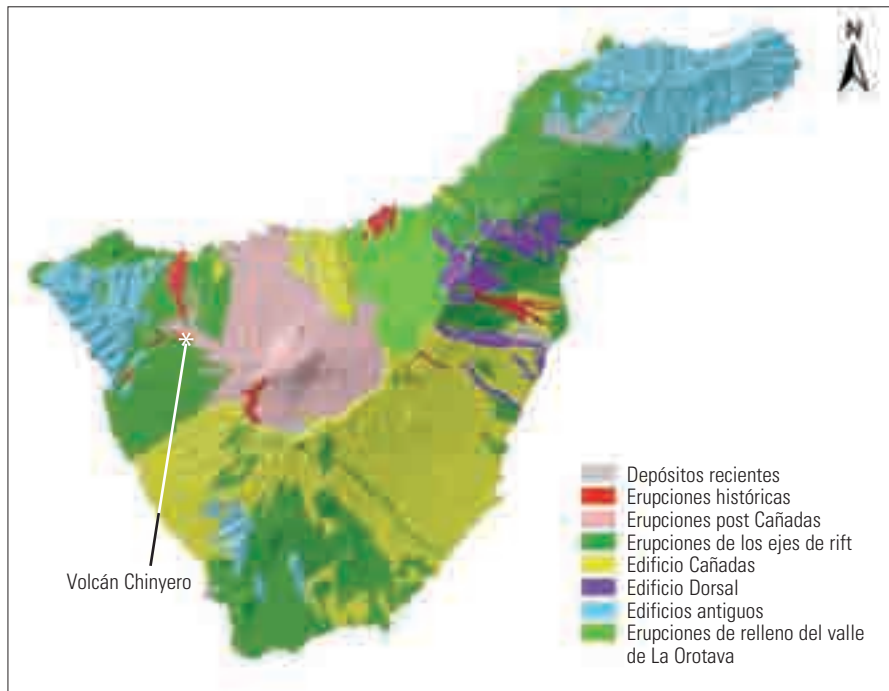


Figura 3. Mapa geológico simplificado de la isla de Tenerife.

norroeste de la isla de Tenerife, que ha estado activo desde hace unos 500.000 años, y sobre el que han surgido gran cantidad de volcanes monogénicos de tipo estromboliano que se alinean según el mismo. En la *figura 3* está sintetizada la geología de Tenerife con la situación del volcán Chinyero.

La erupción surgió en la base de otro volcán preexistente con forma de herradura, abierto hacia el sur. Podría decirse que la fisura eruptiva que se instaló en su base fue una posible reactivación del mismo.

Así fue la erupción

En la *figura 4* está representada la cartografía geológica de las coladas que, desde la boca de salida del cráter, se extendieron principalmente en sentido oeste hacia Valle Santiago rodeando otros conos volcánicos estrombolianos preexistentes, como Montaña de la Cruz, Poleos y Montaña Aguda.

Síntomas preeruptivos

Desde mucho antes de que se produjera la erupción del Chinyero, hubo bastante sismicidad en la zona donde salió, que persistió después de terminada la erupción,

aunque con menor intensidad y frecuencia. El primer terremoto preeruptivo se produjo en el municipio de Icod de los Vinos el 8 de julio de 1908, ¡16 meses antes de la erupción!, y se repitieron en varias ocasiones en la misma zona y en la de Guía de Isora, sobre todo ese mes de julio, en agosto (uno muy fuerte se produjo el día 4) y el 9 de septiembre. Especialmente intensos fueron los sismos del 4, 17, 24 y 30 de noviembre de ese mismo año. La máxima actividad fue de 14 sismos en dos horas, que se sintieron en La Orotava.

Durante el año 1909 se siguieron produciendo terremotos los meses de enero, marzo, abril, mayo (especialmente fuerte el del día 25), junio (intenso el del día 19 que agrietó varias de las edificaciones de Icod), julio y octubre. Lógicamente, la frecuencia de los mismos fue creciendo hasta la semana anterior a la erupción, cuando los temblores eran ya algo habitual los días 14, 15, 17 y 18 de noviembre, hasta el mismo momento de la erupción. El alcalde de Icod de los Vinos ya anunció al gobernador civil de la provincia la existencia de estos temblores, cuando el 14 de noviembre le comunicó: "Seis de la mañana de hoy sintieronse varios temblores durando cortísimos intervalos, siendo los últimos a las 7

El primer terremoto preeruptivo se produjo en el municipio de Icod de los Vinos el 8 de julio de 1908 y se repitieron en varias ocasiones en la misma zona y en la de Guía de Isora, sobre todo ese mes de julio, en agosto y el 9 de septiembre

de la mañana. Sin consecuencias salvo la natural alarma". El día 15 vuelve a enviar otro telegrama en términos parecidos.

La zona más afectada por los terremotos iba desde Icod hasta Guía de Isora. A las 00:50 de la madrugada del 17 al 18 de noviembre, es decir, 14 horas antes de la erupción, se produjo uno de intensidad regular y otro, más fuerte, a las 1:30, siendo casi continuos a partir de entonces. Se acompañaron de ruidos subterráneos que llenaban de pánico a los vecinos de los pueblos cercanos, que continuaron sobrecogidos toda la mañana del día 18. Ese mismo día los terremotos se oían en Santa Cruz, donde, en un primer momento, se creyeron que eran cañonazos de barcos.

A pesar de tantos precursores sísmicos, la erupción cogió desprevenida a la población, ya que no sabían ni cuándo ni dónde podía ocurrir "algo".

En aquellos tiempos, y tras los dramáticos sucesos de la Semana Trágica de finales de julio de 1909, en Barcelona, el presidente del Gobierno era el liberal Segismundo Moret que, de nuevo, había alcanzado la Jefatura del Gobierno sucediendo a Antonio Maura, al tiempo que desempeñaba la cartera de

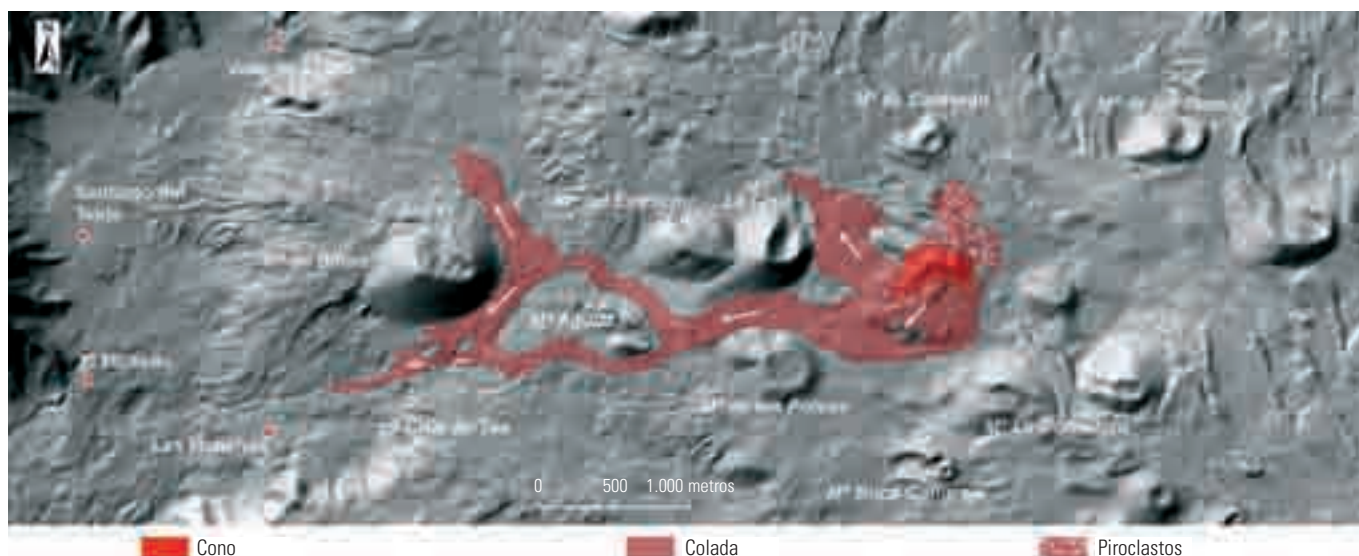


Figura 4. Mapa de las coladas del Chinyero.

El relato de los testigos presenciales

Antonio de Ponte y Cologán recoge el testimonio de dos testigos oculares, los pastores José Hernández Lorenzo (anciano agricultor de San José de Los Llanos, El Tanque) y su hijo Miguel Hernández Grillo, que se hallaban a un centenar de metros del lugar de la erupción y a los que se encontró en el campo el día 22 de noviembre cuando estaba haciendo el seguimiento de la erupción. Padre e hijo eran peones que trabajaban en la finca propiedad de Antonio Cabrera y Alvarado, en una parcela sembrada de millo, situada en la zona conocida como Cerro Gordo, perteneciente a San Juan del Reparó, localidad de Icod de los Vinos. Relataron el inicio de la erupción de la siguiente manera: “Este día, nos dijeron, fuimos, según costumbre, a dar una vuelta al ganado, que en su mayor parte se encontraba pastando en los llanos de los Asnos y del Trigo. A eso de la una nos pusimos a comer en la propia montaña de Chinyero, cuando empezamos a sentir ruidos subterráneos y movimientos del terreno, con mucho calor; por todo lo cual, preocupados, decidimos marcharnos, y habiendo encontrado a un viejo de la Vega de Icod, que afanado se ocupaba en sacar un trillo del tronco de un pino seco, sin permiso del guarda, le aconsejamos que se retirara pronto porque había peligro; pero nos manifestó que no lo hacía por esperar de un momento a otro a su hijo. Era tal la trepidación del terreno, que el mango del hacha del viejo, que estaba apoyada en las tablas del trillo, temblaba produciendo un fuerte repiqueteo contra la madera. Allí quedó el testarudo e interesado labriego, y nosotros, después de recorrer cosa de una media legua, dejábamos ya atrás la montaña de la Cruz, cuando sentimos una fuerte detonación acompañada de violenta sacudida de la tierra, que nos dejó suspensos, pudiendo entonces ver una gruesa columna de humo negro, piedras y fuego, entre el Chinyero y la montaña de Beque. Ante aquel horror, precipitamos la marcha a nuestras casas”.

En la crónica de Ponte, continúa el relato diciendo: “Esta relación de los pastores nos fue confirmada más tarde en todas sus partes por el viejo, el cual dijo que, a poco de marcharse aquéllos, llegó su hijo con el burro y que ya se disponían a cargarle el trillo, cuando sintieron el tremendo estampido con la lluvia de piedras, que les produjo la impresión de una numerosa bandada de palomas que levanta el vuelo. Fue tal el pánico, que, dejando sombreros, burro y trillo, salieron escapados sin parar hasta la Fuente de la Vega, donde tenían su casa”. “Como prueba de este hecho, diré que efectivamente el día diecinueve habíamos encontrado vagando por aquellos parajes un asno enalbardado, lo cual nos llamó la atención por lo extraño del caso. De estos

relatos inferimos que empezó la erupción en el volcán pequeño más arriba mencionado.”

Hay otra versión del relato, que los testigos se la contaron a Fernández Navarro cuando éste les buscó para que le dijeran lo que pasó. Aunque muy similar a la primera, añade pequeños detalles. Dice: “Eran las dos y media de la tarde y yo me hallaba labrando unos trillos, y sentí temblar la tierra bajo mis pies. Dio una vez un hurrido que yo miré el cielo creyendo que pasaba algún gran bando de palomas... Entonces vinieron unos pastores de Las Manchas y todos dijeron: ‘Vamos a marcharnos que de esto tiene que dimanar algo malo’. Yo me decía a mí mismo: ‘Si yo no fuera tan cochino, no me estaría aquí porque soy muy temeroso; pero como soy cochino y espero a mi hijo, me aguantaré’. En ese momento reventó el volcán. Donde había un hoyito de volcán, en el mismo morro de la Montaña del Chinyero, fue donde reventó. La otra boca que hay separada se formó a la tardecita. Dio un gran berrido y los escobones saltaron al aire, subiendo a una altura como tres pinos grandes (podría equivaler a 150 metros de altura), dando vueltas, revueltos con el humo y la tierra, negra y colorada, y también salían piedras grandes, pero no se veía fuego, y todo al llegar arriba se distendía, y empezaron a caer unas arenillas calientes que no se aguantaban en la mano. Ya no vimos más porque todos echamos a correr... Cuando reventó, y aun algunos días después, se vio salir humo por el barranco de Abeque, que desemboca en el mismo volcán, es decir, que el volcán venía corriendo desde el Teide hacia abajo. A los tres días hubo hasta nueve bocas; pero después, las entulló el volcán”

Lógicamente, la intensidad de las explosiones ensordecedoras y los frecuentes terremotos fueron alarmando a los testigos, que se explicaban así: “... llegaron entonces asustados unos pastores de las Manchas y todos dijeron: ‘Vamos a marcharnos que esto da temor y va a difamar algo malo’”.

Al llegar su hijo, la situación ya se tornaba insostenible: “Nosotros echamos también a correr, sin volver la cabeza y sin saber dónde íbamos. Yo corría delante, y decía: ‘Juye Miguel’ y Miguel corría detrás, y decía: ‘Juya padre’, pero nunca me alcanzó, porque yo iba sin zapatos y él tuvo que acabar por tirarlos. Sin saber por dónde ni por cuánto tiempo nos encontramos en la Fuente de La Vega (unos seis kilómetros al NNE del volcán) donde nos paramos y contamos a la gente lo que había dimanado del volcán”.

Gobernación. Él fue el que se encargó de coordinar desde Madrid, con varios ministerios, las ayudas a los damnificados por la erupción del Chinyero.

Relato de la erupción

Los datos referentes al desarrollo de la erupción se encuentran en tres fuentes

documentales principales: el relato de Antonio de Ponte y Cologán de 1911 (figura 5), testigo ocular, el estudio de Fernández Navarro, publicado en 1911

(figura 6), y el libro de Brito (2003) sobre la *Erupción del Chinyero a través de la prensa*. También hay que tener en cuenta las noticias comunicadas por los vecinos, las autoridades locales y los socorros públicos que, en parte, están recogidas en las fuentes anteriores.

Uno de los testigos y cronistas de la erupción, ya que estuvo presente en ella, fue Antonio de Ponte y Cologán, ilustre farmacéutico por entonces de La Laguna, que fue destacado por el Gobierno para hacer un estudio in situ de la erupción, recorriendo todos los lugares. Hay que señalar que con él llevaba un conjunto de palomas mensajeras que utilizó para enviar los mensajes de su observación.

La erupción comenzó a las 14:30 horas del jueves 18 de noviembre de 1909, en la Dorsal de Abeque, y cesó el 28 del mismo mes, diez días después de su comienzo. Fue una erupción fisural con cinco bocas eruptivas intermitentes de carácter estromboliano, alineadas este-oeste. Durante ese periodo, el volcán originó una gran columna de piroclastos incandescentes y gases eyectados que alcanzó los 200 metros de altura y podía observarse desde la isla de La Palma. Los lapillis y cenizas se dirigieron principalmente hacia el este del volcán, empujados por los vientos dominantes. La erupción construyó un cono de 80 metros de altura sobre la base y 300 metros de longitud. Imágenes de la erupción tomadas durante la misma se pueden ver en la *figuras 7, 8, 9, 10 y 11*.



Figura 5. Portada de la crónica de la erupción realizada por Antonio de Ponte y Cologán.

Jueves 18 de noviembre. Comienza la erupción
Prácticamente desde el inicio de la erupción, el volcán comenzó a arrojar lavas. La primera colada que surgió se dirigió hacia el Tanque e Icod pero, al irse solidificando, sirvió de muro y se fue desviando en sentido sur hacia el Llano de los Asnos, situado entre el Chinyero y la montaña de Los Poleos. Según los estudios del vulcanólogo americano Perret, la primera manifestación efusiva formó un pequeño cono que no emitió coladas y que quedó inactivo cuando se abrieron las tres siguientes que, en lugar de formar tres conos independientes, formaron uno solo elongado. Ante esta situación, los vecinos de los pueblos del norte, que habían subido al volcán para conocer el suceso, regresaron tranquilos. Pero la tranquilidad no duró mucho, pues a las 12 de la noche el cura del Tanque llegó a Garachico anunciando que la lava se dirigía a su vecindario.

Las autoridades de Icod, Garachico y Los Silos, poblaciones cercanas a la erupción, remitieron telegramas al gobernador de la isla, el señor Luengo, comunicando que la erupción había tenido lugar en la montaña de las Cruces y solicitando coches y buques para la evacuación de la población que se encontraba muy alarmada y asustada. Finalmente, la erupción no fue de gran magnitud, a pesar de la impresión y el pánico que causó a los vecinos en sus inicios. El mismo día de la erupción, el Gobierno Civil constituyó en Santa Cruz el Gabinete de Crisis bajo la autoridad del gobernador civil, Manuel Luengo Prieto (sólo unos meses antes, el 2 de enero de 1909,



Figura 6. Portada del estudio de la erupción realizado por Fernández Navarro.

había sido nombrado secretario del Gobierno de la provincia de Canarias), y desde el primer momento se convirtió en el centro neurálgico donde se recogieron las noticias del fenómeno. El primer telegrama anunciando una posible erupción fue enviado a las 11:00 horas del día 18 de noviembre, es decir, antes de que realmente se produjera la erupción, por el alcalde de Icod, que aseguraba que: "Según informes telefónicos, hay señales evidentes de erupción volcánica, en las faldas sur del Teide, en la montaña de Las Cruces". El gobernador civil y el capitán general se trasladan a Garachico para seguir los acontecimientos. Mientras, un telegrama enviado por el cura de Valle Santiago (actual Santiago del Teide) relataba: "Cunde alarma en este pueblo por haber explotado la montaña de Las Flores, que arroja materias incandescentes", y, poco después, otro cable precisaba: "En Montaña Cadena Sur y Chajorra hay grandes detonaciones y humos. Señales evidentes de erupción en dirección norte. Convendría dos buques en el puerto de San Marcos". De nuevo es el alcalde de Icod, quien pide auxilio: "Volcán sigue en aumento, sintiéndose temblores subterráneos; grandísimas detonaciones y columna de humo color rojizo, iluminada por resplandor".

Las evidencias, los avisos, telegramas y comunicaciones de alarmas por el humo, la lava, los sonidos y los temblores se sucedieron continuamente desde múltiples sitios e instituciones, pidiéndose incluso dos buques en la zona icodense de San Marcos para posibles evacuaciones. Hay que destacar como curiosidad de la época que, en las diversas comunicaciones, se utilizaron también palomas mensajeras.

El comandante de la Guardia Civil de Icod explicaba a las 16:30 del día 18 que un vecino decía "haber visto humo y sentir ruidos sobre montaña Vencheque y la Botija, creyendo sean de las sacudidas sísmicas. Los pueblos y los campos están alarmadísimos", situación que se reproducía en Garachico.

Desde los primeros momentos, las autoridades del Gobierno en Madrid estuvieron informadas puntualmente del acontecimiento a través de las comunicaciones que enviaba el gobernador de la isla. A las 19:30 horas el gobernador envía al ministro un telegrama anunciándole



Figura 7. Foto de las bocas eruptivas durante un episodio piroclástico de gran violencia. Obsérvese el gran tamaño de algunos fragmentos.

la erupción en la zona de montaña de Las Flores, según las informaciones que recibe de la zona. En ese mismo comunicado le anuncia que ha dispuesto la salida de tres vapores con auxilios y ambulancias, además de movilizar al personal de telégrafos.

A las 20:00 horas el alcalde de Icod anuncia al gobernador que el pueblo está alarmado y la gente empieza a abandonarlo. Había miedo de que la lava bajara por la ladera hasta el pueblo y también a Garachico, como ya ocurriera en la erupción de 1706. En Valle Santiago los vecinos habían huido a la playa en espera de que la erupción se calmara o de ser evacuados.

A las 23:20 horas testigos que bajaban de la cumbre informaban que una corriente de lava corría por el barranco de los Ovejeros en

dirección a Valle Santiago (Santiago del Teide). El pueblo estaba ya desalojado, al igual que Arguayo y Tamaimo.

En un principio, había una gran confusión en determinar el lugar exacto de la erupción y las informaciones que se daban eran imprecisas y confusas.

Las autoridades y habitantes de la isla, el ejército y socorros llegados de otras islas atendieron urgentemente a los vecinos afectados por la erupción. Inclusive las casas comerciales inglesas establecidas en la isla y el propio Gobierno inglés pusieron medios navales para ayudar en la evacuación.

Con la noche cayendo sobre la isla el día de la erupción, el temor de las gentes aumentó

y la inquietud se apoderó del vecindario. Valle Santiago, el pueblo más cercano al lugar de la catástrofe, fue abandonado y sus habitantes huyeron hacia la playa de San Juan.

La falta de red viaria adecuada en el lugar de la erupción hizo que los auxilios y evacuaciones tuvieran que realizarse por barco hasta la playa de San Juan y puerto de Santiago, en la costa oeste, y el puerto de Garachico, en la costa norte.

Viernes 19 de noviembre

Desde Guía, y en la madrugada del día 19, el capitán Gerardo Gorrín comunica al Gobierno Civil de que la única salvación es por mar y pide auxilio.

Los primeros auxilios llegaron por mar a la playa de San Juan el 19 de noviembre. Sin embargo, la población evacuada se negaba a embarcar en los barcos que habían llegado en su auxilio al ver la lejanía del peligro y lo lento que corría la lava. También fueron enviados víveres desde otros lugares de la isla, aunque la picaresca siempre estaba presente, y así se cuenta: "Los socorros llegaron al poco tiempo a Playa San Juan y varios barcos depositaron alimentos. Los barcos, además, venían dispuestos a llevarse a la gente, por aquello de que la única salvación estaba en el mar. Se repartió la comida en el vecindario y las cosas buenas de comer se la llevaron los caciques y la camarilla. Para los pobres dejaron el millo y el pescado salado".

A las 18:00 del día 19, un río de lava se dirigió hacia Santiago del Teide. Se dividió con un brazo hacia Las Manchas, en Valle Santiago, y otro hacia Los Partidos de Franquis y el valle de Arriba, siendo, a partir de ese momento, su marcha más lenta porque comenzó a rellenar la depresión que está al levante de Montaña de Bilma, ganando en anchura. Otra rama se expandió hacia el norte en dirección al Tanque. El alcalde de Garachico transmitía a las 18:25 del 19 que el fenómeno parecía estacionado. En varios vapores marcharon al lugar de la catástrofe médicos y otros auxilios y la Cruz Roja de La Laguna con una ambulancia, que había salido por la noche. El vapor "León y Castillo" llegó a media mañana a Guía, transportando una de las ambulancias de La Laguna.



Figura 8. Foto de un episodio explosivo violento formando una columna piroclástica de gran altura.



Figuras 10 y 11. Fotos de las columnas piroclásticas.



Figura 9. Foto de las bocas más orientales en actividad.

Otro cable de aquel día 19 reflejaba la magnitud de la erupción: "Anoche, a la 1, estando frente a la Punta de Hidalgo, empezamos a ver destellos de enorme hoguera, hacia el norte de la isla, pudiendo apreciar que el lugar donde procedía se correspondía a la zona superior de Garachico".

A las 20:00 horas salió de Santa Cruz Antonio de Ponte, pasando por La Laguna, con dirección a Garachico. A las 12 de la noche se paró en La Rambla a cenar, donde se encontraba una gran cantidad de gente que

huía de Icod. Al llegar a Icod el pueblo estaba casi vacío. Continuó su viaje hacia Garachico donde, al llegar, la oscuridad era absoluta y casi no había gente en la calle, porque se habían retirado a sus casas.

Ponte, después de parar en casa de su padre, Gaspar, inició la subida al volcán a las 4 de la madrugada del día 20, llegando a él cuando estaba en plena erupción piroclástica y observando que algunas lavas se habían dirigido hacia el Valle Santiago. Rápidamente envía a su hermano, que se quedó en Garachico, el siguiente telegrama: "Confirmo

todo lo visto y observado por ti. Lava aún circunscrita a Llano Asnos, montaña en erupción Chinyero y no Flores como se dice. Sin peligro inmediato esos pueblos. Estén tranquilos".

Parece que Ponte, que sabía que la lava se había dirigido hacia el oeste (porque así lo relata en su artículo), no lo quiso decir en el telegrama.

Entre las observaciones que hace, ya con la primera luz del día, destaca la presencia de gran número de fumarolas que, al desprender sus gases en forma de penachos de humo, dejan cubiertos los materiales de algunos sitios de eflorescencias blanquecinas. El ancho de la colada de uno de los ramales era de 200 metros; su espesor, dos metros sobre la tierra, y su velocidad 16 metros por hora. Había varios cráteres que vomitaban continuamente grandes llamaradas, con proyecciones alternantes de coladas y piroclastos; el ruido era enorme y una gruesa columna de humo ascendía hacia el cielo. El viento dominante era del sur.

En los siguientes recorridos que hace por la zona, observa una gran grieta de 20 cm de anchura y 27 metros de largo que, lógicamente, sería debida a los terremotos de la erupción. En el Llano del Trino, separado

de los cráteres principales del Chinyero, observa una pequeña montañita algo activa que, según testigos oculares, fue por donde empezó la erupción, tal y como supuso Perret. En el Llano de las Asnos se encontró con grandes bombas calientes que tenían medio metro cúbico de volumen. En aquellos momentos, el volcán tenía cuatro cráteres orientados de este a oeste.

Sábado 20 de noviembre. Se realiza el primer informe técnico de la erupción

Según el relato de Antonio de Ponte, durante la madrugada, un ramal de la colada había llegado hasta la Hoya de Bilma. Se oyeron fuertes detonaciones y, por la mañana, apareció un nuevo cráter que expulsaba sólo lava cayendo en forma de cascada y que alimentaba un verdadero río de fuego. Éste, bordeando el costado derecho del Chinyero, reforzaba el brazo de Los Partidos, el cual, estrecho el día anterior, se había ensanchado mucho y marchaba con bastante velocidad.

Por la noche, los otros cuatro tenían la siguiente actividad: el del este con igual continuidad, expulsión fuerte de gases y vapores e idéntica altura; el del oeste había aumentado en actividad, casi igualándose al anterior; de los centrales, el de la derecha ganó en altura y proyecciones ígneas intermitentes; el de la izquierda seguía con grandes y ensordecedoras detonaciones. El conjunto se encontraba más violento y activo que la noche anterior.

Las coladas, que ocupaban mayor espacio en el Llano de los Asnos, se distribuían perfectamente en dos ramales, que se unían casi a un kilómetro de distancia, reforzando el brazo de Valle Santiago.

El director del Instituto Técnico de Canarias (el único que había en el archipiélago), Cabrera Pinto (1855-1926), sensibilizado con la ocasión histórica que se le presentaba de estudiar una erupción en directo, dispuso este día para realizar una visita técnica al volcán. La comisión estaba formada por él mismo, el catedrático de Historia Natural, Agustín Cabrera Díaz, y el catedrático de Física y Química, José Font y Bosch. En palabras de Cabrera Pinto: "... Realizaron sobre el terreno cuantas observaciones les permitieron los aparatos de que disponía el Instituto...". El informe que elaboraron lo remitieron al

A mediodía, en Garachico continuaban sin conocer el punto exacto del siniestro y, en Buenavista, la población ya estaba siendo atendida. A su vez, el alcalde de Icod solicitaba que ingenieros y soldados fueran a Santiago para prestar auxilios urgentes

Ministerio de Instrucción Pública en Madrid. Cinco días más tarde volvieron al volcán, dirigiendo una excursión con los alumnos del Instituto.

Ese mismo día, el cura párroco de Valle Santiago sugiere que se consulte a los ingenieros para ver si obstaculizando con piedras las corrientes de lava podrían desviarse de este pueblo. También comunica que los vecinos acampaban en Montaña Araza, en Buenavista, y reclaman auxilios urgentes. La respuesta del gobernador civil no se hizo esperar y, a través del alcalde de Icod, comunicó al cura párroco que: "Inmediatamente envió vapor con fuerzas para que les auxilien". A las 22:00 horas zarpó el vapor "San Sebastián" con varias ambulancias de La Laguna y Santa Cruz con destino a Buenavista.

En muchos pueblos de Tenerife se inició una suscripción pública para recaudar fondos en ayuda de las víctimas.

Domingo 21 de noviembre

A las 8:20 horas, el alcalde de Icod envía un nuevo mensaje: "El pueblo regresa sus hogares; se han terminado las explosiones y han cesado temblores. El volcán sigue su curso con cinco bocas abiertas que arrojan gran cantidad de lava. Ésta divídese en dos brazos y el que viene al norte puede bajar al

Tanque". Inmediatamente comunicó que la lava se dirigía a Santiago y amenazaba acelerarse por el declive.

Ponte llega al volcán a las 10:00 de la mañana y observa que el brazo del Valle Santiago está estacionado en las Hoyas de Bilma, rellenándolas y ganando en espesor. Casi a la mitad, se había iniciado un nuevo ramal con dirección al paso de Arguayo. A su vez, el cráter de poniente se había apagado.

A mediodía, en Garachico continuaban sin conocer el punto exacto del siniestro y, en Buenavista, la población ya estaba siendo atendida. A su vez, el alcalde de Icod solicitaba que ingenieros y soldados fueran a Santiago para prestar auxilios urgentes. Se pedía alimentos para los vecinos pobres de la montaña Araza y "fuerza para ayudar al desalojo de habitaciones antes que llegue la lava".

Por la tarde, aprovechando que era domingo, acudieron varias autoridades con sus familias: alcalde de la Orotava, acompañado de su señora, dos hermanas del señor marqués del Sauzal, Luis Larena, esposo de una de ellas, Mariano Estanga, arquitecto de la capital, y Daniel Díaz Cueto, registrador de la propiedad en La Laguna.

Hacia media tarde, los cráteres extremos se habían igualado en actividad; los centrales, ya convertidos en uno con aumento de diámetro, continuaban con sus formidables estampidos y proyecciones irregulares. El conjunto estaba mucho más violento y activo que la víspera, a pesar de la inactividad del cráter del Poniente.

Lunes 22 de noviembre

Antonio de Ponte llegó a las 8 de la mañana y observó que el brazo de Los Partidos estaba paralizado, habiendo recorrido poco trecho durante la noche, si bien ganó en anchura y espesor. También los cráteres aparecían desde allí con igual actividad que la víspera. El ramal de la derecha en Montaña Bilma amenazaba directamente al pueblo de Santiago (Valle Santiago), marchando con alguna rapidez, gran espesor y anchura de 250 metros; sólo le faltaba un kilómetro para el descenso de la pendiente. La distancia a la que se encontraba de Valle Santiago era tan sólo de 3-4 km.

Por el otro lado de Montaña Bilma, el primer ramal marchaba con alguna velocidad; su anchura de 150 metros y su espesor de 8, le faltaban unos 200 metros para la caída, siendo de presumir por la configuración del terreno que pronto se uniría a otro brazo que, más al poniente, caminaba hacia el Pago de Las Manchas que se encuentra a unos 8 km.

Pasadas las 6 de la tarde, la situación del volcán era: el cráter del este y los centrales estaban casi lo mismo que la víspera; en cambio, el del oeste bastante disminuido. Los ríos de lava seguían corriendo, aunque más ocultos por la consolidación de la capa superior. El conjunto con alguna menor intensidad que la noche anterior, iniciándose su decrecimiento. Sin embargo, en el apagado cráter del poniente se notaban, de tiempo en tiempo, expulsiones violentas de humo rojizo y cenizas.

Ese día, el alcalde de Guía solicita al gobernador civil que "procédase inmediatamente a construir por administración carretera de Guía a Playa San Juan". Mientras, la sección de Cruz Roja comunica que "se traslada a los inválidos hasta la zona de la playa". En el volcán se abrió la quinta boca con gran estruendo.

Los pocos conocimientos científicos eran ahogados por el temor, la angustia y el pánico ante los continuos temblores y bramidos subterráneos que retumbaban en toda la comarca del oeste de Tenerife durante estos días.

Según asomaron las primeras coladas sobre Valle Santiago, los aproximadamente mil vecinos que vivían en la zona decidieron abandonar sus hogares y trasladarse a la playa de San Juan, donde se negaban a embarcarse en vista de la lejanía del peligro.

Hacia esta fecha, el temor de la población se convirtió en curiosidad, excepto para los vecinos de Valle Santiago, que aún veían con temor aproximarse la lava por Montaña Bilma. Muchos ciudadanos de la isla querían ir a ver la erupción y subían desde Icod en "romería" a la cumbre del volcán. Las casas navieras, ante tal demanda, organizaron viajes especiales habilitando vapores pequeños. Por el contrario, esos días llegaban a Santa Cruz decenas de evacuados

voluntarios que habían decidido abandonar temporalmente sus casas.

Durante la noche la erupción era visible desde La Gomera y la iluminación desde Gran Canaria y Punta del Hidalgo (Anaga).

Desde Madrid se recibe el anuncio de que el Gobierno ha decidido enviar a la zona un crucero de guerra que permanecerá en las aguas de Canarias el tiempo que duren las circunstancias adversas.

Martes 23 de noviembre

Según el testimonio de Antonio de Ponte, a primera hora de la mañana, la boca del poniente había entrado nuevamente en erupción, expulsando grandes cantidades de lava que se dirigía a la montaña de la Cruz. El extremo del ramal de Santiago marchaba con gran bravura (sic) por el fondo del barranco de los Codesos, cerca del caserío de Las Manchas. La lava sobrepasó las últimas crestas de los bloques anteriores y asomaba ya, precipitándose con gran velocidad por la pendiente del terreno, y se reparte en anchas cintas de fuego (figura 12).

Por la tarde, los cráteres primitivos habían disminuido progresivamente su actividad en relación a las noches anteriores.

Ese día, el jefe de brigada de Buenavista comunicaba que se iban a las montañas cercanas, recogiendo a las familias que deseen marchar a Santa Cruz y prestando auxilio moral y material a los que deciden quedarse. Los campesinos que se fueron a la capital tuvieron que ser atendidos con la ayuda de las autoridades y vecinos, creando un pequeño colapso logístico. También ese mismo día se fueron a Tamaimo, donde eran más urgentes los servicios de auxilio. De allí se marcharon con familias a la playa de Santiago, donde esperaron el vapor.

Ese mismo día zarpó a la zona afectada el vapor "Machrie" a socorrer a las víctimas. Ya en esas fechas, muchos vecinos de la zona se convencieron de que el peligro para los pueblos del norte había pasado y decidieron permanecer cerca de sus casas.

Miércoles 24 de noviembre

A primera hora de la mañana, el cráter de poniente se había apagado. El ramal



Figura 12. Foto de la situación en que quedó el ramal de lava que se dirigía a Las Manchas. Autor: Marcos Brito.

de Los Partidos había aumentado de espesor a unos 17 metros, debido al estancamiento sufrido por los relieves que tenía delante. Tamaimo corría peligro por la dirección que tomaban las lavas.

El alcalde de Buenavista informa de que el vecindario de Valle Santiago y los pueblos de Erjos, Los Partidos de Franquis y Ginovés se han acogido en las fincas Cumbres de Bolico y Arana. Todo el ganado se encuentra reconcentrado y, como es natural, sus dueños no los quieren abandonar. Este día zarpó el vapor "Esperancilla" con sacos de arroz, patatas, pescado salado, tocino y otros alimentos.

Por la noche, aparecía el cráter del poniente completamente apagado y los tres primitivos arrojando lava con pocos piroclastos y ruido. Las bocas estaban en correlación, pues cuando aumentaba la actividad de una, disminuía la de las otras, lo cual se venía viendo en observaciones anteriores. La lava circulaba de un modo discontinuo y en distinta dirección, dependiendo de la actividad de la boca de la que procedía cada ramal, por lo que, en los extremos de éstos, y en diferentes puntos, se producía gran consolidación de materiales que ofrecían resistencia a los nuevos impulsos lávicos, retrasando su marcha y salvándose así los poblados de Las Manchas, Santiago y Tamaimo. La actividad del volcán estaba reducida a una tercera parte.

Jueves 25 de noviembre

A primera hora de la mañana, el ramal de Los Partidos continuaba activo, rellenando la depresión que hay en la base de la montaña de la Cruz. Hacia las 2 de la tarde, la lava desbordó la depresión. El cura de Valle Santiago agradece los víveres enviados en auxilio de las gentes.

Ya por la noche los cráteres del oeste y central arrojaban una gran columna de humo negro con proyecciones lávicas de tarde en tarde; el del Naciente estaba muy disminuido y el conjunto reducido a su mitad con relación a la víspera. Antonio de Ponte pronosticaba que la erupción estaba apagándose y que no le quedaba más de dos días.

Este día, a las 9 de la noche, salieron desde Laguna la excursión terrestre organizada por el director del Instituto General y Técnico de Canarias, Alfonso Cabrera Pinto, compuesta por 86 personas entre profesores y alumnos, acoplados en unos 20 coches, a los que acompañaban dos médicos y una ambulancia. Entre los profesores se encontraba el catedrático de Historia Natural y discípulo de Fernández Navarro, Agustín Cabrera Díaz (figura 13), que acababa de ser nombrado catedrático de dicha asignatura. La excursión se convirtió en una clase práctica de geología y otras ciencias, donde los profesores explicaban a los alumnos las ideas básicas de la corteza terrestre y del vulcanismo.

Agustín Cabrera Díaz (1878-1961)

Fue el primer canario que ocupó la Cátedra de Historia Natural del Instituto General y Técnico de Canarias. En ella permaneció como titular desde 1909 hasta 1948. Su dedicación al Gabinete fue vital para su crecimiento y mantenimiento del Gabinete de Historia Natural, realizando importantes y variadas adquisiciones de materiales de las distintas colecciones.

Viernes 26 de noviembre

A las 7 de la mañana llegó a Icod la excursión del Instituto de La Laguna, con su director al frente. La subida al volcán la hicieron en caballerías desde la plaza de la Constitución del mismo pueblo.

Por la mañana, el ramal de lava que amenazaba Los Partidos había avanzado muy poco en relación a la superficie



Figura 13. Retrato de Agustín Cabrera. Autor: Mariano de Cossío. Óleo/lienzo, 110 x 89 cm. Hacia 1945. Colección Instituto Canarias Cabrera Pinto, La Laguna. Tenerife.



Figura 14. Explosión semivolcaniana al final de la erupción.

de la hondonada de la base de la montaña de la Cruz. Los cráteres sólo arrojaban humo blanco con pequeños espasmos de lava. A las 12 del mediodía, ya casi no había actividad. Pero las ayudas seguían llegando. El director comisionado de Cruz Roja comunica desde Icod que: "Ayer salió embarcación de Puerto Santiago. Hoy me comunican que han llegado víveres a Tamaimo".

La cantidad de visitantes, curiosos y autoridades que acudían para ver el fenómeno era incesante, desbordando la capacidad del pueblo para atenderles. Incluso las colonias inglesa y alemana de la isla organizaban también excursiones al volcán; algunos iban hasta con aparatos.

Sábado 27 de noviembre. Empieza el final de la erupción

El decrecimiento de la actividad volcánica comenzó el 27 de noviembre y todos preveían que la erupción llegaba a su final, aunque no todos los observadores

opinaban igual. Todavía el volcán producía explosiones espasmódicas de tipo semivolcaniana (figura 14). Un comunicado urgente del gobernador civil al delegado del Gobierno en Las Palmas y a los alcaldes con comunicación telegráfica y telefónica decía: "Tengo muchísimo gusto en comunicarles que la erupción volcánica disminuye notablemente su extensión y el cráter sólo despidе humo. En los pueblos se ve renacer la calma y aumentan las familias que vuelven a sus hogares".

El alcalde de Icod explicaba que: "Por lo que me aseguran, el fenómeno ha decrecido mucho. Según lo que observé desde la Montaña las Flores, todos los brazos principales se dirigen sobre Valle Santiago, al que considero amenazado a pesar del decrecimiento referido". El edil desechaba que el volcán estuviera apagándose: "... pues a las cinco de la tarde empezó a arrojar grandes cantidades de lava, aumentando considerablemente hasta las siete de la tarde en que me retiré de la Corredera de Chasna y me aseguran que la corriente de lava que se dirige a El Tanque tiene un aumento considerable". Por contra, el sargento de la Guardia Civil en Valle de Santiago decía a las 19:00 horas que: "La erupción está extinguiéndose. Uno de los cráteres arroja humo en pequeña cantidad y los demás están apagados. La lava está estacionada y los habitantes de la villa pernoctan hoy en sus casas". El alcalde de Icod se sumó a la buena nueva: "Me satisface participar a V.E. que las últimas noticias son de que la erupción parece que toca a su término, arrojando humo sólo uno de los cráteres. Los demás se creen apagados". También comunica al gobernador las noticias que traía Antonio de Ponte del lugar de la erupción: "El señor Ponte, que acaba de llegar lugar suceso me dice lo siguiente: 'Reconocido cráter anoche continúa despidiendo solamente humos cada hora próximamente pequeñas cantidades fuego por lo cual considera terminado fenómeno sísmico, según había previsto con anterioridad quedando por tanto salvado todo peligro región...'"

El ayudante de Obras Públicas dirige al gobernador este día un telegrama desde Garachico, diciendo: "Parece haber

Fue muy notable el servicio prestado por las dotaciones de la Cruz Roja al vecindario de los pueblos afectados por la erupción. En aquellos tiempos, la Cruz Roja tenía 94 hombres entre jefes, oficiales y otro personal; 21 individuos de ella se trasladaron al lugar de la catástrofe



Figura 15. Fumarolas en el cráter.

terminado totalmente la erupción. Desde primeras horas hoy 27 cesó la lava, quedando paralizados todos los brazos”.

Domingo 28 de noviembre

Prácticamente, la actividad del volcán se había terminado. Sólo permanecían fumarolas en el cráter como testigos últimos de la erupción (figura 15).

El alcalde de Garachico explicaba: “El cráter continuaba anoche despidiendo cada hora pequeñas cantidades de fuego, por lo cual se considera terminado el fenómeno sísmico”. Era la boca más meridional la que todavía quedaba semiactiva.

Ya con el volcán inactivo, aunque con las lavas calientes, el gobernador envía al Gobierno en Madrid la noticia del cese de la actividad diciendo: “Icod 28, 16:50. En vista de la mayor normalidad y creyendo innecesaria la fuerza de la Guardia Civil que había enviado á los poblados con motivo de las erupciones volcánicas, he ordenado que vuelva á sus puestos. El capitán general regresará hoy á la capital. Acabo de llegar á este puerto (Garachico) que está completamente en su vida normal, lo mismo que al pasar por Icod. La animación en las familias que regresan

á sus casas es grande. Por las noticias que me da de la erupción el doctor Ponte, puede darse por terminado el fenómeno, habiéndose paralizado todos sus brazos por carencia de lava. Subo al lugar de la erupción en unión del ingeniero y á mi regreso comunicaré detalles. El capitán general debe llegar hoy á este puerto”.

Martes 30 de noviembre. Una parte de los auxilios regresan a sus bases

El 30 de noviembre, una vez confirmado el cese de la actividad volcánica, la Brigada de la Cruz Roja comenzó su regreso a su base. Fue muy notable el servicio prestado por las dotaciones de la Cruz Roja al vecindario de los pueblos afectados por la erupción. En aquellos tiempos, la Cruz Roja tenía 94 hombres entre jefes, oficiales y otro personal; 21 individuos de ella se trasladaron al lugar de la catástrofe a las 10 de la noche del día de la erupción. Partieron del muelle de Santa Cruz, embarcando inmediatamente en el vapor “Guanche” con dirección al muelle de San Marcos en Icod, cerca de Garachico. En la zona de la catástrofe realizaron muy buenos servicios y favorecieron al vecindario en el traslado de enfermos y ancianos impedidos que necesitaban el auxilio inmediato, así como

atención sanitaria a varios de los excursionistas y visitantes que se accidentaron en el lugar.

El ejército también realizó importantes trabajos de apoyo logístico y a los damnificados por la erupción. Ordenaba la circulación hacia el volcán y la seguridad de la zona. Evacuaba a la población, llevaba alimentos e, inclusive, realizó un mapa esquemático de la erupción (figuras 16 y 17).

A modo de resumen

De las cinco bocas que llegó a tener la erupción (para algunos testigos llegaron a ser seis), al final se quedaron activas sólo tres. El “cráter” tiene un borde superior polilobulado, indicativo de las diversas bocas que fueron surgiendo y que se iban agregando y yuxtaponiéndose linealmente. El brazo de lava más lejano llegó a la zona de Las Manchas y, el día 27 de noviembre de 1909, se paró prácticamente el avance de todos los ríos de tierra fundida. Después quedaron algunas fumarolas y todo fue volviendo a la normalidad. En ningún momento el Teide dio signos de actividad.

Los materiales emitidos fueron todos coladas de tipo “aa” y nunca salieron



Figura 16. Mapa de situación del volcán Chinyero. Fuente: Archivo Intermedio Militar, Tenerife.



Figura 17. Mapa esquemático de la erupción. Fuente: Archivo Intermedio Militar, Tenerife.

coladas tipo "pahoehoe" o cordadas. La composición de las lavas fue muy homogénea, siempre eran basaltos piroxénicos plagioclásicos, con fenocristales mayores de augita y plagioclasa y menores de olivino con texturas esqueléticas (Cabrera Lagunilla, 1981). La matriz es criptocristalina con zonas puntuales vítreas. Solamente en una zona surgieron (no se

sabe en qué momento de la erupción) basaltos anfíbólicos con anfíboles marrones totalmente reabsorbidos. Más detalles petrográficos y geoquímicos se encuentran en Cabrera Lagunilla (1981).

Hay que mencionar en este punto que todas las erupciones históricas de Tenerife fueron siempre basálticas.

Las pérdidas materiales de esta catástrofe consistieron en la inutilización de un terreno poco productivo perteneciente al Estado, por el enterramiento ocasionado por la caída de los piroclastos (figura 18). Los vecinos del Valle y de Las Manchas sembraban estas pequeñas parcelas de centeno, pagando por él un pequeño canon.

Pasada la erupción llegan los científicos al volcán

La última erupción en Canarias anterior a la del Chinyero fue la de 1824 en Lanzarote, 85 años antes. En aquellos tiempos no había en España científicos con conocimientos vulcanológicos capaces de realizar un informe científico. Lo más cercano a algo parecido a un geólogo eran los naturalistas del Real Museo de Ciencias Naturales (hoy Museo Nacional de Ciencias Naturales) pero que no pasaban por sus mejores momentos políticos ni tenían experiencia geológica. Tampoco los precedentes del actual Instituto Geológico y Minero de España estaban establecidos, ni los de los centros universitarios, tal y como los concebimos hoy. Ante este panorama, la erupción de Lanzarote de 1824 solamente se quedó documentada por algunas autoridades locales (sobre todo por el cura párroco) y por los habitantes que fueron testigos presenciales.

En la erupción del Chinyero, la cuestión había cambiado un poco. Al iniciarse el siglo XX, la ciencia española, que ya había sembrado su semilla, se encontraba en un marcado estado de latencia. La tradicional escasez de recursos públicos, el escaso desarrollo económico del país y de las estructuras universitarias hacían casi inviable la investigación científica. A pesar de todo, la ciencia en España encontrará algunos senderos esperanzadores. Una primera respuesta concreta vino de la mano de la creación en 1900 del Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes y, por lo que respecta a la ciencia, la fundación, en 1907, de la Junta de Ampliación de Estudios, que marcó sin duda un antes y un después en la historia de la ciencia española. Comenzaba lo que se ha

Lucas Fernández Navarro (1869-1930)*

Nace en Guadalajara, donde su padre era catedrático de Matemáticas en el instituto de la provincia. Estudió brillantemente el Bachillerato en dicho centro. Se trasladó a Madrid para estudiar Ciencias Naturales en la Universidad Central. En 1890, sin terminar aún la carrera, entró a trabajar en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, junto a Francisco Quiroga, en las colecciones de mineralogía. Al año siguiente se licenció en la universidad y en 1893 obtiene su doctorado. En 1898 saca por oposición la Cátedra de Historia Natural del Instituto de Almería que permuta en 1900 por la de Soria. A finales de 1901 se le destina en Comisión de Servicio al Museo de Ciencias para el arreglo de sus colecciones mineralógicas bajo la dirección del insigne geólogo Salvador Calderón. En el año 1902 es nombrado, por oposición, catedrático de Cristalografía de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central. Su primera visita a un terreno volcánico se produce en 1904, cuando estudia el vulcanismo de Olot. Al año siguiente, se va a estudiar las regiones volcánicas de Melilla, Chafarinas e isla de Alborán. En el verano de 1906 trabajó en la isla de El Hierro y estuvo de visita en La Gomera, Gran Canaria, Tenerife y La Palma. En el año 1907 estudió el volcán de Cofrentes. En el año 1909 vuelve al norte de Marruecos oriental. El Ministerio de Instrucción Pública le pensionó en 1911 para estudiar Petrografía y Vulcanología en Francia, con Lacroix, en el Museo de París, y con Duparc en Ginebra e Italia. Ese mismo año, al morir Salvador Calderón, desempeña, por acumulación, la Cátedra de Mineralogía descriptiva de la Universidad Central. En 1920 asciende a jefe de la Sección de Mineralogía del Museo Nacional de Ciencias Naturales. En 1922, el Ministerio de Instrucción Pública le nombró delegado para el XIII Congreso Geológico Internacional de Bruselas. En 1923 es elegido académico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Desde el año 1923 al 1926 siguió viajando a Canarias para estudiar las islas de Tenerife, Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura, preparando la excursión del XIV Congreso Geológico Internacional del año 1926 que se celebró en Madrid y de la que fue miembro de la organización. En 1924 fue nombrado vicepresidente de la Sección de Vulcanología de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica. En 1927 se le nombra presidente de la Real Sociedad Española de Historia Natural. En 1928 se le declaró una enfermedad degenerativa que le afectaba al cerebro. En octubre de 1930, a las seis y media de la tarde, falleció en Madrid a consecuencia de una parálisis general progresiva. Fernández Navarro también fue un gran especialista en Hidrogeología y en el estudio de meteoritos.

* Datos tomados de Barrera (en preparación).

llamado históricamente la “Edad de Plata de la ciencia española”.

En 1909, el desarrollo geológico español, aunque modesto, ya comenzaba a sentar las bases de un cuerpo de profesores



Figura 18. Árbol enterrado por la caída de piroclastos.



Figura 19. Fotografía del vulcanólogo español Lucas Fernández Navarro.



Figura 20. Fotografía del vulcanólogo norteamericano Frank A. Perret.

universitarios algo más especializados. En el campo de la geología, los geólogos de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central (Madrid) y el Museo Nacional de Ciencias Naturales —instituciones íntimamente relacionadas en lo docente y en la investigación— ya tenían una preparación más específica para abordar algunos acontecimientos puntuales. Casualmente, entre el pequeño grupo de geólogos de la universidad había uno que ya tenía alguna experiencia en vulcanología: el profesor Lucas Fernández

Navarro (1869-1935) (figura 19). Fernández Navarro no fue el único científico que acudió a Tenerife para estudiar la erupción. A título particular, el científico norteamericano Frank A. Perret (1867-1943) (figura 20), un físico reconvertido a vulcanólogo en 1904, también realizó observaciones en el Chinyero. En aquel momento, Perret, que estaba en contacto con la Carnegie Institution de Washington para instalar un observatorio vulcanológico en Hawái, pero seguía en Italia, ya tenía algunas

experiencias vulcanológicas adquiridas en Italia. Había llegado a Nápoles en 1904 y, por su afición a los volcanes, mantenía una relación muy estrecha con el director del Observatorio del Monte Vesubiano, el profesor Matteucci. De él aprendió muchos aspectos vulcanológicos y, en cambio, Perret le enseñó conocimientos de física que podían aplicarse a la predicción vulcanológica. Ambos se complementaban muy bien y formaban un buen equipo de vulcanólogos. Perret estaba en Nápoles cuando entró en erupción el Vesubio en 1906. De hecho, con sus aparatos físicos predijo la erupción, lo que asombró a Matteucci. Hizo un estudio tan minucioso y detallado del acontecimiento que llamó la atención en el mundo de la vulcanología internacional y le sirvió para adquirir un gran prestigio científico.

Fernández Navarro y Perret eran dos científicos que se complementaban. Fernández Navarro era más geólogo-petrologo. Nunca había estado en una erupción (y en la del Chinyero tampoco llegó a tiempo) pero conocía varios dominios volcánicos como Olot (Gerona), Melilla, las islas Chafarinas, la isla de Alborán y varias islas canarias. También era uno de los pocos geólogos españoles que sabía petrografía, lo que le facultaba para estudiar al microscopio la composición mineralógica de las lavas. Casualmente, con motivo de la erupción del Vesubio de 1906, escribió un artículo titulado "El Vesubio. Erupciones del periodo histórico. El Vesubio actual: sus materiales. Explicación moderna del volcanismo", con el que trataba de llamar la atención sobre el riesgo volcánico a la vez que ampliaba —aunque fuera bibliográficamente— sus conocimientos vulcanológicos.

Por su parte, Perret, sólo dos años mayor que Fernández Navarro, tenía una sólida formación física que este último no poseía; entendía el volcán como un puro aparato físico, interesándole mucho todos los aspectos físicos relacionados con una erupción, como los terremotos, las temperaturas y todo parámetro físico que afectara al movimiento y expulsión del magma. Su experiencia vulcanológica era

Frank A. Perret (1867 -1943)

Ingeniero eléctrico e inventor, se dedicó tardíamente a la vulcanología. Sus estudios en el Vesuvio, Etna, Estrómboli, Kilauea y Sakurashima le hicieron muy conocido entre la comunidad científica internacional y un referente en temas de vulcanismo. Su contribución a la vulcanología ayudó mucho a su desarrollo durante el siglo XX.

Perret era un hombre complicado y solitario, que nunca se casó. En 1886 estudió Física en el Instituto Politécnico de Brooklyn. Un año antes había acudido intermitentemente al laboratorio de T. Edison. Su primera actividad profesional estuvo relacionada con el desarrollo de instrumentación eléctrica para aplicaciones industriales en la *Elektron Manufacturing Company*. Luego fue cofundador de una empresa especializada en motores eléctricos y dínamos e inventó un motor eléctrico.

En 1902 sufrió problemas nerviosos por estrés que le hicieron abandonar el trabajo. En mayo de ese mismo año, la erupción del Mt. Pelee le dejó tan impresionado que comenzó su interés por la vulcanología. Dejó la compañía y, en diciembre de 1903, se trasladó a la bahía de Nápoles para recuperarse. Lo primero que hacía al despertarse era subir al Vesubio. Allí conoció al director del observatorio vesuviano, el geólogo Rafael V. Matteucci, un entusiasta del Vesubio que trabajó en estrecha colaboración con él y del que aprendió mucha vulcanología. Con las observaciones sistemáticas que hizo realizó un patrón de comportamiento del volcán que le sirvió para predecir la erupción de 1906. Su monografía sobre esa erupción fue "la más gráfica y completa que hasta ese momento, y años posteriores, se publicó sobre ninguna erupción volcánica".

En 1909, Perret, Jaggar, del MIT, y el profesor Daly, de Harvard, visitaron el Kilauea con la intención de instalar un observatorio permanente. En 1911, Jaggar y Perret establecieron la primera estación en el borde del cráter del Halema'uma'u.

Su experiencia en vulcanología no pasó desapercibida y, así, a comienzos de la década de los años 10, Day, director del *Geophysical Laboratory* de Washington, expresó su interés en incorporarle como colaborador. Aunque nunca fue miembro del *staff* del Laboratorio, Perret permaneció en contacto con él hasta su fallecimiento.

Perret llegó a Martinica en 1930, durante la erupción del Mt. Pelee entre 1929-1932. Su diagnóstico y seguimiento de la crisis contribuyeron a informar a la población en cada momento. Perret estuvo cerca de diez años en Saint-Pierre, donde fue muy querido, y donde construyó, en 1932, un museo vulcanológico como regalo a la población.

Perret volvió definitivamente a los Estados Unidos en 1940, donde falleció en 1943 mientras preparaba un nuevo libro sobre volcanes. El libro fue finalizado por otros investigadores y lleva por título *Volcanological Observations*.

Mildred Giblin comentó el trabajo de Perret diciendo: "Las contribuciones de Perret son únicas en lo que respecta a que ningún otro vulcanólogo tuvo el tiempo y la oportunidad para hacer tantas rigurosas y variadas observaciones sobre muchos tipos diferentes de volcanes en actividad".

ya amplia, pues había aprendido mucho en sus investigaciones durante la erupción del Vesubio, en 1906, y en sus excursiones al Etna y a las islas Eolias.

De manera casual, otros científicos, como el meteorólogo alemán Dr. Robert Wenger, llegaban en noviembre de 1909, unos días antes de la erupción, para responsabilizarse de los trabajos de instalación del observatorio meteorológico alemán en La Cañada de la Grieta. Wegner, que llegó a ser el director del Instituto Geofísico de Leipzig, ascendió al Chinyero el 26 de noviembre acompañado de Óscar Moritz. No consta que realizara algún informe técnico del Chinyero.

El estudio de Fernández Navarro

El 25 de noviembre de 1909, cuando el volcán estaba aún en erupción, el

Ministerio de Instrucción Pública le designa, a propuesta del director del Museo de Ciencias Naturales, Ignacio Bolívar, y según lo informado por la JAE, para que estudie la erupción.

Textualmente, la Real orden decía, entre otras cosas: "... S. M. el Rey ha tenido a bien designar al catedrático de la Universidad Central, D. Lucas Fernández Navarro, para que estudie la erupción volcánica del Teide (sic), recoja materiales mineralógicos y geológicos, y obtenga las fotografías que juzgue necesarias en aquella región percibiendo por ese servicio la subvención de dos mil pesetas" (ACN0281/14). En aquellos momentos, Fernández Navarro era el catedrático de Cristalografía de la Universidad Central y, aunque se hizo todo lo posible por acortar los trámites administrativos, Lucas llegó a la isla

Ángel del Campo Cerdán (1881-1944)

Nació en 1881 en Cuenca, hijo único de un ingeniero agrónomo catedrático de Agricultura en el Instituto de Segunda Enseñanza de la ciudad. Su padre falleció poco antes de cumplir los cinco años. El hecho de no tener hermanos y vivir sólo con su madre hizo de él un niño solitario e introvertido. En 1895 obtuvo el título de Bachiller con Premio Extraordinario en el Instituto de Cuenca.

En 1901 obtuvo su grado de licenciado en Ciencias, sección de Físico-Químicas, en la Universidad Central. Ese mismo año comienza a dar clases como profesor de Física General y, años más tarde, de Química General.

En 1904 se convierte en socio fundador de la Sociedad Española de Física y Química. En 1906 se doctora en Ciencias Físicoquímicas y, al año siguiente, es nombrado auxiliar interino del catedrático Juan Fagés y Virgili. En 1908, la Junta de Ampliación de Estudios le beca para ampliar estudios en París sobre espectros de absorción y se convierte en una primera autoridad española en el análisis químico mediante métodos espectroscópicos. En 1911 es pensionado de nuevo para estudiar espectroquímica en París y en Lieja. En 1912 crea la Escuela Española de Espectroscopia. Fue el descubridor de platino en minerales en la sierra de Ronda y de germanio en blendas en los Picos de Europa. En 1915 obtiene por oposición el título de catedrático numerario de Análisis Químico General y Especial de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central. En 1924 fue delegado español en el Congreso de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, celebrado en Copenhague.

En 1925 el Gobierno le nombra vocal de la comisión que debe llevar a cabo la construcción de un edificio destinado al Instituto de Física y Química, que es costeado por el International Education Board de la Fundación Rockefeller.

En 1927 ingresa en el Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. En uno de los congresos a los que asistió en París como representante español, el Gobierno francés le otorga la credencial y la insignia de la Legión de Honor.

Aunque el Gobierno republicano le sugiere exiliarse, prefiere quedarse en Madrid. Colaborador científico de la Segunda República española, tras la guerra civil fue depurado y posteriormente rehabilitado.

En 1940 acumula las cátedras de Química Analítica y Análisis Químico. En 1942 es nombrado vicedecano de la Facultad de Ciencias.

Finalmente, en 1944, Ángel del Campo fallece en Madrid.

de Tenerife cuando ya se había terminado la erupción.

Fernández Navarro desembarcó en Santa Cruz el 4 de diciembre, seis días después



Figura 21. Borrador del mapa geológico que realizó Fernández Navarro de la erupción del Chinyero.

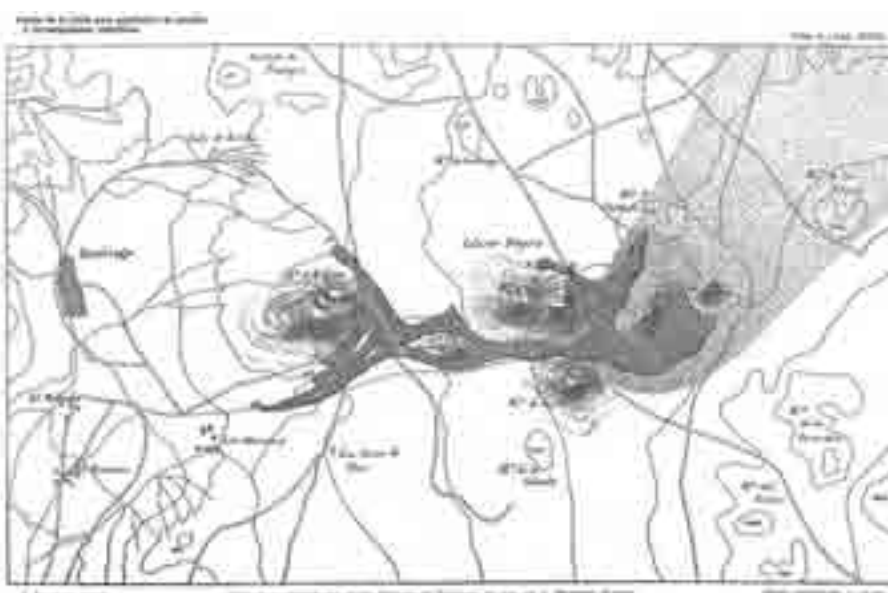


Figura 22. Mapa delineado y completado del borrador de la figura 21.

de que finalizara la fase más activa de la erupción. La prensa local se hizo eco de la llegada diciendo: "En el vapor correo 'Reina Victoria' llegó ayer el ilustre catedrático de Cristología (sic) de la Universidad Central, D. Lucas Fernández Navarro, encargado por el Ministerio de Instrucción Pública de estudiar sobre el terreno la naturaleza y efectos del volcán abierto en la montaña de Chinyero". También la prensa citó una carta que Fernández Navarro había enviado al catedrático de Historia Natural del Instituto de Canarias, Agustín Cabrera, solicitando su concurso como naturalista y conocedor del país y pidiéndole que reuniera al efecto todos los datos, observaciones y fotografías obtenidas.

En Santa Cruz le recogió precisamente su antiguo discípulo, Agustín Cabrera, que le acompañó en todas sus excursiones. Al llegar, las autoridades de Tenerife le dieron todas las facilidades logísticas para sus observaciones, al igual que lo hicieron los alcaldes de Garachico e Icod. Su presencia fue muy valiosa, pues Cabrera había estado dos veces en el volcán durante la erupción (primero en la visita técnica y luego con los alumnos), y de él recogió muchos testimonios de la misma. Como la erupción había concluido, se detuvo un día en hacer los preparativos de la excursión antes de ir a Garachico, donde instaló su base durante los siete días siguientes.



Figura 23. Microfotografías de los basaltos emitidos.

Fernández Navarro subía muy temprano al volcán y permanecía allí unas seis o siete horas haciendo mediciones. Posteriormente se trasladó a Los Partidos de Franqui para cartografiar las lenguas de lava que no había podido ver desde su otra localización. Allí permaneció tres días y se acercó a Los Silos donde se decía había ocurrido una erupción submarina que no consideró cierta; luego regresó por Garachico a Icod, donde hizo todo el embalaje del material (378 kg de rocas). Desde allí salió para Santa Cruz con destino a la Península. Su estancia se prolongó hasta el 1 de enero, aprovechando el viaje para hacer excursiones por Anaga, los Chupaderos y la cumbre de los Barriales, acompañado por su amigo Agustín Cabrera Díaz. La llegada a Madrid fue el 5 de enero de 1910 (Barrera, en prep.).

Al no poder asistir a la fase activa de la erupción, Lucas tuvo que conformarse con recoger las manifestaciones de los testigos presenciales, entre ellos la de Agustín Cabrera. Fernández Navarro analizó la fase residual, cartografió las lenguas de lava y los conos de piroclastos (figuras 21 y 22) y muestreó los materiales emitidos.

La repercusión que tuvo en el mundo científico esta erupción fue muy grande. El 5 de febrero, sólo un mes después de su llegada de Tenerife, Lucas dio una conferencia ante la Real Sociedad Española de Historia Natural (RSEHN) (Fernández Navarro, 1910) en la que expuso sucintamente los primeros resultados de su investigación, mientras terminaba el estudio completo. La memoria de la erupción se publicó en 1911 (Fernández Navarro, 1911) (figura 6) y en ella se describieron perfectamente, y de manera cronológica, toda la evolución dinámica y los fenómenos de la misma, desde los precursores sísmicos hasta el recorrido y características de las lavas. También se reflejaron todos los parámetros físicos y químicos propios de una erupción volcánica como la temperatura, la dirección de los vientos, las fumarolas, etc., incluyendo, igualmente, una caracterización petrológica de los materiales emitidos, ilustrados con fotografías microscópicas de las muestras más representativas (figura 23). También incorporó el concepto de “periodo de retorno” aplicable a las erupciones volcánicas canarias, realizando la tabla de erupciones históricas y calculando aproximadamente cuál era el tiempo medio transcurrido entre ellas. A pesar de esta iniciativa, y en honor al rigor científico, ni siquiera ahora, que el registro ha incorporado dos más (las erupciones de 1949 y 1971 de la isla de La Palma), hay erupciones suficientes para hacer un cálculo realista del periodo de retorno.

El estudio que hizo Fernández Navarro de la erupción del Chinyero fue ejemplar. Incluso tomó muestras de los sublimados blancos de las fumarolas que analizó su joven amigo el químico Ángel del Campo y Cerdán que, en aquellas fechas, era auxiliar de Análisis Químicos en la Universidad Central. Del Campo no comenzó a analizar las muestras hasta abril de 1911, cuando estaba trabajando sobre espectroquímica en el Laboratorio de

Investigaciones Físicas. Los resultados, con las técnicas existentes, no fueron todo lo completos que esperaban los geólogos, según manifestó él mismo (Del Campo, 1912). Por esa razón, al comenzar el verano de 1912, Ángel del Campo recogió más muestras que guardaba Fernández Navarro en el Museo de Ciencias Naturales e hizo un análisis más completo que publicó ese año. Era la primera vez que se analizaban estos productos volcánicos en España. El informe de Fernández Navarro fue el primer informe científico de una erupción volcánica en Canarias.

Resulta sorprendente que, estando en la isla los mismos días que estaba Perret, no haga ningún tipo de mención a una posible colaboración en la recogida de información. ¿Nadie le informó de su presencia? Un norteamericano cogiendo piedras y midiendo temperaturas en el Chinyero no podía pasar desapercibido para ningún vecino o autoridad. Pero debió de ser así, ya que en su relato de la erupción (Fernández Navarro, 1911) dice textualmente: “... Además de las noticias de una porción de personas que no puedo enumerar, me han servido, sobre todo, los datos de mi compañero de excursión, Sr. Cabrera, único naturalista que visitó el volcán en su periodo activo, los días 20 y 26”. Sin embargo, se contradice cuando, en el mismo trabajo, hace mención a él.

El estudio de Perret

Perret viajó a Tenerife desde Italia. Hasta ese momento, sus conocimientos vulcanológicos estaban centrados principalmente en el Vesubio y en algunas excursiones a las islas Eólicas (Estrómboli y Vulcano) y al Etna, todo un vulcanismo de un marco geodinámico muy diferente al de una isla oceánica como Tenerife.

Perret salió de Nápoles el 26 de noviembre hacia Algeciras y de allí a Cádiz. En el puerto gaditano embarcó hacia Tenerife, donde llegó el 4 de diciembre, el mismo día que llegó Fernández Navarro. La prensa local se hizo eco de su estancia, aunque hasta el día 13 de enero no publicó la noticia, añadiendo la información de que un periódico francés, al enterarse de la

presencia del geólogo americano, le había requerido para que informara de los resultados de su investigación.

Nada más llegar a Tenerife, se dirigió a Icod de los Vinos, base de la ascensión al volcán. En la isla recibió las atenciones del cónsul americano Solomon Berliner, que estaba destinado en Tenerife desde 1898.

Los estudios que realizó Perret del Chinyero los publicó en 1914 (Perret, 1914), recogiendo información de las publicaciones previas de Fernández Navarro y de las autoridades locales.

La primera visita que Perret hizo al volcán fue el 5 de diciembre, cuando la lava ya no corría pero estaba incandescente. Lo primero que observó al llegar al volcán fue que la fisura de salida de la erupción estaba perfectamente alineada con la del volcán Chahorra, la última erupción que se había producido en la zona, en 1798. También señaló que, como es normal en las erupciones fisurales en zonas de ladera, la erupción progresó de arriba hacia abajo. Cuando se acercó a las lavas cercanas al cráter vio que estaban aún incandescentes aunque no fluían. Introdujo un pirómetro y las temperaturas que leyó estaban entre 750 y 860 °C, suponiendo que este calor no se debía a la mera conducción, sino a la obstrucción de los gases. Para demostrarlo, limpió una de las fisuras obstruidas con una barra y los gases salieron; rápidamente la temperatura descendió. Calculó que la velocidad media de las lavas había sido de 19 m/s. También observó que, aunque en el momento de salida las lavas tenían aspecto pahoehoe, durante su desplazamiento se rompían y adoptaban un sorprendente y llamativo carácter escoriáceo (lavas aa) que, según manifestó, nunca antes había visto (lógicamente, este tipo de coladas no se producen en el Vesubio, por lo que no las había visto antes). Estimó que habían salido 15 millones de m³ de lava esparcidos por una superficie de 2.150 millones de m². Las fumarolas acompañantes a la erupción las dividió en dos tipos: primarias y secundarias. Las primeras se encuentran asociadas a los canales eruptivos, mientras que las segundas aparecen alejadas de ellos.

El turismo de la isla, mayoritariamente inglés, se retrajo ante las noticias tan alarmistas que daban los periódicos ingleses en su país sin una información exacta del riesgo existente

Después de estudiar la erupción e incorporar el relato (parece que cierto, aunque no comprobado) de que en la costa se había producido una erupción submarina, Perret llegó a la conclusión de que la erupción había sido sólo una pequeña manifestación de la gran cantidad de magma que debía de haber debajo de la zona. Esta predicción parece muy acertada porque, desde aquel año y actualmente, los epicentros de los sismos en la isla de Tenerife se producen precisamente en esa área. La conclusión más importante a la que llegó Perret iba en esa dirección, la de definir la erupción como una erupción subterránea de gran extensión con poderosos y profundos efectos explosivos que, probablemente, descargaron gran cantidad de magma dentro de fisuras, las cuales actuaron de "cámara reductora".

Los efectos de la erupción

Daños producidos

La erupción del Chinyero no produjo víctimas mortales. Solamente algunos animales pequeños, como perros, fueron víctimas mortales de los gases. Las lavas destruyeron una parte del bosque y monte bajo, pero ninguna casa quedó afectada, aunque la huida de los vecinos provocó que se abandonara el campo por un tiempo. Se quemaron algunas huertas y, puntualmente, se perdieron cepas y plataneros; también se secaron fuentes. Los daños, siempre menores, fueron provocados por las cenizas que sepultaron tierra vegetal y llegaron hasta el valle de La Orotava, empobreciendo a muchos labradores al no permitirles cultivar sus parcelas.

Impacto social

La erupción produjo un gran impacto en la población de Tenerife y en los visitantes extranjeros. En Europa se publicaron noticias demasiado catastrofistas sobre la erupción, lo que causó una ligera alarma en varios países. El turismo de la isla, mayoritariamente inglés, se retrajo ante las noticias tan alarmistas que daban los periódicos ingleses en su país sin una información exacta del riesgo existente. Para calmar a los visitantes, los principales hoteles del Puerto de la Cruz mandaron mensajes de tranquilidad. A pesar de ello, no se consiguió calmar a los visitantes y, al año siguiente, el número de turistas provenientes de Europa descendió.

Ayudas a los damnificados

Además de las ayudas sociales dadas por las autoridades de la isla, el Gobierno de la nación, previa aprobación del Consejo de Ministros, dio 25.000 pesetas para ayudas de los damnificados. Esta ayuda la propuso el Ministerio de Hacienda y fue computada en el Ministerio de la Gobernación (*Gaceta de Madrid*, 1909). También se comenzó un plan de infraestructuras, ejecutado por Administración, para dar empleo a las personas damnificadas. Igualmente, el Gobierno acordó pagar las cuentas pendientes con las casas navieras y almacenes de víveres que habían atendido las necesidades urgentes de la población.

Los fenómenos posteruptivos

Terminada la fase paroxismal de la erupción, el Chinyero continuó varias semanas con una actividad menor. El 1 de diciembre, los cráteres estaban apagados y la lava estaba aún caliente.

La sismicidad continuaba en toda la zona comprendida entre Guía e Icod, a veces con bastante intensidad, como los días 11, 14, 17 y 18 de diciembre. La salida de gases en las fumarolas fue decreciendo poco a poco, pero aún, a finales de diciembre, continuaban emanaciones menores en el interior del cráter (*figuras 24 y 25*). Incluso se veían pequeñas explosiones que lanzaban los lapillis al aire a consecuencia, como muy bien observó Perret, de gases



Figuras 24 y 25. Arriba, fumarolas residuales en la parte alta del cráter. Abajo, detalle de la figura 24.

atrapados debajo de los materiales volcánicos. Durante los meses de enero, febrero y marzo, estos terremotos fueron cortos y repentinos sin temores previos, acompañados por un sonido como una explosión aguda.

Se hablaba también de resplandores nocturnos en la zona del volcán que continuaban aún en marzo de 1910

asociados con algunos temblores que se sintieron, aunque Fernández Navarro no pudo comprobar dicha afirmación a través de sus contactos en la isla. Desde Guía se escribía que por los cráteres salían columnas de humo y se sentían pequeños temblores.

Fernández Navarro (1910c) manifestó que, según noticias que había recibido de la

zona del volcán, los indicios de anomalías sísmicas y de gases que le comunicaban hacían muy probable una nueva erupción en el mismo cráter o en otros próximos que pudieran formarse, lo cual confirmaría la opinión del autor de que el paroxismo del 18 de noviembre pasado pudo no ser más que el primer momento de una erupción compleja.

Situación del Chinyero en 1912

Fernández Navarro (1912) viajó nuevamente al Chinyero en julio de 1912. Las observaciones que hizo, publicadas en el *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, las reproducimos casi literalmente por dar una clara descripción de la situación del volcán.

En su visita observó que el cono pequeño, separado del principal por el brazo de lava que contornea a este último hacia Levante, no había sufrido alteración sensible en su aspecto y dimensiones; estaba completamente frío, tanto que, marcando el termómetro al aire 14 °C, bajó hasta 10 cuando se le introdujo 20 cm entre las escorias y lapillis de las bocas.

En el cono principal había cesado casi por completo la actividad fumaroliforme (sic), conservándose tan sólo tres fumarolas amarillas: una sobre la primera boca, otra sobre la tercera y otra hacia la gran escotadura del borde. La emisión de gases en todas es insensible y sin la coloración de los sublimados, y la elevación de temperatura que en ellas se comprueba pasarían fácilmente inadvertidas. Sobre la corriente lávica no había ya ninguna fumarola activa, habiendo desaparecido casi todos los sublimados blancos que tanto abundaban antes. Sólo se conservaban las sales, en pequeña cantidad, en ciertos puntos, resguardados de la lluvia. Esta rápida extinción de las fumarolas es una característica que agregar a las que han singularizado la erupción del Chinyero, tan efímera en todas sus manifestaciones.

El avance del proceso destructivo del gran cono, aunque bien patente, no era tan grande como esperaba, lo cual se explica, sin duda, por tratarse de un país de

lluvias escasas. La superficie externa seguía siendo muy regular y de color negro intenso, excepto en la misma cima, donde los materiales estaban muy rubefactados y las grietas circulares se habían acentuado bastante. No había nuevas grietas, sobre todo transversales, que valga la pena de mencionar, más que hacia el extremo sur de la cumbre, donde considerables desmoronamientos habían variado bastante el aspecto del cono.

Donde más deterioro había por los desmoronamientos era en la pared interna, sobre todo en las concavidades correspondientes a las bocas segunda y tercera. En la primera se había formado un talud rojo de restos rodados, a modo de un cono de deyección, muy próximo a la vertical y de gran regularidad. Hacia las grietas de esta pared había algunas manchas blancas correspondientes a conductos de fumarolas seccionados por la actual superficie del cráter. Aun en las escasas fumarolas que existían, la cantidad de azufre y sal amoníaco era pequeña.

En ninguno de los fondos de los cráteres se podía reconocer un orificio de salida bien localizado. A partir de cada uno de ellos había en las superficies de las lavas grandes grietas semicirculares que marcaban las ondas de presión por la marcha de la corriente.

En los cráteres persistía algún calor, pero sólo en puntos determinados. Metiendo el depósito del termómetro a 15 o 20 cm entre las escorias que todo lo recubren, la temperatura subió hasta 28 °C. Al SE del cono, en la morrena lateral izquierda del brazo de lava que le rodeó por este lado, había un punto con abundantes sublimados, donde el termómetro llegó a los 200 °C. Se observaba que los puntos de temperatura elevada estaban localizados a lo largo de la grieta por donde se verificó la erupción. El cono en conjunto estaba frío, pero en ciertos puntos se notaba gran calor, sobre todo junto a las fumarolas, y el termómetro enterrado alcanzaba enseguida los 200 °C, siendo seguro que en algunos sitios pasaría de los 300 °C.

Fernández Navarro, en la misma comunicación, incluye además los nuevos

datos publicados por otros autores después de la erupción. Del trabajo de Brunt y Collet (1910) destaca la velocidad de la corriente lávica que, según Collet y Montagnier, era de 15 metros por hora en la tarde del 19 de noviembre. Estos mismos autores dan el siguiente análisis de las sales condensadas en una fumarola a 500 metros de las bocas, el 21 de diciembre de 1909 (costras blancas, coloreadas en algunos sitios de amarillo pálido):

Cloruro de amonio	79,35
Cloruro ferroso	1,86
Fluoruro de amonio	9,46
Fluoruro de calcio	1,21
Fluoruro de silicio	3,67
Ácido clorhídrico libre	3,72
Alúmina	Indicios
Manganesa	Ligeros indicios
Total	99,27

Fernández Navarro, en su publicación, compara este análisis con el de Del Campo, señalando dos diferencias. En primer término, la falta del cloruro magnésico existente en el análisis de este último.

En segundo lugar, la existencia de una gran cantidad de fluoruros, siendo la primera vez que se cita el flúor en las sales de las fumarolas de Canarias.

También es notable el análisis del vidrio volcánico después de separados los cristales mediante el ataque de los lapillis con una disolución acuosa caliente de ácido oxálico puro. Brunt y Collet (1910) encuentran en dicho vidrio un 43% de sílice, un 5,1% de anhídrido titánico y un 5,2% de protóxido de manganeso. Como se deduce de las anteriores cifras, el vidrio es mucho más básico que la roca compacta, en la que Lucas había hallado un 50,89% de sílice. Es muy notable la proporción del titanio y, por último, sorprendente la considerable cantidad de manganeso, elemento que no apareció en el análisis de Del Campo.

Fernández Navarro corrige ligeramente a Perret, en 1914

Fernández Navarro (1914) presentó una comunicación en la RSEHN comentando el artículo sobre la erupción publicado por Perret ese mismo año. Manifiesta que el artículo está casi en absoluto conforme

Fernández Navarro quiere dejar claro que la altitud de 300 metros asignada por Perret al cono de escorias ciertamente no pasaba de 80, como había comprobado en repetidas ascensiones, tanto en los días inmediatamente posteriores a la erupción, como en nuestra visita de 1911

con las conclusiones a las que él llegó en la memoria sobre la erupción (Fernández Navarro, 1911), hasta tal punto que podría firmarlo como fiel resumen del suyo.

Sin embargo, hizo alguna pequeña rectificación a errores sin importancia de Perret, debidos, sin duda, a una información deficiente por no conocer el autor el idioma del país. Tal es, por ejemplo, hablar de una actividad de pocos días seguida de una nueva erupción, siendo así que la actividad duró tan sólo del 18 al 28 de noviembre, no cesando un momento durante esos diez días.

No fueron raras las bombas, como supone el autor americano, ni dejó de haberlas de considerable tamaño, especialmente en la vertiente norte de la montaña nuevamente formada. Fernández Navarro las había traído en gran número, muy pesadas y hasta de más de medio metro de longitud. Aquí habría que añadir el testimonio de Antonio de Cologán, que cita expresamente la presencia de grandes bombas aún calientes.

Por último, Fernández Navarro quiere dejar claro que la altitud de 300 metros asignada por Perret al cono de escorias ciertamente no pasaba de 80, como había comprobado en repetidas ascensiones, tanto en los días inmediatamente posteriores a la erupción, como en nuestra visita de 1911.



Figura 26. Foto aérea del volcán Chinyero en el año 2003. Autor: Marcos Brito.

Actualmente, el volcán Chinyero y toda su área de influencia han sido declarados como la “Reserva Natural Especial del Chinyero” por la Ley 12/1987, de 19 de junio, de Declaración de Espacios Naturales de Canarias, como parte del Parque Natural de Teno

El Chinyero hoy

Actualmente, el volcán Chinyero y toda su área de influencia (figura 26) han sido declarados como la “Reserva Natural Especial del Chinyero” por la Ley 12/1987, de 19 de junio, de Declaración de Espacios Naturales de Canarias, como parte del Parque Natural de Teno, y reclasificado por la Ley 12/1994, de 19 de diciembre, de Espacios Naturales de Canarias. La Ley 2/2000, de 17 de julio, ha modificado sus límites en el sector norte, recortando el espacio natural protegido en 63,1 hectáreas. Ocupa parte de los municipios de Santiago del Teide, El Tanque y Garachico, y se extiende desde los 565 a los 1.561 metros en el Chinyero, presentando una importante concentración de volcanes que dan lugar al sector más reciente del eje eruptivo noroeste (Dorsal de Abeque).

El Chinyero, emplazado justo en el límite de los terrenos del espacio natural más visitado de España (el Teide), se localiza en plena Corona Forestal a una altitud cercana a los 1.500 metros. El volcán, “fossilizadas las coladas en su boca de salida” (figura 27), recibe numerosos excursionistas a lo largo del año que reviven la situación catastrófica que se produjo en aquellos tiempos pretéritos. En el kilómetro 15 de la TF-38, en la base de la montaña Boca Cangrejo, se encuentra una explanada en la que se puede aparcar el coche y que sirve de inicio a la ruta. El lugar de comienzo no ofrece duda, pues una barrera y un par de carteles indican la entrada a la reserva. La pista presenta un trazado y un firme excelentes para rodar con la bicicleta.

Epílogo

Las erupciones del Chinyero (1909), Chahorra (1798) y Arenas Negras (Garachico) (1706)

surgieron muy cercanas entre sí, en la dorsal volcánica activa del suroeste de Tenerife. En esa misma zona se produjo, en 2004, la crisis sísmica que tuvo alarmada a la población y a las autoridades de la isla durante varios meses. La sismicidad de la isla, aunque disminuida en magnitud y frecuencia, se sigue produciendo en esa misma zona. Llevan 300 años de inestabilidad volcánica. No es de extrañar, por tanto, que la próxima erupción en Tenerife se produzca en esa dorsal. Sin embargo, la falta de un instituto vulcanológico atendido por las Administraciones Públicas supone un motivo de preocupación ante una posible erupción. El Senado aprobó en 2005 la creación del Instituto Vulcanológico de Canarias, una decisión ratificada por el Parlamento de la comunidad en 2006, pero aún no hay ubicación para su instalación.

Hace cein años, el geólogo español que estudió la erupción del Chinyero, Fernández Navarro, después de visitar Tenerife para investigar la erupción, manifestó, al término de la conferencia pronunciada en Madrid, lo siguiente: "... Las consideraciones anteriores nos llevan a manifestar la conveniencia de instalar en las proximidades del volcán actual un observatorio sismológico y meteorológico. La instalación, tratándose de un establecimiento modesto, no es nada costosa, pudiéndose encargar las observaciones, mediante una



Figura 27. Foto aérea del volcán Chinyero en el año 2003. Autor: Marcos Brito.

pequeña retribución, a cualquier persona de alguna cultura científica, como médico, farmacéutico, maestro, etc. Ningún punto parece para esto más indicado que la villa de Icod, sitio en que las sacudidas sísmicas se han sentido con más intensidad que en el volcán mismo. No hace falta insistir en la utilidad e importancia científica que tiene el registrar los movimientos del suelo en una zona tan inestable. Debe, sin embargo, recordarse, que si el observatorio hubiera existido, la actual erupción se habría podido predecir con gran seguridad. También vale la pena recordar que en alguna nación extranjera parece agitarse la idea de crear en las inmediaciones del Teide algún centro de esta

índole, lo cual sería vergonzoso para España, si por nuestra parte no hacíamos algo análogo" (Fernández Navarro, 1910).

Agradecimientos

A Pedro Martínez por la documentación gráfica; a Ricardo Balcells por el aporte de documentación; a Marcos Brito por la cesión de las fotografías aéreas; a la Secretaría del Instituto Cabrera Pinto de La Laguna por la imagen de Agustín Cabrera Díaz y a Lázaro Sánchez Pinto.

Bibliografía

- Barrera, J. L. (en prep.). *Lucas Fernández Navarro. El primer vulcanólogo español*.
- Brito, M. (2003). *Erupción del Chinyero a través de la prensa*, Tenerife, Ed. Llanoazur, 110 pp.
- Brunt y Collet (1910). Étude des matériaux recoltés par M. Benry F. Montagnier au volcan Ghinyero, *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, XXIX, 618.
- Cabrera Lagunilla, P. (1981). *Las erupciones históricas de Tenerife (Canarias)*, tesis de licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, 193 pp.
- Del Campo, A. (1912). Los sublimados blancos del volcán Chinyero (Canarias), *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, X, 431-449.
- Fernández Navarro, L. (1910a). Resumen de la conferencia acerca de la erupción del Chinyero, *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, X, 104-122, dos láminas.
- Fernández Navarro, L. (1910b). Más sobre el volcán Chinyero, *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, X, 208-209.
- Fernández Navarro, L. (1910c). Comunicaciones, *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, X, Actas.
- Fernández Navarro, L. (1911). Erupción volcánica del Chinyero (Tenerife) en noviembre de 1909, *Anales de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas*, V, Mem. 1, 99 pp.
- Fernández Navarro, L. (1912). Nuevos datos sobre el volcán Chinyero (Tenerife), *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, XII, 74-78.
- Fernández Navarro, L. (1914). Comunicación sobre el artículo de Perret relativo a la erupción del volcán Chinyero (Tenerife), *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, XIV, Actas.
- Gaceta de Madrid (1909). Decreto de concesión de un crédito extraordinario de 25.000 pesetas (22 de diciembre de 1909), nº 356, 682-682.
- Giblin, M. (1950). Frank Alvard Perret, *Bulletin of Volcanology*, 10, 191-195.
- Perret, F. A. (1914). The volcanic eruption of Teneriffe in the autumn of 1909, *Zeitschrift für Vulkanologie*, 1, 20-31.
- Ponte y Cologán, A. de (1911). *Volcán del Chinyero. Memoria histórico-descriptiva de esta erupción volcánica, acaecida en 18 de noviembre de 1909*, lit. A. J. Benítez, Tenerife, 61 pp., de ellas, sólo 35 están dedicadas a la erupción.

El geólogo, un recurso escaso en la industria del petróleo y el gas

Según un informe del Instituto Americano de Geología, en los próximos años habrá una gran demanda de profesionales de las Ciencias de la Tierra para los sectores de la energía, principalmente petróleo y gas, la minería y el medio ambiente en Estado Unidos. La demanda ha crecido de tal manera que incluso los simples licenciados sin ningún otro título ni experiencia están encontrando puestos de trabajo. Los salarios elevados son un incentivo que trata de resolver el problema entre la oferta y la demanda.

Texto | Mariano Marzo Carpio, catedrático de Estratigrafía, profesor de Geología del Petróleo y Recursos Energéticos. Universidad de Barcelona

Palabras clave
Petróleo, gas

Un artículo publicado el mes de agosto de 2008 en la revista científica *Science*, bajo el título "En geociencias, el negocio está en auge", suministraba los siguientes datos estadísticos sobre los sectores en los que trabajaban los geólogos y otros profesionales de las Ciencias de la Tierra en Estados Unidos: 43% en la industria del petróleo y el gas, 18% en organismos gubernamentales, 17% en instituciones académicas, 12% en la minería, 8% en medio ambiente, 1% en cargos ejecutivos y el 1% restante en otros oficios sin especificar (figura 1). Según declaraciones recogidas en el artículo citado por la responsable de la Oficina de Estadísticas del Trabajo del Instituto Americano de Geología, estos porcentajes se refieren a una coyuntura que puede catalogarse como de pleno empleo.

Sin duda, las estadísticas expuestas revelan las grandes posibilidades que hoy en día la industria, en particular la del petróleo y el gas, ofrecen a la profesión del geólogo en Estados Unidos. Además, dichas posibilidades se ven acrecentadas por la delicada situación que atraviesa la financiación de la investigación federal, lo que significa más dificultades para aquellos profesionales interesados en seguir la senda académica. De hecho, con anterioridad a la profunda crisis financiera y económica en la que el mundo se encuentra inmersa, el U.S. Bureau of Labor Statistics preveía que el número de puestos de trabajo para

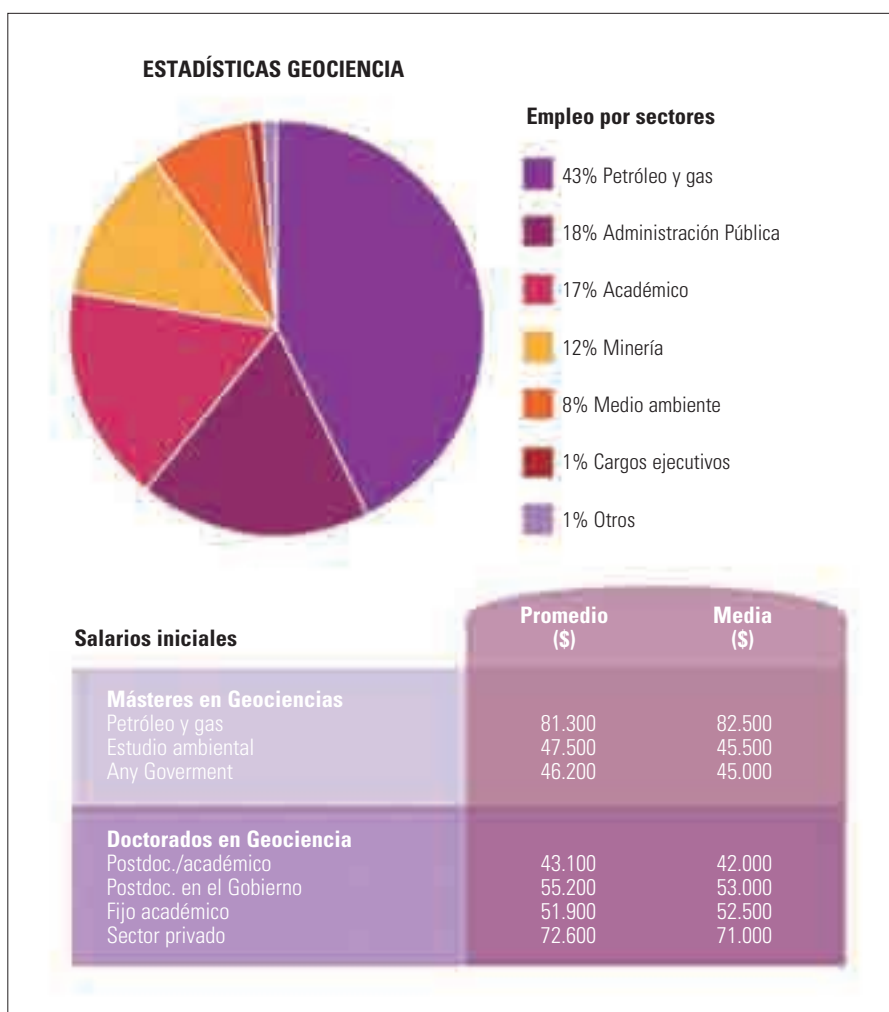


Figura 1. Estadísticas sobre el empleo en geociencias en Estados Unidos. Fuente: Science, 8 de agosto de 2008, vol. 321.

los graduados en Ciencias de la Tierra en el sector de la industria crecería un 22% entre 2006 y 2016, lo que representa un porcentaje mucho mayor al 10% previsto para el conjunto de

todas las ocupaciones analizadas. El artículo de *Science* comentado destaca que las industrias del petróleo, minería y medio ambiente, en su afanosa búsqueda de nuevos talentos, han

aumentado considerablemente la contratación de nuevos graduados en Ciencias de la Tierra. Tradicionalmente, en Estados Unidos el máster era considerado el grado profesional más adecuado para cubrir las nuevas necesidades de contratación. Sin embargo, la demanda de recursos humanos ha crecido de tal forma que incluso los licenciados están encontrando puestos de trabajo, aunque en general se mantenga el requisito del máster para "ascender" en la carrera profesional y pasar del trabajo de campo a puestos de gestión y dirección. Esta intensa competición por los recursos humanos en el sector industrial se ha traducido en un aumento de los salarios.

Los salarios de los profesionales de Ciencias de la Tierra en Estados Unidos

En relación a esta cuestión, el American Geological Institute proporciona una serie de cifras sobre los salarios promedio que en 2005 percibía un profesional del campo de las Ciencias de la Tierra al incorporarse por primera vez a un puesto de trabajo (*figura 1*). En el caso de profesionales con un título de máster, los salarios en la industria del petróleo y el gas se situaban en torno a los 81.300 dólares anuales, mientras que en la industria del medio ambiente y en los organismos gubernamentales los ingresos eran algo más de la mitad de la cifra anterior, situándose aproximadamente en torno a los 47.500 y 46.200 dólares anuales, respectivamente. Si en vez de un título de máster, el profesional ostentaba el título de doctor, el salario promedio de un contrato postdoctoral en instituciones académicas o gubernamentales rondaba los 43.100 y los 55.200 dólares por año, respectivamente, mientras que dichos emolumentos se situaban en torno a los 51.900 dólares anuales si el empleado con grado de doctor alcanzaba una posición fija en una institución académica, y a 72.600 dólares por año si decidía incorporarse al sector privado.

De todo lo hasta aquí expuesto, y para centrarnos un poco más en el tema que da título a este escrito, cabe retener dos datos clave. En Estados Unidos, la industria

Tabla 1. Rango de salarios anuales del geólogo en la industria del petróleo de Estados Unidos según los años de experiencia. AAPG Explorer, junio de 2009

Años de experiencia	Alto	Promedio	Bajo
0-2	\$ 95.000	\$ 83.600	\$ 58.000
3-5	147.000	108.000	75.000
6-9	153.000	118.400	90.000
10-14	155.000	121.900	100.000
15-19	185.000	139.400	118.000
20-24	260.000	176.800	138.000
25+	250.000	171.700	105.000

Tabla 2. Rango de salarios anuales del geólogo en la industria del petróleo de Estados Unidos según la titulación. AAPG Explorer, junio de 2009

Años de experiencia	B.S.	M.S.	Ph.D.
0-2	\$ 73.000	\$ 88.800	\$ 95.000
3-5	88.300	112.000	147.000
6-9	90.000	141.400	105.000
10-14	102.500	122.900	155.000
15-19	124.300	166.500	134.900
20-24	147.500	172.300	215.000
+25	162.300	179.000	150.000

Tabla 3. Evolución histórica de los salarios promedio anuales del geólogo en la industria del petróleo de Estados Unidos según los años de experiencia. AAPG Explorer, junio de 2009

Años de experiencia	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09
0-2	\$ 59.700	\$ 64.000	\$ 65.000	\$ 65.600	\$ 67.800	\$ 74.400	\$ 82.200	\$ 82.800	\$ 83.600
3-5	66.000	67.500	71.200	67.700	75.600	81.300	89.600	107.800	108.000
6-9	74.200	74.500	78.300	75.700	78.800	95.400	98.500	121.100	118.400
10-14	89.400	95.000	96.600	91.900	107.500	114.400	111.500	119.800	121.900
15-19	100.600	99.400	102.500	102.500	116.000	119.600	141.000	151.600	139.400
20-24	111.700	111.600	113.900	118.100	112.800	139.000	155.000	167.400	176.800
+25	117.300	124.000	126.900	125.100	128.300	134.100	149.900	162.800	171.700

del petróleo y el gas contabiliza el 43% del empleo en Ciencias de la Tierra y los salarios pagados por dicha industria son considerablemente más elevados que los ofrecidos por otros sectores, ya sean industriales, académicos o gubernamentales. Respecto a esta última cuestión, en las *tablas 1, 2 y 3* se ofrecen datos más actualizados y completos, exclusivamente centrados en los salarios percibidos por los geólogos del petróleo en compañías de Estados Unidos. Dichos datos provienen de una encuesta llevada a cabo por la Asociación de Geólogos Americanos del Petróleo (AAPG) y que acaba de ser publicada en el número de junio de 2009 de la revista *Explorer*.

La situación en España

¿Cuál es la situación en España? Debo confesar que desconozco los datos relativos a salarios y que tampoco dispongo de datos del porcentaje sobre el total de geólogos en activo que trabaja en la industria del petróleo, aunque presumo que éste debe ser al menos un orden de magnitud inferior al de Estados Unidos. Las razones de estas diferencias son varias. Entre ellas, la principal es que el subsuelo de nuestro país no es rico en

hidrocarburos y, por tanto, la industria local del petróleo y el gas tampoco se ha caracterizado por una intensa actividad en los campos que son propios del geólogo, como el de la exploración y producción de hidrocarburos, conocidos en la jerga petrolera como sector de "upstream". Sin embargo, esta falta de tradición en el *upstream* ha cambiado notablemente en los últimos tiempos como consecuencia de la internacionalización de la actividad exploratoria y de producción de nuestras petroleras. Por ejemplo, históricamente, Repsol ha sido reconocida por el mercado como una empresa líder en los sectores de refino, petroquímica y *marketing*. Pero en los últimos cuatro años la petrolera también está labrándose una sólida reputación en el *upstream*. Sin ir más lejos, en lo que va de año, Repsol ha participado en diez importantes descubrimientos de hidrocarburos en Brasil, el golfo de México y el norte de África. Y este éxito exploratorio no es flor de un día. Así lo demuestra el hecho de que en un *ranking* de los mayores descubrimientos de 2008 elaborado por la consultora IHS, los puestos tercero, cuarto y quinto corresponden a yacimientos en cuyo hallazgo ha participado Repsol. Algo similar, aunque a diferente escala, podría argumentarse en el caso de

Cepsa, y tampoco pueden olvidarse los esfuerzos en el sector de *upstream* realizados por otras compañías españolas, entre los que destacan los dedicados a poner a punto una infraestructura adecuada a las necesidades del país en cuestiones tan relevantes como el almacenamiento subterráneo del gas natural y del dióxido de carbono (una tecnología esta última que sin duda abre nuevas e interesantes perspectivas de futuro para la profesión).

En cualquier caso, sea cual sea la situación del *upstream* de la industria de los hidrocarburos en España, ni los estudiantes y jóvenes profesionales en el campo de la Geología, ni los profesores y profesionales experimentados deben olvidar que el futuro de nuestra profesión, como el de otra muchas, se dirime en la arena global. Y en este contexto cabe preguntarse y despejar temores sobre el futuro global de los hidrocarburos y de los geólogos en el horizonte de las próximas décadas.

El titular "Viejos combustibles, nueva riqueza" que encabeza un artículo de la revista científica *Nature*, publicado en diciembre de 2008, y cuya lectura les recomiendo, sintetiza claramente las buenas perspectivas que a continuación expongo.

El futuro de los combustibles fósiles

Ciertamente, hoy en día la idea de que nuestra sociedad debe reemplazar los combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo) por otras fuentes energéticas más limpias goza de una gran aceptación entre la opinión pública. Esta popularidad constituye un campo abonado para la demagogia de políticos y el oportunismo especulativo de determinados sectores financieros que pregonan la necesidad de invertir dinero y esfuerzo tecnológico en el desarrollo de fuentes energéticas renovables. Como resultado del bombardeo mediático, existe una amplia percepción social de que el cambio mencionado se reduce a una simple cuestión de voluntad política y capacitación técnica. Pocos avisan que dicho despliegue es una condición necesaria pero no suficiente. Avanzar hacia la concreción de un ideal requiere de un realismo extremo a la hora de formular correctamente la naturaleza,

Tabla 4. Demanda mundial de energía primaria por combustible, expresada en millones de toneladas de equivalente de petróleo. Escenario de Referencia. IEA, WEO 2008

	1980	2000	2006	2015	2030	2006-2030*
Carbón	1.788	2.295	3.053	4.023	4.908	2,0%
Petróleo	3.107	3.649	4.029	4.525	5.109	1,0%
Gas	1.235	2.088	2.407	2.903	3.670	1,8%
Nuclear	186	675	728	817	901	0,9%
Hidro	148	225	261	321	414	1,9%
Biomasa y residuos**	748	1.045	1.186	1.375	1.662	1,4%
Otras energías renovables	12	55	66	158	350	7,2%
TOTAL	7.223	10.034	11.730	14.121	17.014	1,6%

* Índice anual medio de crecimiento.

** Incluye usos tradicionales y modernos.

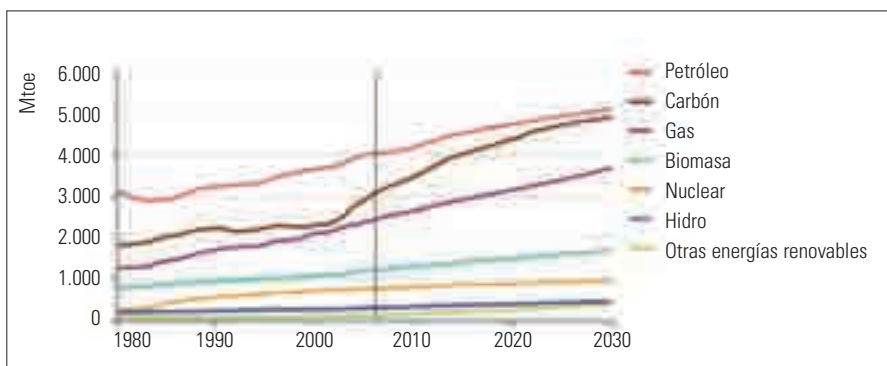


Figura 2. Evolución de la demanda mundial de energía primaria por combustible en millones de toneladas de equivalente de petróleo. Escenario de Referencia. IEA, WEO 2008.

alcance y ramificaciones del problema que se pretende resolver. Y en este sentido resulta fundamental conocer que hoy en día algo más del 80% de la energía primaria consumida en el mundo procede de combustibles fósiles. Nadie duda del potencial de crecimiento de las energías renovables en los países industrializados. Sin embargo, como a continuación se detalla, las previsiones "oficiales" apuntan a que hacia 2030 los combustibles fósiles seguirán representando cerca del 80% del total de la energía primaria que el mundo consumirá (tabla 4 y figura 2). Si no se concreta una rápida y espectacular revolución tecnológica o un cambio de modelo socioeconómico y energético, la cantidad total de carbón, petróleo y gas utilizada podría incrementarse en términos absolutos respecto a los niveles actuales, con su consiguiente impacto negativo sobre el calentamiento global del planeta. Impacto cuya mitigación requerirá, entre otras medidas, el despliegue a gran escala de la tecnología de captura y almacenamiento del dióxido de carbono en formaciones geológicas profundas.

Para justificar el párrafo precedente, resulta oportuno resumir algunas de las conclusiones del Escenario de Referencia del *World Energy Outlook 2008* de la Agencia Internacional de la Energía, publicadas en noviembre del año pasado. Éstas son:

- En 2030, los combustibles fósiles representarán algo más del 80% del mix de energías primarias global.
- Entre los combustibles fósiles, el carbón será el que experimentará una tasa media de crecimiento más rápida, cercana al 2% anual, de forma que su cuota sobre el total de la demanda mundial pasará de un 26% en 2006, a cerca de un 29% en 2030.
- El petróleo seguirá siendo el combustible fósil más usado, aunque su participación en el mix energético global caerá de un 34% en 2006 a un 30% en 2030.
- La demanda de gas natural aumentará a un ritmo promedio del 1,8% anual, de manera que en 2030 este combustible representará algo más del 21,5% del total de la energía primaria consumida en el mundo, frente al 20,5% de 2006.

En el *World Energy Outlook 2008*, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) asume que si las inversiones son las adecuadas y los países destinatarios se abren a las mismas, el volumen de reservas y recursos recuperables de combustibles fósiles es suficiente para cubrir el aumento global de la demanda previsto en el horizonte de 2030. Ello no obsta para que la AIE advierta que convertir tales reservas y recursos en flujos de producción presenta cada vez más riesgos y que éstos constituyen una seria amenaza para asegurar las previsiones de demanda a medio y largo plazo. Entre tales riesgos se citan una serie de obstáculos potenciales a la inversión, entre los que cabe destacar:

- Las previsibles políticas de producción acordadas por los países ricos en hidrocarburos para ralentizar el ritmo de agotamiento de sus recursos.
- La creciente falta de oportunidades para las compañías internacionales de capital privado a la hora de invertir en dichos países.
- La preocupante carestía de personal cualificado y equipos.
- Las posibles limitaciones resultantes de la evolución del contexto geopolítico y del estallido de conflictos regionales.

Escasez de mano de obra

Respecto a la cuestión de la escasez de mano de obra cualificada y de equipos, conviene recordar que ambos son dos de los factores que a escala global han contribuido a la reciente subida de los costes y a los retrasos experimentados por los proyectos de exploración y producción de petróleo y gas. Esta escasez podría continuar existiendo en el futuro, lo que supondría una clara limitación física a la velocidad con la que la industria podrá invertir en el desarrollo de reservas.

La escasez de mano de obra puede representar un grave obstáculo, debido al largo tiempo requerido para reclutar y entrenar adecuadamente al personal. La fuerza laboral en el sector de exploración y producción se ha

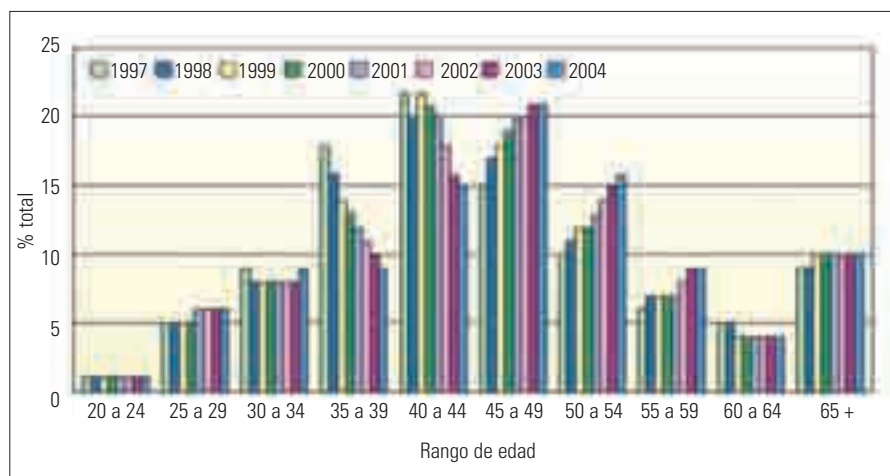


Figura 3. Distribución por edades de los miembros de la Society of Petroleum Engineers (SPE) desde 1997 a 2004. La SPE es una organización internacional de ingenieros del petróleo con más 60.000 miembros.

La fuerza laboral en el sector de exploración y producción se ha reducido desde la década de los noventa, más recientemente, por un aumento de las jubilaciones

reducido desde la década de los noventa, como resultado de la disminución de la contratación y de los despidos ejecutados en el marco de diversos programas de reducción de costes y, más recientemente, por un aumento de las jubilaciones. En Estados Unidos, la media de edad del trabajador empleado en una compañía de petróleo se aproxima a los cincuenta años y más de la mitad de todos los empleados se jubilará en el transcurso de la próxima década. Y esto sucede al mismo tiempo que aumentan las necesidades de personal para nuevos proyectos. Por ejemplo, las 160 plataformas marinas que actualmente se están construyendo necesitarán alrededor de 30.000 trabajadores y sólo una parte de ellos provendrá de plataformas que dejarán de ser operativas.

Tal y como se ha pretendido remarcar en el título de este escrito, una cuestión de especial relevancia para nuestra profesión es que la escasez de personal resulta particularmente notoria entre los trabajadores especializados, tales como geólogos e ingenieros, que requieren más tiempo de formación (*figura 3*). En América del Norte y Europa, en el caso del personal técnico de grado medio, esta situación se traduce en una brecha entre demanda y oferta que, en 2012, podría ser superior al 15% (*figura 4*). Asimismo, un estudio reciente realizado por Schlumberger Business Consulting predice una grave escasez de graduados universitarios en disciplinas relacionadas con el petróleo en América del Norte, Rusia y Oriente Medio, aunque los excedentes existentes en otras regiones —en particular en China e India— podrían, en principio, reducir el déficit, siempre que se superen una serie de barreras lingüísticas, legales y culturales (*figura 5*).

Ante este panorama, no es de extrañar que las compañías petroleras estén respondiendo a las carencias de mano de obra y de personal cualificado ofreciendo incentivos para retrasar la jubilación del personal, volviendo a contratar jubilados y reclutando personal extranjero. En la región de las arenas bituminosas de Athabasca, en Canadá, un gran número de ingenieros y trabajadores contratados procede de países tan lejanos como China. Como un incentivo para atraer y retener a este personal, el Gobierno canadiense ha llegado a ofrecer la nacionalidad

No es de extrañar que las compañías petroleras estén respondiendo a las carencias de mano de obra y de personal cualificado ofreciendo incentivos para retrasar la jubilación del personal, volviendo a contratar jubilados y reclutando personal extranjero

a los extranjeros que trabajen en proyectos de arenas bituminosas. Por otra parte, la industria espera que los altos salarios actuales estimulen un aumento de la capacidad productiva a largo plazo, a medida que más estudiantes opten por cursar disciplinas relacionadas con la exploración y producción de hidrocarburos. En la actualidad, existen indicios de que el número de estudiantes universitarios interesados en disciplinas relacionadas con el mundo del petróleo y el gas, así como el número de trabajadores menos cualificados implicados en programas de capacitación y entrenamiento, están evolucionando al alza, especialmente en China e India. Para ello, diversas compañías petroleras han intensificado sus programas de formación y han fortalecido sus vínculos con las universidades

La constatación de la existencia de una importante carestía de personal cualificado, especialmente grave en algunas regiones, explica dos de las cuestiones que poníamos en evidencia en los párrafos iniciales de este artículo: la fuerte demanda de geólogos por parte de la industria petrolera y los interesantes salarios que ésta ofrece. Posiblemente, la actual coyuntura de crisis financiera

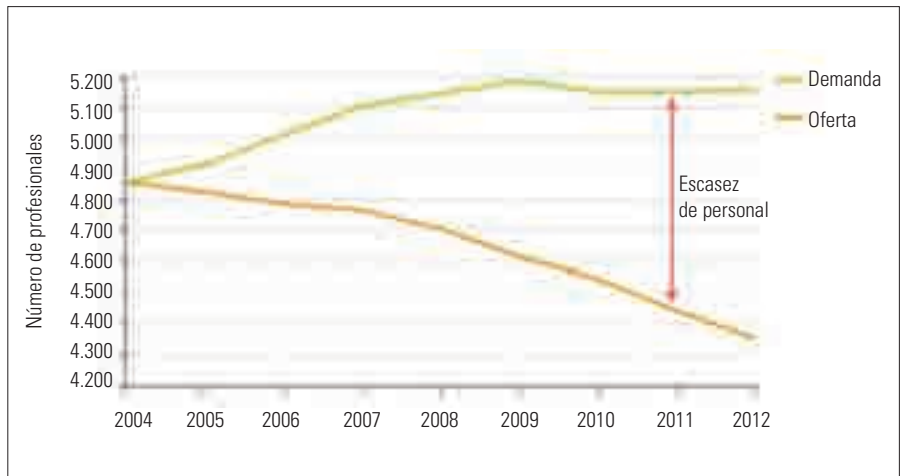


Figura 4. Demanda y oferta de técnicos de grado medio (entre 30 y 39 años de edad) por la industria del petróleo en Norteamérica y Europa. IEA, WEO 2008.



Figura 5. Distribución de graduados universitarios en disciplinas relacionadas con el petróleo. El déficit en América del Norte, Rusia y Oriente Medio podría ser cubierto con el excedente existente en otras regiones —en particular en China e India—, siempre que se superen las barreras lingüísticas, legales y culturales. Schlumberger Business Consulting, 2006.

y económica modere momentáneamente las expectativas. Pero en cuanto se reanude el crecimiento económico es previsible que dichas expectativas mejoren de nuevo. El sector de exploración y producción de la industria petrolera es inherentemente cíclico, de forma que a cada periodo de escasez en la oferta de servicios le sigue otro de exceso. Por ello, es probable que durante el periodo 2007-2030, tal y como sucedió en la década de los ochenta y los noventa, la industria experimente alguna situación de exceso

de mano de obra y personal cualificado, aunque predecir cuándo podría darse dicha situación y por cuánto tiempo se prolongaría resulta imposible. En cualquier caso, los geólogos y la Geología de nuestro país no deberían dar la espalda por más tiempo a las oportunidades que en el sector de la exploración y producción de petróleo y gas le brindan tanto la industria nacional, como la internacional. Este divorcio resulta incomprensible en una sociedad moderna e industrializada como la de nuestro país.

Influencia de la calidad de los estudios geotécnicos en el coste de cimentación de un edificio

La práctica habitual de “contratación salvaje a la baja” de los estudios geotécnicos, aparentemente beneficiosa para el cliente, suele llevar a unas recomendaciones de cimentación tan del lado de la seguridad que en realidad suponen un incremento de costes de construcción muy superior al ahorro obtenido en la contratación del estudio geotécnico. En el presente artículo se ilustran estas consideraciones a través de un supuesto práctico.

Texto | Juan Antonio Calvo Bonacho, geólogo (juanantonio.calvo@uah.es). Javier Temiño Vela, doctor en Ciencias Geológicas (Javier.temino@uah.es). Fernando Rodríguez Fabián, arquitecto técnico (frodriguez@ayto-velilla.es). Universidad de Alcalá

Palabras clave
Costes económicos, estudio geotécnico, cimentación

Es muy habitual en España que los estudios geotécnicos para edificación se contraten a precios tan bajos que obligan a realizarlos con reconocimientos y ensayos insuficientes. El resultado final suele ser que, para paliarlo, se sobredimensionan innecesariamente las cimentaciones, asumiéndose inconscientemente unos sobrecostes de cimentación muy superiores al ahorro que se produjo en la contratación del estudio geotécnico.

El estudio geotécnico

El estudio geotécnico es un documento necesario para poder suscribir el seguro decenal al que obliga la LOE (Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación). El marco normativo de referencia en el que se establecen las recomendaciones y requisitos mínimos que deben ser considerados en la elaboración de los estudios geotécnicos para edificación es el Documento Básico SE-C de seguridad estructural y cimientos del Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006).

Cualquier estudio geotécnico convencional para edificación aborda tres aspectos:

- Debe reconocer la geología del subsuelo (formaciones geotécnicas, su buzamiento, niveles piezométricos, etc.). Para ello se

ejecutan sondeos, catas, penetrómetros y, menos frecuentemente, geofísica.

- Identifican las características geotécnicas de cada formación existente en el subsuelo (resistencia a rotura, deformabilidad, agresividad a los materiales de construcción, presencia de arcillas expansivas o suelos colapsables, etc.). Dicho conocimiento se alcanza a través de diversos tipos de ensayos; los más frecuentes se hacen en el laboratorio con muestras tomadas en los sondeos y catas de reconocimiento geológico; más raros, pero también más caros y más precisos, son los ensayos realizados directamente in situ.
- Con la información recopilada, se propone el tipo de cimentación que es más adecuado, su profundidad de apoyo, las presiones de trabajo máximas admisibles, los asentamientos que se producirán, los riesgos geotécnicos que pueden afectar al edificio y otras posibles recomendaciones.

Las compañías de seguros son conscientes de que la mayoría de las indemnizaciones por daños estructurales en edificios tienen su origen en deficiencias en los estudios geotécnicos. También las empresas constructoras sufren frecuentemente pérdidas económicas elevadas debido a la necesidad de parar sus obras cuando en los trabajos de excavación se aprecian fuertes discrepancias

entre las conclusiones del estudio geotécnico y la realidad.

Menos conocido por el gran público es que la mayoría de las cimentaciones que se suelen proponer están muy sobredimensionadas, aumentando los costes de la obra, que acaban siendo repercutidos al comprador final. Dichos sobrecostes, que son innecesarios, quedan asumidos como un falso aumento de la seguridad del edificio y, al no ocasionar problemas, quedan ocultos y nunca son reconocidos. Habitualmente, la mayor parte de dichos sobrecostes tienen su origen en que los estudios geotécnicos se ejecutan a costes muy bajos y el técnico se ve obligado a usar criterios de seguridad desproporcionados, pero que permiten garantizar que la cimentación recomendada es totalmente fiable.

Supuesto práctico

Se propone el caso de un solar explanado, en el que se construirá un edificio de siete plantas sobre rasante y dimensiones 1.350 m² (45 x 30 m), del que se sabe que el subsuelo es arcilloso y que nunca han existido problemas de origen geotécnico en los edificios del entorno. Para el proyecto se ha establecido que el peso total máximo que el edificio transmitirá a la cimentación será de 66.500 kN a través de 150 m de zapata corrida

Tabla 1. Coste de los informes geotécnicos

	Precio unitario (€)	TIPO A		TIPO B	
		Uds.	Precio (€)	Uds.	Precio (€)
Ensayos de campo					
Desplazamiento máquina de sondeos	375	1	375	1	375
Implantación en cada sondeo	60	4	240	2	120
M.L. de perforación en suelos	40	32	1.280	16	640
M.L. de perforación en roca blanda	60	16	960	8	480
Ensayo SPT	25	8	200	4	100
Toma de muestra inalterada	30	8	240	4	120
Toma de testigo parafinado	15	4	60	2	30
Toma de muestra de agua en sondeo	15	2	30	1	15
Caja portatestigos	10	16	160	8	80
Desplazamiento penetrómetro DPSH	180	0	0	1	180
Penetración dinámica DPSH	120	0	0	2	240
<i>Subtotal ensayos de campo</i>			<i>3.545</i>		<i>2.380</i>
Ensayos de laboratorio					
Peso específico aparente	10	12	120	6	60
Granulometría por tamizado	25	8	200	4	100
Límites de Atterberg	30	8	240	4	120
Sulfato soluble en suelos	30	4	120	2	60
Acidez Baumann-Gully	35	4	140	2	70
Ensayo edométrico	200	4	800	2	400
Ensayo de Lambe	45	4	180	2	90
Presión de hinchamiento en edómetro	60	4	240	2	120
Resistencia a compresión simple	30	12	360	6	180
Corte directo CD (no saturado)	170	4	680	2	340
Análisis de agresividad de agua	120	2	240	1	120
<i>Subtotal ensayos de laboratorio</i>			<i>3.320</i>		<i>1.660</i>
Trabajo de gabinete					
Redacción de informe	400	1	400	1	400
TOTAL ESTUDIO GEOTÉCNICO			7.265		4.440



Figura 1. Croquis de la parcela con la posición de los puntos de reconocimiento geotécnico.

bajo rasante; cada zapata cuadrada transmitirá al terreno una carga bruta (incluye sobrecargas y el peso propio de la cimentación) de 950 kN; la carga bruta de cada metro lineal de zapata corrida será de 190 kN; la distorsión angular entre pilares no debe superar 1/500, es decir, no se deben superar 10 mm de asiento diferencial entre zapatas contiguas.

Se contrata un estudio geotécnico para verificar si la propuesta de cimentación es viable y para determinar las dimensiones adecuadas de las zapatas.

El supuesto práctico considera varias alternativas de contratación de estudio geotécnico:

- Estudio de tipo A (adecuado): contempla la ejecución de sondeos de reconocimiento en los cuatro puntos indicados en la figura 1 y la ejecución de los ensayos de laboratorio contratados (tabla 1). Los sondeos (S1, S2, S3 y S4) alcanzan 12 m de profundidad y sus registros se muestran sintéticamente en la figura 2. Los resultados de los ensayos de laboratorio se resumen en la tabla 2.
- Estudios de tipo B (baratos): contempla la ejecución de dos sondeos y dos penetrómetros DPSH y los ensayos de laboratorio contratados (tabla 1). Los reconocimientos se distribuyen aleatoriamente en las posiciones numeradas en la figura 1 y se nombran en el texto una letra (S, si es sondeo, y P, si es penetrómetro), seguida del número que indica su posición de la figura 1. Por lo tanto, existen seis posibles estudios geotécnicos, correspondiendo cada uno a una de las siguientes combinaciones de reconocimientos: S1-P2-S3-P4 / S1-S2-P3-P4 /

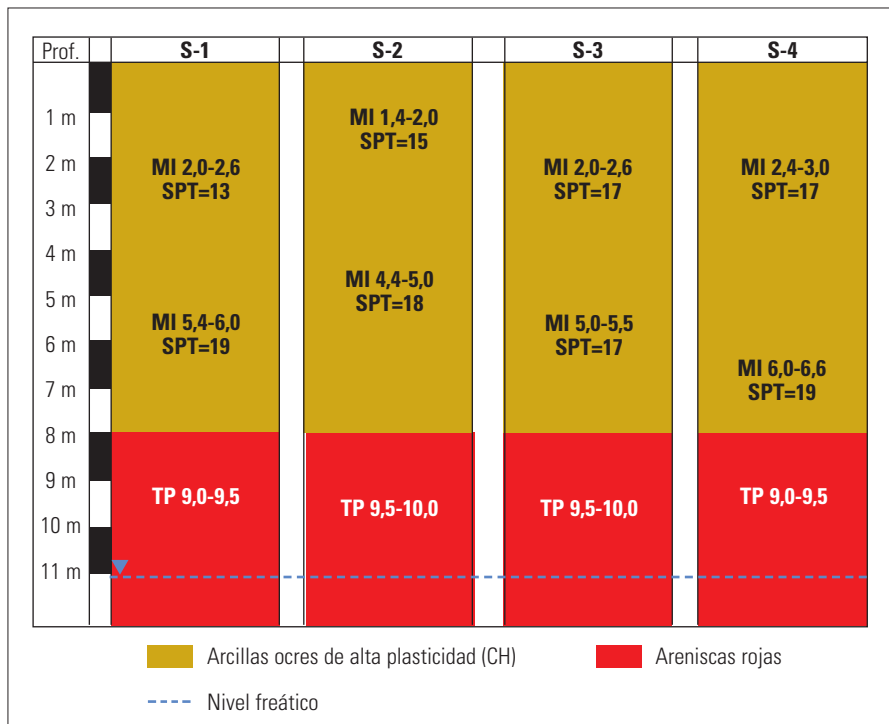


Figura 2. Registro de los cuatro sondeos de la parcela.

perimetral y de 40 zapatas cuadradas distribuidas según una malla cuadrada de 5 m de lado.

Se han impuesto las siguientes condiciones para el cálculo de la cimentación: las zapatas serán centradas y rígidas; se apoyarán a 1,0 m

Tabla 2. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio

Sondeo	S-1	S-1	S-1	S-2	S-2	S-2	S-3	S-3	S-3	S-4	S-4	S-4
Profundidad (m)	2-2,6	5,4-6	9-9,5	1,4-2	4,4-5	9,5-10	2-2,6	5- 5,5	9,5-10	2,4-3	6-6,6	9-9,5
Inalt.(A) / Testigo parafinado (TP)	A	A	TP	A	A	TP	A	A	TP	A	A	TP
Granulometría												
% pasa tamiz nº 4	0	0		0	0		0	0		0	0	
% pasa tamiz nº 200	76	72		80	72		78	75		74	80	
Límite líquido (%)	60	58		66	68		58	60		65	61	
Límite plástico (%)	29	28		30	30		28	26		30	29	
Índice de plasticidad (%)	31	30		36	38		30	34		35	32	
Clasificación (S.U.C.S.)	CH	CH	Roca	CH	CH	Roca	CH	CH	Roca	CH	CH	Roca
Contenido de sulfatos (mg/kg)	420			180			150			360		
Acidez Baumann-Gully (%)	2,0			1,5			1,5			2,5		
Peso específico aparente (kN/m³)	18,0	18,5	24,8	18,0	18,5	23,0	18,5	18,0	24,5	18,0	18,5	23,5
Compresión simple (kN/m²)	160	250	9.500	200	200	11.000	180	210	8.500	220	170	13.000
Corte directo C-D												
Cohesión (kN/m²)	25			33			25			40		
Rozamiento interno	20º			25º			20º			25º		
Edométrico												
Preconsolidación (kN/m²)		380			350			370			420	
Cc		0,25			0,20			0,20			0,23	
Ensayo de Lambe		No crítico			No crítico			No crítico			No crítico	
Presión de hinchamiento (kN/m²)		15			32			20			22	
Agresividad del agua subterránea												

Todas las muestras de agua ensayadas han resultado no agresivas al hormigón

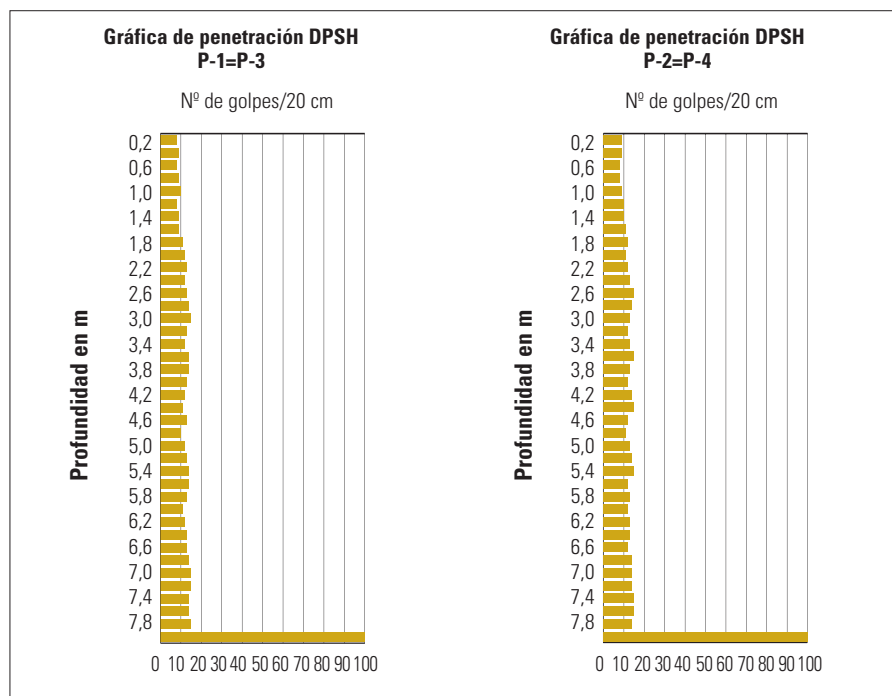


Figura 3. Registros de golpeo de los penetrómetros DPSH.

S1-P2-P3-S4 / P1-S2-S3-P4 / P1-S2-P3-S4 / P1-P2-S3-S4. Los registros de los sondeos y de los penetrómetros DPSH se muestran en las figuras 2 y 3, respectivamente. Los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados en cada sondeo se muestran en la tabla 2.

Presupuestos de los estudios geotécnicos

En la tabla 1 se exponen los costes de cada tipo de estudio geotécnico, calculados a partir

de los mismos precios unitarios. Las seis opciones baratas (tipo B) tienen el mismo coste económico (4.440 euros), ya que todas ellas contienen el mismo número y profundidad de reconocimientos, así como también idéntico número y tipo de ensayos. El estudio adecuado (tipo A) es, lógicamente, más caro (7.265 euros).

Costes estimados de zapatas

Para el cálculo de las cimentaciones resultantes hemos usado la Norma EHE

2008 (sobre todo su artículo 58) y el CTE (2006). Para estimar sus costes se han tenido en cuenta las siguientes hipótesis de trabajo:

- Cimentación tradicional de zapatas aisladas, cuadradas, rígidas y con cargas centradas. A cada zapata llega un pilar del edificio, que mantiene una dimensión de 40 x 40 cm.
- Cimentación tradicional de zapatas corridas rígidas con cargas centradas en los muros perimetrales del edificio. Se ha supuesto el muro de ladrillo y con espesor constante de 25 cm.
- No es necesario usar vigas de atado ni vigas centradoras entre las distintas zapatas.
- Se considera el mismo tipo de hormigón para la limpieza (siempre 15 cm de espesor) que para el verdaderamente conformador de la zapata.

Los costes estimados de cada tipo de zapata se representan en la figura 4, y para su determinación se han utilizado los siguientes precios unitarios:

- Costes de excavación: 6,50 €/m³.
- Coste del hormigón (HA-25/B/40-II/a): 65,0 €/m³, ya vertido y compactado.
- Coste del acero para armar (tipo B 400-S): 1,2 €/kg, ya preparado y montado.

Tabla 3. Resultados del informe geotécnico adecuado (tipo A)

Sondeos	Parámetros de cálculo			Zapata cuadrada			Zapata corrida			Asiento diferencial máximo
	Cohesión (kN/m ²)	Rozam. interno	E (MN/m ²)	qadm (kN/m ²)	Asiento (mm)	Anchura (m)	qadm (kN/m ²)	Asiento (mm)	Anchura (m)	
S1-S2-S3-S4	30,75	22,5°	40 a 80	310	5 a 10	1,8	240	4 a 8	0,8	6 mm

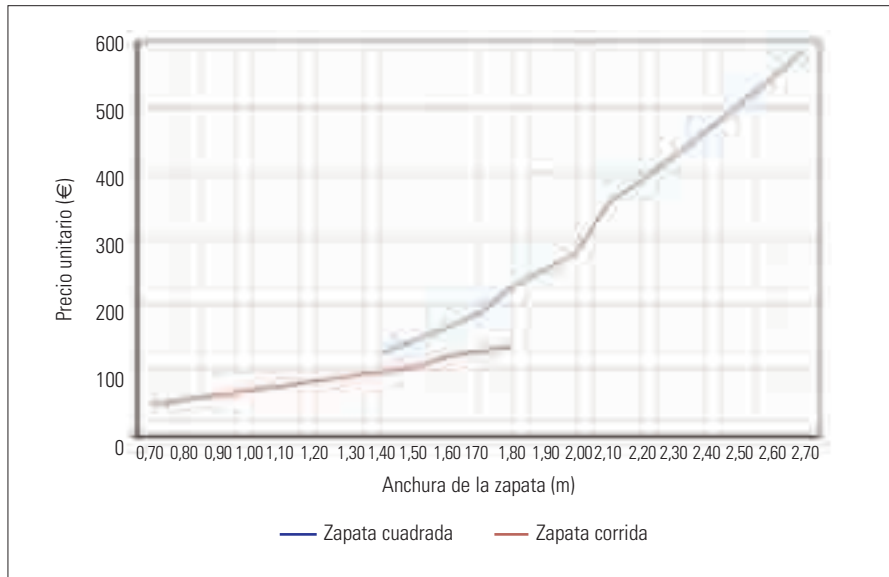


Figura 4. Precio unitario de cada zapata cuadrada y de cada metro lineal de zapata corrida.

Aplicación del CTE (2006) en la elaboración del estudio

Según el CTE (2006), el edificio proyectado es de tipo C-2 (construcciones entre cuatro y diez plantas) y el subsuelo del solar es T-1 (terreno favorable, es decir, con poca variabilidad y en el que la cimentación habitual de la zona es directa mediante elementos aislados). Para estas condiciones y las dimensiones de la parcela, el CTE (2006) recomienda:

- Ejecutar un mínimo de cuatro puntos de reconocimiento, de los que al menos dos deben ser sondeos y el 70% se puede sustituir por penetrómetros. Los sondeos alcanzarán unos 12 m de profundidad.
- Hacer el número de ensayos que sea adecuado para obtener, de cada parámetro geotécnico estudiado, un valor fiable y representativo de cada formación geotécnica investigada. Para caracterizar una unidad arcillosa homogénea recomienda, a título orientativo, los siguientes ensayos: tres de identificación (granulometría y plasticidad), cuatro de deformabilidad (edométricos, presiométricos, placa de carga), cuatro de resistencia a compresión simple, tres de resistencia al corte (corte directo, triaxial)

y tres de contenido de sales agresivas (sulfatos, acidez).

El estudio de tipo A excede las recomendaciones propuestas por el CTE (2006). Sin embargo, en cada uno de los estudios baratos (tipo B) se han contratado algunos ensayos menos de los recomendados para caracterizar la deformabilidad (dos ensayos edométricos), la resistencia al corte (dos ensayos de corte directo) y la agresividad del terreno (análisis de sulfatos y acidez en dos muestras).

La presión admisible (q_{adm}) es la que se usa para determinar la dimensión de cada zapata. Corresponde a la presión máxima que puede transmitir la cimentación al terreno, de forma totalmente segura, sin que éste se rompa. Se calcula dividiendo la presión de hundimiento (q_f), que es la presión teórica de cálculo a la que rompe el terreno de apoyo de la cimentación, entre el factor de seguridad de 3,0 establecido por el CTE (2006). La q_f se calcula con la ecuación 4.8 del CTE (2006), usando los coeficientes y factores descritos en su anejo F.

Debe tenerse en cuenta que el factor de seguridad de 3,0 es elevadísimo, pues las

zapatas se dimensionan con la q_{adm} y ésta es sólo la tercera parte de la presión que, según los ensayos y los cálculos realizados, es capaz de resistir el suelo sin romperse.

El proyecto del edificio fija unos asientos diferenciales máximos entre zapatas contiguas de 10 mm. Esto quiere decir que si se superaran dichos asientos diferenciales, aparecerían grietas de tamaño inadmisibles en el edificio.

Hemos estimado los asientos de las zapatas por el método elástico, tal como propone el apartado 4.3 de Rodríguez Ortiz *et al.* (1995). El uso del método elástico es adecuado siempre que las presiones de las zapatas no superen la presión de preconsolidación del suelo (fijada por los ensayos edométricos entre 350 y 420 kN/m²). Se han calculado para las presiones admisibles de rotura (q_{adm}) de cada zapata, usando un coeficiente de Poisson de 0,15 y módulos de deformación deducidos a partir de la resistencia a compresión simple (tablas D.23 y D.24 del CTE, 2006). Los asientos medios se han estimado en el 85% del valor calculado para el centro de una zapata flexible según Rodríguez Ortiz *et al.* (1995).

Estudio geotécnico de tipo A (adecuado)

Este estudio se realiza con cuatro sondeos, cuya posición se muestra en la figura 1 y sus registros en la figura 2, así como con los resultados de todos los ensayos de laboratorio que se resumen en la tabla 2. El número de los reconocimientos de campo y de los ensayos de laboratorio ejecutados exceden las recomendaciones del CTE (2006).

Se identifica que hasta 8 m de profundidad existe una unidad arcillosa (CH) no saturada y de consistencia firme a muy firme (compresión simple entre 160 y 250 kN/m²). No es agresiva al hormigón (ni por su contenido de sulfatos ni por su acidez), ni es expansiva (según los ensayos de Lambe y de presión de hinchamiento). La semejanza de los

Tabla 4. Resultados del informe geotécnico barato (tipo B)

Criterio de cálculo	Combinaciones de reconocimiento	Parámetros de cálculo			Zapata cuadrada			Zapata corrida			Asiento diferencial máximo
		Cohesión (kN/m ²)	Rozam. interno	E (MN/m ²)	qadm (kN/m ²)	Asiento (mm)	Anchura (m)	qadm (kN/m ²)	Asiento (mm)	Anchura (m)	
C, ϕ y γ menores	P1-S2-P3-S4	25	20°	40 a 80	220	5 a 10	2,1	170	4 a 8	1,1	6 mm
	Otras	33	25°	40 a 80	400	8 a 14	1,5	280	5 a 10	0,7	9 mm
C, ϕ saturados. Factores N y S redondeados a la baja	P1-S2-P3-S4	15	20°	40 a 80	130	4 a 8	2,7	120	4 a 8	1,6	4 mm
	Otras	23	25°	40 a 80	250	6 a 11	2	230	5 a 10	0,9	6 mm

Tabla 5. Coste de cimentación del edificio según el tipo de estudio geotécnico realizado

Estudio tipo a (adecuado)			Zapata cuadrada 40 uds.			Zapata corrida 150 ml			Coste total cimentación (€)
			B (m)	€/zapata	€	B (m)	€/ml	€	
Estudios tipo b (barato)	C, ϕ y γ menores	P1-S2-P3-S4	1,8	225,99	9.039,60	0,8	55,34	8.301	17.340
		Otros	1,5	144,90	5.796,00	0,7	48,86	7.329	13.125
	C, ϕ saturados. Factores N y S redondeados a la baja	P1-S2-P3-S4	2,1	354,78	14.191,20	1,1	76,78	11.517	25.708
		Otros	2,0	279,00	11.160,00	0,9	62,82	9.423	20.583
			2,7	543,84	21.753,60	1,6	121,20	18.180	39.933

ocho ensayos SPT realizados en los cuatro sondeos (entre 13 y 19 golpes/30 cm) y también de los resultados de los ensayos de laboratorio confirman que la formación arcillosa se puede considerar homogénea a efectos prácticos (terreno T-1), aunque realmente tiene una heterogeneidad intrínseca que se evidencia en los resultados de los ensayos.

Por debajo de la arcilla hay más de 4 m de arenisca, que es muy resistente e indeformable ($q_u=8.500$ a 13.000 kN/m²), dentro de la cual se localiza el nivel freático. La unidad arcillosa es la única que condiciona la presión admisible y los asientos de la cimentación, mientras que la arenisca infrayacente es la base rígida del subsuelo.

La presión admisible de la cimentación se ha calculado con los valores medios de los resultados de los ensayos de laboratorio de la unidad arcillosa. Los asientos se han determinado con dicha presión admisible y los valores de módulo de deformación estimados, a priori, de los valores extremos de resistencia a compresión simple ($E=40$ a 80 MN/m²). La homogeneidad de la unidad arcillosa, el adecuado número de reconocimientos y de ensayos y la aplicación del factor de seguridad de 3,0 para determinar la presión admisible garantizan que los asientos y presiones admisibles calculadas son representativos de la unidad y que las

dimensiones resultantes de las zapatas son totalmente seguras. Los resultados obtenidos, reflejados en la *tabla 3*, indican que es viable la cimentación con zapatas superficiales, siempre que no se superen las presiones de trabajo de 310 kN/m² para las zapatas cuadradas de 1,8 m de lado, y de 240 kN/m² para las zapatas corridas de 0,8 m de anchura. Los asientos diferenciales entre zapatas nunca superan los 10 mm, por lo que son compatibles con la estructura propuesta. El coste económico de la cimentación del edificio con dichas zapatas ascendería a 17.340 euros (*tabla 5*).

Estudios geotécnicos de tipo B (baratos)

Este tipo de estudio geotécnico barato contempla la ejecución de dos sondeos y dos penetrómetros DPSH en las posiciones numeradas en la *figura 1*. Existen seis posibles combinaciones aleatorias (S1-P2-S3-P4 / S1-S2-P3-P4 / S1-P2-P3-S4 / P1-S2-S3-P4 / P1-S2-P3-S4 / P1-P2-S3-S4), cada una corresponde a un posible estudio geotécnico y, por lo tanto, sólo se contratará y ejecutará una de ellas. En las *figuras 2 y 3* se muestran los registros de los cuatro sondeos y los cuatro penetrómetros posibles, mientras que los resultados de los ensayos de laboratorio de cada sondeo pueden consultarse en la *tabla 2*.

En cada estudio el número de puntos de reconocimiento se ajusta a las especificaciones del CTE (2006). Con ellos se identifica una

unidad bastante homogénea (clasificada T-1 según el CTE, 2006) y relativamente blanda (8 a 15 golpes/20 cm en los registros de los penetrómetros), que llega hasta 8 m de profundidad. Es arcilla no saturada, de alta plasticidad (CH), de consistencia firme o muy firme y que no es expansiva ni agresiva al hormigón. Por debajo hay arenisca, que ofrece rechazo a la hincia y contiene al nivel freático. Es la unidad arcillosa la que condiciona la presión admisible y los asientos de la cimentación superficial.

En cada estudio geotécnico de tipo B se han contratado menos ensayos de laboratorio de los recomendados por el CTE (2006) para caracterizar la deformabilidad, la resistencia al corte y la agresividad de la formación arcillosa. Nunca han existido antecedentes de problemas geotécnicos en los edificios del entorno, por lo que las dos muestras en que se ha medido la agresividad pueden considerarse suficientes para confirmar que no es necesario emplear cementos especiales en las zapatas. Sin embargo, los dos ensayos de corte directo realizados en cada estudio son insuficientes para identificar con fiabilidad las presiones admisibles.

Suelen encontrarse justificaciones en los informes geotécnicos para avalar la falta de datos; así, por ejemplo, en el caso que nos ocupa podría redactarse que: "La unidad arcillosa es homogénea a los efectos geotécnicos prácticos, como lo confirman

los resultados de los cuatro ensayos SPT (siempre entre 13 y 19), de los dos penetrómetros DPSH (8 a 15 golpes/20 cm en ambos) y de los ensayos de laboratorio. Por lo tanto, el número de ensayos realizado es suficiente para asegurar que sus resultados son fiables y representativos de la unidad geotécnica que soportará la cimentación”.

A pasar de esta justificación, el técnico tiende a forzar los cálculos del lado de la máxima seguridad posible porque es consciente de que desconoce el grado de riesgo que realmente asume. En la *tabla 4* se muestran los resultados obtenidos en estos estudios baratos (tipo B) al hacer los cálculos de la presión admisible y de los asentos, con las mismas fórmulas usadas en el estudio de tipo A, pero modificando del lado de la seguridad los parámetros de cálculo. Los resultados se han obtenido aplicando dos criterios de cálculo diferentes, ambos del lado de la seguridad.

El primero estima los asentos para el centro de la zapata (mayores que los asentos medios) y usa para calcular q_{adm} los menores valores de cohesión (C), de ángulo de rozamiento interno (ϕ) y de peso específico aparente (γ) obtenidos en cada estudio. Dichos parámetros permiten agrupar los estudios en dos conjuntos: uno se corresponde a la combinación de reconocimientos P1-S2-P3-S4 ($C=33$ kN/m²; $\phi=25^\circ$, $\gamma=18$ kN/m³ y $E=40$ a 80 MN/m²); y el otro conjunto lo forman las otras cinco combinaciones ($C=25$ kN/m²; $\phi=20^\circ$, $\gamma=18$ kN/m³ y $E=40$ a 80 MN/m²). En cinco de los posibles estudios geotécnicos se propondrían zapatas cuadradas de 2,1 m de lado y corridas de 1,1 m de ancho, con un coste económico total de la cimentación del edificio de 25.708 euros (*tabla 5*), mientras que en el otro estudio se recomendarían zapatas más pequeñas (cuadradas de 1,5 m de lado y corridas de 0,7 m de ancho) y un gasto inferior de la cimentación (13.125 euros) según la *tabla 5*.

En el segundo criterio de cálculo mostrado en la *tabla 4* se emplean, además de las anteriores, otras dos “artimañas” para obtener un resultado que dé más seguridad al autor del informe. Una es calcular q_{adm} con los coeficientes N_c , N_q , N_γ , S_c , S_q y S_γ sin decimales, redondeando su valor a la baja. La otra consistiría en usar parámetros de

resistencia inferiores a los reales; por ejemplo, utilizando en terrenos no saturados los valores de C y ϕ obtenidos en ensayos de laboratorio ejecutados saturando la muestra (cuya resistencia es siempre menor que sin saturarla). En la *tabla 4* se ha supuesto que el ensayo saturado implicaría una pérdida de cohesión de 10 kN/m², sin afectar al valor del rozamiento interno. Los estudios recomendarían zapatas con dimensiones del orden de una tercera parte mayor que las propuestas con el criterio de cálculo comentado en el párrafo anterior y sus costes serían de 20.583 euros y de 39.933 euros según el tipo de estudio realizado (*tabla 5*).

Existen otras incorrecciones que es frecuente ver en estudios geotécnicos, como:

- Calcular la presión admisible en condiciones no drenadas, considerando $\phi=0^\circ$ y que C es la mitad de la resistencia a compresión simple. En un suelo no saturado, como el que nos ocupa, nunca existirán estas condiciones.
- Calcular los asentos con el ensayo edométrico. Este ensayo se realiza con muestra saturada y los asentos deducidos serían mayores que los reales.
- Considerar que la presión admisible del terreno es un parámetro intrínseco de la unidad geotécnica e independiente del tipo y dimensiones de la zapata. Lógicamente, se asignaría la q_{adm} menor, que corresponde al de una zapata corrida.

Conclusiones

A la vista del supuesto práctico analizado, se pueden obtener las siguientes conclusiones de interés:

- Un estudio geotécnico adecuado debe cumplir, al menos, todas las recomendaciones del CTE (2006). En este caso las propuestas de cimentación se pueden considerar fiables.
- Cuando se realiza un estudio geotécnico con número de reconocimientos y ensayos inadecuado (menores de las recomendaciones del CTE 2006), el técnico se ve obligado a aplicar criterios de seguridad adicionales a los establecidos por la norma.
- A pesar de ello, los resultados del estudio geotécnico pueden conducir a proponer

cimentaciones que reflejan un grado de seguridad menor que las obtenidas con un estudio adecuado. Tal es el caso del estudio de tipo B realizado con los reconocimientos P1-S2-P3-S4 y aplicando criterios de cálculo con C, ϕ y γ menores de los ensayados.

- A veces se utilizan criterios muy altos de seguridad, que incluso pueden ser fallos conceptuales graves, como es el caso del estudio de tipo B en el que se han aplicado valores de C y ϕ de ensayos saturados al terreno no saturado. Con ello se intenta evitar que la propuesta de cimentación sea más insegura que la que se obtendría realizando un estudio adecuado.
- La mayoría de los estudios geotécnicos inadecuados lleva a sobrecostes en la construcción de la cimentación que superan enormemente el ahorro en la contratación del estudio. En el caso expuesto, en un terreno favorable (T-1), el ahorro de 2.825 euros en el estudio geotécnico puede suponer sobrecostes de 22.593 euros por sobredimensionamiento de las zapatas.

Cuando una persona se va a comprar un coche, selecciona aquel que cubre adecuadamente sus necesidades con un coste más ajustado, pero no compra directamente el vehículo más barato que se le ofrece. De la misma manera, si una persona se encuentra muy enferma asistirá a la consulta de un médico que le ofrezca confianza y cuyos honorarios pueda asumir, pero no se pondrá en las manos del médico más barato que tenga a su alcance. Pues bien, de una manera similar, la causa de la mayor parte de los problemas de origen geotécnico tienen su origen en que las personas o entidades no suelen ser conscientes de los riesgos que asumen al contratar los estudios geotécnicos más baratos que se les ofrecen, creyéndose que ahorran dinero.

Bibliografía

- CTE (2006). *Documento Básico Seguridad Estructural-Cimientos del Código Técnico de la Edificación*, Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- Rodríguez Ortiz, J. M.; Serra Gesta, J. y Oteo Mazo, C. (1995). *Curso aplicado de cimentaciones*, Ed. COAM, 6ª edición.

La implantación de un sistema de gestión ambiental en una empresa

Un sistema de gestión ambiental permite incorporar a la gestión general de la empresa aspectos relacionados con el medio ambiente. El sistema de gestión ambiental ofrece una herramienta de trabajo para sistematizar las buenas prácticas ambientales que lleva a cabo la empresa y asegurar que se produce una mejora continua de las mismas.

TEXTO | María Valverde Hernández, licenciada en Ciencias Geológicas y auditora interna de Intecsa-Inarsa, S.A.

FOTOGRAFÍAS | Rosa Casaubón

Palabras clave

Sistemas de gestión ambiental, no conformidades, revisión del sistema, auditorías, política ambiental

Según la norma UNE-EN ISO 14001:2004, un sistema de gestión ambiental se define como: "Parte del sistema de gestión de una organización, empleada para desarrollar e implementar su política ambiental y gestionar sus aspectos ambientales".

Nota 1: "Un sistema de gestión es un grupo de elementos interrelacionados usados para establecer la política y los objetivos y para cumplir estos objetivos".

Nota 2: "Un sistema de gestión incluye la estructura de la organización, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos".

Definiciones (según ISO 14001:2004)

Las terminologías de la gestión ambiental son importantes para el entendimiento técnico del sistema. Las definiciones más importantes son:

- **Política ambiental.** Intenciones y dirección generales de una organización relacionadas con su desempeño ambiental.
- **Desempeño ambiental.** Resultados medibles de la gestión que hace una organización de sus aspectos ambientales.
- **Aspecto ambiental.** Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.



- **Objetivo ambiental.** Fin ambiental de carácter general coherente con la política ambiental que en una organización se establece.
- **Meta ambiental.** Requisito de desempeño detallado aplicable a la organización o a partes de ella, que tiene su origen en los objetivos ambientales y que es necesario establecer y cumplir para alcanzar dichos objetivos.
- **No conformidad.** Incumplimiento de un requisito.
- **Registro.** Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de las actividades desempeñadas.
- **Documento.** Información y su medio de soporte.
- **Procedimiento.** Forma especificada de llevar a cabo una actividad o proceso.

Ventajas de la implantación de un sistema de gestión ambiental

La implantación de un sistema de gestión ambiental no sólo tiene beneficios ecológicos, sino que también aporta una serie de beneficios económicos a una empresa:

- Se produce un ahorro de costes a corto y largo plazo a través del control y la reducción de consumos tanto

energéticos, como de agua y materias primas, y también de los residuos que se producen.

- Mejora la imagen de la empresa tanto fuera de la misma, como para los propios empleados, lo que aumenta la motivación de los mismos.
- Cumplimiento de la legislación vigente en materia ambiental, por lo que se evitan además posibles multas.
- Mejora la gestión empresarial y el rendimiento de la actividad empresarial.
- Anticipación al mercado y a las exigencias futuras.
- El cumplimiento de los requisitos de algún cliente.
- Posibilidad de captar clientes sensibles al tema ambiental.
- Ahorro en el tratamiento de vertidos, emisiones o residuos mediante planes de reducción.
- Disminución de importes de determinados seguros.
- La posibilidad de obtener méritos en concursos públicos (en algunos casos la certificación es requisito obligatorio).
- Determinadas exenciones legales (por ejemplo, exención de presentación de avales financieros en la futura ley de responsabilidad ambiental).

Normas de referencia

Los sistemas de gestión ambiental están basados en normas de referencia. La más extendida y certificable es la Norma ISO

El sistema de gestión ambiental tiene que estar bien planteado desde el inicio, estableciendo unos criterios que permitan evaluarlos de manera objetiva y que se puedan ir mejorando a lo largo del tiempo

14001. También existe el reglamento europeo EMAS que se basa en la norma ISO 14001, pero con requisitos adicionales (entre otros es necesaria una declaración pública ambiental).

Para las empresas, la adopción de las Normas Internacionales facilita a los proveedores basar el desarrollo de sus productos en el contraste de amplios datos de mercado de sus sectores, permitiendo así a los industriales concurrir cada vez más libremente y con eficacia en muchos más mercados del mundo.

El sistema de gestión ambiental tiene que estar bien planteado desde el inicio, habiéndose identificado exhaustivamente

todos los aspectos ambientales de la organización, y estableciendo unos criterios que permitan evaluarlos de manera objetiva y que se puedan ir mejorando a lo largo del tiempo. Así, se obtendrán aquellos aspectos ambientales significativos sobre los cuales la norma UNE-EN ISO 14001 nos obliga a establecer procedimientos de control operacional.

El control operacional es esencial en el funcionamiento del sistema en el día a día de la empresa. Cada operación debe estar planificada para realizarse dentro de las condiciones que permitan el control o reducción de los impactos adversos que tenga asociados.

No hay que confundir el control operacional con el seguimiento y medición. En el control operacional hay que planificar (establecer una metodología a seguir, establecer límites de control de parámetros). En el seguimiento y medición se comprobará que no incumplimos lo que planificamos en el control operacional, mediante mediciones o comprobaciones.

También es necesario implicar a los proveedores y subcontratistas, comunicándoles los procedimientos y requisitos aplicables en cuanto al control operacional cuando trabajan en las instalaciones de la empresa. Esta comunicación puede ser por vía de cláusula contractual o de especificaciones técnicas, o bien mediante entrega de documentación.

Otro aspecto fundamental para que funcione un sistema de gestión ambiental es que el personal que trabaja en la empresa se implique, y esto se consigue evitando que el sistema de gestión suponga una carga adicional de trabajo; simplemente debe formar parte de su pauta de trabajo habitual.

Aplicación de la norma ISO 14001 en una empresa (pasos a seguir)

Los pasos a seguir en la implantación de la norma UNE-EN ISO 14001, que es la única norma de requisitos certificables, son los siguientes:

1. La organización establece, documenta, implanta, mantiene y mejora



continuamente un sistema de gestión ambiental de acuerdo con los requisitos de la norma UNE-EN ISO 14001:2004 y determina cómo cumplirá con estos requisitos.

2. La organización planifica, implanta y pone en funcionamiento una política ambiental que tiene que ser apoyada y aprobada al máximo nivel directivo y dada a conocer tanto al personal de la propia organización como todas las partes interesadas. La política ambiental incluye un compromiso de mejora continua y de prevención de la contaminación, así como un compromiso de cumplir con la legislación y reglamentación ambiental aplicable.
3. Se establecen mecanismos de seguimiento y medición de las operaciones y actividades que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente.
4. La alta dirección de la organización revisa el sistema de gestión ambiental, a intervalos definidos, que sean suficientes para asegurar su adecuación y eficacia.
5. Si la organización desea certificar su sistema de gestión ambiental, contrata a una de las entidades de certificación, debidamente acreditada, para que certifique que el sistema de gestión ambiental, basado en la norma ISO 14001:2004, cumple todos los requisitos de la norma.

Elementos a implantar y desarrollar para cumplir la norma UNE-EN ISO 14001:2004 en una empresa

A la hora de implantar un sistema de gestión ambiental, inicialmente se debe realizar una evaluación ambiental previa (no es obligatoria pero sí recomendable), con el fin de diagnosticar la situación de la empresa con respecto a la legislación vigente y a las preocupaciones e inquietudes de la sociedad.

Un sistema de gestión ambiental de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 14001:2004 se articula a través de una serie de etapas:

- Política ambiental.
- Planificación:
 - Aspectos ambientales.
 - Requisitos legales y otros requisitos.
 - Objetivos, metas y programas.

A la hora de implantar un sistema de gestión ambiental, inicialmente se debe realizar una evaluación ambiental previa con el fin de diagnosticar la situación de la empresa con respecto a la legislación vigente y a las preocupaciones e inquietudes de la sociedad

• Implantación y funcionamiento:

- Recursos, funciones, responsabilidad y autoridad.
- Competencia, formación y toma de conciencia.
- Comunicación.
- Documentación.
- Control de documentos.
- Control operacional.
- Preparación y respuesta ante emergencias.

• Verificación:

- Seguimiento y medición.
- Evaluación del cumplimiento legal.
- No conformidad, acción correctiva y acción preventiva.
- Control de los registros.
- Auditoría interna.

• Revisión por la dirección.

A continuación se tratará más detalladamente cada uno de los elementos expuestos.

Evaluación ambiental inicial

Un sistema de gestión ambiental comienza por un compromiso de la empresa por querer realizar sus actividades respetando el medio ambiente.



Un primer paso para implantar un sistema de gestión ambiental puede ser realizar una revisión ambiental inicial, que no es obligatoria según la norma UNE-EN ISO 14001, pero sí según el sistema europeo de ecogestión y ecoauditoría EMAS. La revisión ambiental inicial se define según EMAS como “un análisis inicial exhaustivo de los aspectos, las repercusiones y el comportamiento medioambiental en relación con las actividades de una instalación”.

Esta revisión inicial puede incluir:

- Identificación de las disposiciones legales y reglamentarias.
- Identificación de los aspectos ambientales de sus actividades, productos o servicios para determinar los que tienen o pueden tener impactos ambientales significativos e implicar responsabilidades de la organización con respecto al exterior.
- Evaluación del comportamiento con respecto a criterios aplicables externos o internos, reglamentos, códigos de buenas prácticas, principios y líneas directrices.
- Prácticas y procedimientos existentes en materia de gestión ambiental.
- Identificación de las políticas existentes y de los procedimientos en materia de compras y subcontratación.
- Experiencia adquirida en incidentes anteriores relacionados con incumplimientos.

Técnicas habituales para realizar la revisión

- Cuestionarios.
- Entrevistas.
- Listas de verificación.
- Mediciones y exámenes directos.
- Revisión de registros.
- Análisis comparativos.

Las empresas pueden consultar fuentes de referencia exteriores

- Organismos oficiales.
- Bibliotecas o bases de datos locales o regionales.
- Otras organizaciones responsables de intercambio de información.
- Asociaciones industriales.
- Principales organizaciones de defensa de consumidores.
- Constructores de maquinaria utilizada.
- Relaciones comerciales.
- Asesoramiento profesional.

- Ocasiones para mejorar la competitividad.
- Puntos de vista de las partes interesadas.
- Funciones o actividades de otros sistemas de organización que puedan mejorar o penalizar el comportamiento ambiental.

- Incluye un compromiso de cumplir con la legislación y reglamentación ambiental aplicable y con otros requisitos que la organización suscriba.
- Proporciona el marco adecuado para establecer y revisar los objetivos y metas ambientales.
- Está documentada, implantada y mantenida al día y se comunica a todo el personal.
- Está a disposición del público.

Política ambiental

La alta dirección debe definir la política ambiental de la organización y asegurar que la misma:

- Es apropiada a la naturaleza, magnitud e impactos ambientales de sus actividades, productos y servicios.
- Incluye un compromiso de mejora continua y de prevención de la contaminación.

La política ambiental constituye el documento base sobre el que se han de establecer los objetivos y metas ambientales, por ello debe ser clara y capaz de ser entendida por las partes interesadas, tanto de dentro de la organización, como externas. Esta

La política ambiental constituye el documento base sobre el que se han de establecer los objetivos y metas ambientales y tiene que ser revisada periódicamente

política tiene que ser revisada periódicamente.

Aspectos ambientales

Un sistema de gestión ambiental se concibe para reducir o anular los impactos causados por las actividades, productos y servicios en el medio ambiente. Es, por lo tanto, necesario identificar y evaluar la importancia de dichos impactos para definir los puntos de actuación y las medidas de mejora.

Un aspecto ambiental es un elemento o característica de una actividad, producto o servicio de la organización susceptible de interactuar con el medio ambiente.

En un sistema de gestión ambiental hay que identificar todos los aspectos ambientales y posteriormente utilizar una metodología para evaluar dichos aspectos y conocer los que son significativos asociados a las actividades, productos o servicios.

La evaluación puede facilitarse teniendo en cuenta:

El auditor en relación con la política ambiental debe

- Comprobar que la política ha sido comunicada a todos los empleados.
- Comprobar que se encuentra a disposición de todo el mundo.
- Comprobar que incluye un compromiso de cumplir con la legislación y prevención de la contaminación.
- Comprobar que incluye un compromiso de mejora continua.
- Comprobar que incluye fecha de revisión, aprobación y firma de alta dirección.

No conformidades más frecuentes en relación con la política

- La política no ha sido comunicada a todos los empleados.
- No se encuentra en lugares claramente visibles dentro de las instalaciones de la organización.
- No contiene medidas apropiadas para el control de documentos como, por ejemplo, fecha de entrada en vigor, fecha de revisión, firma de alta dirección.

Datos ambientales

- Grado de impacto.
- Severidad del impacto.
- Probabilidad.
- Persistencia del impacto.

Datos económicos

- Posible existencia de disposiciones legales y reglamentarias.
- Dificultad de cambiar el impacto.
- Coste de cambiar el impacto.
- Efecto de un cambio sobre actividades y procesos.
- Preocupación de las partes interesadas.
- Efecto sobre la imagen de la empresa.





Se deben considerar los siguientes aspectos, entre otros:

- Emisiones atmosféricas.
- Vertidos al agua.
- Gestión de residuos.
- Contaminación del suelo.
- Empleo de materias primas y recursos naturales.
- Otras cuestiones ambientales locales y que afecten a la comunidad.

Estos aspectos se deben considerar tanto en condiciones de funcionamiento normales, condiciones de parada y arranque de las actividades, así como impactos potenciales asociados a situaciones de emergencia que sean previsibles.

Requisitos legales y otros requisitos

Uno de los compromisos más importantes de la política ambiental es el cumplimiento de las leyes y reglamentaciones ambientales.

La empresa debe establecer, implementar y mantener uno o varios procedimientos para identificar y tener acceso a los requisitos legales aplicables y otros requisitos que la organización suscriba relacionados con sus aspectos ambientales y determinar cómo se aplican estos requisitos a sus aspectos ambientales (apartado 4.3.2. de la norma ISO 14001:2004).

La legislación de interés para la empresa se vertebra en los ámbitos europeo, estatal, autonómico y local, encontrando en cada uno de ellos las siguientes figuras principales:

Ámbito europeo	Ámbito nacional	Ámbito autonómico	Ámbito local
– Reglamentos – Directivas – Decisiones	– Ley – Decreto Ley – Real Decreto – Orden	– Ley – Decreto – Ordenanza	– Ordenación – Disposición

Por su carácter de obligado cumplimiento cabe señalar que disposiciones específicas sobre medio ambiente pueden venir también recogidos en documentos tales como:

- Licencias de apertura y modificación.
- Permisos.
- Autorizaciones.

Entre las áreas medioambientales cubiertas por la legislación vigente se encuentran, entre otras, atmósfera, agua, flora, fauna, hábitat, recursos, residuos, suelos.

Para identificar la reglamentación en materia de medio ambiente y las modificaciones vigentes se pueden consultar diversas fuentes:

El auditor debe comprobar que	Las no conformidades más frecuentes son
<ul style="list-style-type: none"> – Que la organización tiene identificados todos los aspectos ambientales. – Que se realiza una evaluación de dichos aspectos. – Que la información sobre aspectos ambientales está actualizada. – Comprobar que existe un procedimiento para identificación y evaluación de aspectos. – Evaluar y determinar de qué forma tiene en cuenta la organización los aspectos ambientales significativos a la hora de definir objetivos y metas. – Si se ha identificado la legislación en relación con los aspectos ambientales significativos. 	<ul style="list-style-type: none"> – No se han identificado los aspectos ambientales que la organización puede controlar y sobre los que se puede esperar que tenga influencia. – No se han evaluado los aspectos ambientales. – No se actualiza la información.

- Organismos oficiales.
- Asociaciones o agrupaciones comerciales.
- Bases de datos comerciales.
- Servicios profesionales.

Para conocer la reglamentación que le aplica a las empresas se pueden utilizar los siguientes servicios:

Suscripción a	Suscripción a un servicio externo especializado	Suscripción a publicaciones sobre legislación ambiental
<ul style="list-style-type: none"> – Diario Oficial de las Comunidades Europeas (DOCE). – Boletín Oficial del Estado (BOE). – Boletines autonómicos. – Boletines locales. 	<ul style="list-style-type: none"> – Envío periódico de toda la legislación que aplica a la empresa. – Envío de boletines explicando la legislación que aplica a la empresa y de qué forma. – Conexión a una base de datos de legislación. 	<ul style="list-style-type: none"> – A través de asociaciones, federaciones y cámaras de comercio.

La organización debe establecer, implementar y mantener documentados los objetivos y metas ambientales para cada una de las funciones y niveles relevantes dentro de la organización

Objetivos, metas y programas

La organización debe establecer, implementar y mantener documentados los objetivos y metas ambientales para cada una de las funciones y niveles relevantes dentro de la organización.

Cuando se establezcan y revisen estos objetivos, la organización debe considerar los requisitos legales y otros requisitos, sus aspectos ambientales significativos, sus opciones tecnológicas y sus requisitos financieros operacionales y de negocio, así como la opinión de las partes interesadas.

Los objetivos y metas deben ser consecuentes con la política ambiental, incluido el compromiso de prevención de la contaminación.

Los progresos realizados en la dirección del objetivo perseguido pueden medirse, en general, con ayuda de indicadores de comportamiento ambiental, como los que se muestran en la siguiente tabla:

Ejemplos de indicadores de comportamiento ambiental

- Cantidad de materias primas o energía utilizadas.
- Cantidad de emisiones como, por ejemplo, CO₂.
- Cantidad de residuos producidos por cantidad de productos manufacturados.
- Rendimiento en la utilización de los materiales y de la energía.
- Número de incidentes/accidentes relacionados con el medio ambiente.
- Porcentaje de materiales reciclados que entren en la composición del embalaje.
- Litros de combustible consumido por los vehículos por número de kilómetros recorridos.
- Cantidades de determinados contaminantes específicos como: NO_x, SO₂, CO, HC, Pb, CFC.
- Inversión en protección ambiental.
- Número de demandas judiciales.
- Etc.



Para cumplir este requisito es necesario disponer de un buen programa de control de la documentación para gestionar, actualizar y controlar los documentos, datos, reglamentaciones y normas relacionadas con el medio ambiente.

Otros requisitos a los que la organización puede someterse son:

- Códigos de buenas prácticas industriales.
- Acuerdos con autoridades públicas.
- Directrices o pautas de comportamiento no reglamentarias.

Un auditor debe comprobar en relación a este requisito	Las no conformidades más frecuentes son
<ul style="list-style-type: none"> – Que la organización ha identificado todos los requisitos legales y otros requisitos. – Comprobar cómo se controla y actualiza esta información. 	<ul style="list-style-type: none"> – El procedimiento no hace referencia a cómo se han identificado los requisitos a que la organización se somete. – Los requisitos legales y otros requisitos (basándose el auditor en un muestreo) no se encuentran accesibles en el momento de llevarse a cabo la auditoría.

La organización debe establecer, implementar y mantener uno o varios programas de gestión ambiental para lograr los objetivos y metas.

Estos programas deben incluir:

- Asignación de responsabilidades para lograr los objetivos y metas en cada función y nivel relevante de la organización.
- Los medios y calendario en el tiempo en que han de ser alcanzados.

La alta dirección de la organización debe designar uno o varios representantes específicos que, sin perjuicio de otras responsabilidades, tengan definidas sus funciones, autoridad y responsabilidades para:

- Asegurar que los requisitos del sistema de gestión ambiental están establecidos, implantados y mantenidos al día de acuerdo con la norma internacional.

- Tener autoridad y libertad suficiente delegada por la dirección de la empresa.
- Conocer otras metodologías de gestión.

Un auditor debe comprobar que	Las no conformidades más comunes son
<ul style="list-style-type: none"> - Se han asignado responsabilidades para alcanzar los objetivos y metas. - Determinar el grado de competencia y eficacia del cumplimiento de los objetivos del programa. - Existencia de medidas eficaces de control de las modificaciones que permitan la integración de un plan específico relativo a las actividades, productos o servicios nuevos o modificados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los procesos de control de las modificaciones establecidos en el diseño de los objetivos y metas son inadecuados. - La organización no ha tenido en cuenta todos los requisitos, opciones y aspectos ambientales significativos asociados a la hora de establecer y llevar a cabo sus objetivos. - No se han establecido y definido las responsabilidades, el calendario y los medios. - Los programas de gestión ambiental no tienen en cuenta los nuevos desarrollos o las modificaciones de las actividades, productos o servicios.

Recursos, funciones, responsabilidad y autoridad

Las funciones, responsabilidades y autoridad deben estar definidas y documentadas y se debe informar para facilitar la eficacia de la gestión ambiental.

- **Funciones.** Las tareas que debe llevar a cabo cierta persona o grupos de personas para poder implantar eficazmente el sistema.
- **Responsabilidades.** Aquellas personas o grupos de personas responsables de llevar a cabo las tareas tal y como fueron diseñadas.
- **Autoridad.** Persona o grupos de personas a las que se les ha asignado cierto poder oficial para controlar que los requisitos globales del sistema se implanten de forma eficaz.

La dirección debe proveer los recursos esenciales para la implantación y control del sistema de gestión ambiental. Estos recursos incluyen tanto recursos humanos y conocimientos especializados, como recursos tecnológicos y financieros.

Las funciones, responsabilidades y autoridad deben estar definidas y documentadas y se debe informar para facilitar la eficacia de la gestión ambiental

- Informar del funcionamiento del sistema de gestión ambiental a la alta dirección para su revisión y como base para la mejora del sistema.

El responsable de la gestión ambiental se debe caracterizar por:

- Tener una formación apropiada en medio ambiente.
- Tener capacidad para dirigir y coordinar grupos de trabajo.
- Poseer conocimientos suficientes de la organización y necesidades de la empresa.

No conformidades relacionadas con este requisito

- No se han comunicado las funciones, responsabilidades y la autoridad a todos los niveles y funciones correspondientes del sistema de gestión ambiental de la organización.
- No se han proporcionado los recursos esenciales para la implantación y control del sistema de gestión ambiental al personal clave encargado de llevar a cabo tareas específicas.
- El representante de la dirección es una persona que no forma parte del equipo directivo y se han detectado durante la auditoría evidencias de que no cuenta con la autoridad suficiente sobre la dirección.

Competencia, formación y toma de conciencia

La organización debe identificar las necesidades de formación. Se requiere que todo el personal cuyo trabajo pueda generar un impacto significativo sobre el medio ambiente haya recibido una formación adecuada.

La organización debe establecer y mantener al día procedimientos para concienciar a los empleados o miembros en cada nivel o función relevante de:

- La importancia del cumplimiento de la política ambiental y de los procedimientos y requisitos del sistema de gestión ambiental.
- Los impactos ambientales significativos, actuales o potenciales de sus actividades y los beneficios para el medio ambiente de su mejor comportamiento personal.
- Sus funciones y responsabilidades en el logro del cumplimiento de la política y procedimientos ambientales y de los requisitos del sistema de gestión ambiental, incluyendo los requisitos relativos a la preparación y a la respuesta ante situaciones de emergencia.
- Las consecuencias potenciales de la falta de seguimiento de los procedimientos de funcionamiento especificados.

Las principales no conformidades en relación con la formación son

- No existe un plan de formación.
- No se incluyen en los registros de formación, la experiencia o los conocimientos.
- Los procedimientos de formación no hacen referencia a cómo se comunica al personal pertinente las consecuencias potenciales de la falta de seguimiento de los procedimientos de funcionamiento especificados.
- No aparece en los registros de formación del responsable de establecer, implantar y controlar los procedimientos del sistema de gestión ambiental, evidencias documentadas de haber recibido la formación adecuada en relación con los requisitos de la norma ISO 14001.
- Los empleados, el personal administrativo o los subcontratistas no han recibido la formación apropiada relativa a la preparación y a la respuesta ante situaciones de emergencia.

La motivación es fundamental para avanzar en un proceso de mejora continua y se puede conseguir a través de:

- Programas de divulgación.
- Reconocimiento al alcanzar los objetivos y metas ambientales.
- Sugerencias para mejorar los resultados ambientales.
- Participación en iniciativas ambientales.

Es necesario identificar las necesidades de formación del personal para adaptarlas a los objetivos y metas ambientales. Es conveniente que el personal reciba una formación teórica y práctica basada en:

- Exigencias legales y reglamentación.
- Normas internas ambientales.
- Política, objetivos y metas ambientales.
- Impactos ambientales de los procesos y forma de reducirlos.

La necesidad de información y formación del personal varía con la ocupación y nivel de cada empleado. Mientras que el personal directivo necesita información para defender la implantación del sistema y dirigir las discusiones, el personal intermedio precisa formación dirigida a discutir, elaborar y dirigir la implantación de los documentos del sistema de gestión ambiental y, finalmente, el personal de operación necesita formarse en las aplicaciones prácticas.

Los programas de formación han de contemplar al menos las siguientes cuestiones:

- Identificación de necesidades de formación de los empleados.
- Actualización del plan de formación.
- Idoneidad del programa en relación a las exigencias reglamentarias y de organización.
- Formación en grupos.
- Documentación de la formación recibida.
- Evaluación de la formación.

Es necesario preparar un plan de formación en el que se identifiquen:

- Quién debe someterse a un proceso de información/formación.
- Qué conocimientos e informaciones deben ser aportados.
- Cuáles son sus objetivos.
- Cómo debe impartirse.

La organización debe establecer, implementar y mantener uno o varios procedimientos para identificar situaciones potenciales de emergencia y accidentes potenciales

Comunicación

La organización debe establecer y mantener al día procedimientos para:

- La comunicación interna entre los diversos niveles y funciones de la organización.
- Recibir, documentar y responder a las comunicaciones relevantes de partes interesadas externas.

La organización debe determinar si quiere o no difundir externamente y cómo hacerlo, en caso afirmativo, todos los temas relativos a los aspectos ambientales significativos.

El tipo de comunicación que puede describir la organización en los procedimientos del sistema de gestión ambiental puede ser el siguiente:

- Modificaciones en la política y procedimientos del sistema de gestión ambiental.
- Modificaciones en los aspectos ambientales identificados.
- Modificaciones en programa o programas de gestión ambiental destinado(s) a establecer los objetivos y metas.
- Modificaciones de la legislación ambiental aplicable.
- Información relativa al estado actual del sistema de gestión ambiental destinada al proceso de revisión por la dirección.
- Información destinada a la Administración y a otras partes interesadas, relativa a los planes de respuesta ante situaciones de emergencia, incluida información acerca del cumplimiento con los reglamentos.
- Modificación a las partes interesadas, tanto internas como externas, con relación a las revisiones por la dirección, encuestas, estudios de impacto y auditorías del sistema de gestión ambiental y a las inspecciones reglamentarias.

Principales no conformidades relacionadas con este requisito

- Los procedimientos no describen adecuadamente las responsabilidades y la autoridad asignada al personal interno necesarias para recibir, responder y documentar las comunicaciones de las partes interesadas externas.
- El procedimiento exige que se documenten las comunicaciones internas y, sin embargo, éstas se transmiten de forma verbal.
- No estaban disponibles los registros de las comunicaciones externas relativas a los aspectos ambientales de la organización.

Documentación

La organización debe establecer y mantener al día, en papel o en formato electrónico, la información para:

- Describir los elementos básicos del sistema de gestión y su interrelación.
- Orientar sobre la documentación de referencia.

La organización debe identificar aquellas operaciones y actividades que están asociadas con los aspectos ambientales significativos identificados, conforme a su política, objetivos y metas, y planificar estas actividades, incluyendo el mantenimiento



La documentación del sistema de gestión ambiental debe incluir:

- La política, objetivos y metas ambientales.
- Descripción del alcance del sistema de gestión ambiental.
- Descripción de los elementos principales del sistema de gestión ambiental y su interacción, así como la referencia a los documentos relacionados.
- Documentos, incluyendo los registros requeridos en la norma.
- Documentos, incluyendo los registros determinados por la organización como necesarios para asegurar la eficacia de la planificación, operación y control de procesos relacionados con sus aspectos ambientales significativos.

Control de la documentación

La organización debe establecer y mantener al día procedimientos para controlar toda la documentación requerida por la Norma ISO 14001, para asegurar que:

- Pueda ser localizada.
- Sea examinada periódicamente, revisada cuando sea necesario y aprobada por personal autorizado.
- Las versiones actualizadas de los documentos apropiados están disponibles en todos los puntos donde se

lleven a cabo operaciones fundamentales para el funcionamiento efectivo del sistema de gestión ambiental.

y responsabilidades relativos a la elaboración y modificación de los distintos tipos de documentos.

El auditor debe comprobar	Las no conformidades más frecuentes
<ul style="list-style-type: none"> - Si la documentación ha sido aprobada por el personal autorizado. - Si están controlados los documentos obsoletos. - Si están identificados los documentos obsoletos que se guardan con fines legales o para conservar la información. - Si los documentos son legibles y fácilmente identificables. - Las fechas de los documentos. - Los procedimientos para asignar las responsabilidades con relación a la elaboración, modificación (control de los cambios) de los distintos tipos de documentos. 	<ul style="list-style-type: none"> - La documentación del sistema de gestión ambiental no está disponible en todos los puntos donde se llevan a cabo operaciones fundamentales para el funcionamiento eficaz del sistema. - Se descubren documentos obsoletos en áreas operacionales. - La documentación no presenta evidencias de que haya sido revisada y aprobada por personal autorizado. - No se llevan a cabo los métodos de control de la documentación, tal como se exige en los procedimientos.

- Los documentos obsoletos se retiran rápidamente de todos los puntos de uso o distribución o se asegure de otra manera que no se haga de ellos un uso inadecuado.
- Los documentos obsoletos que se guarden con fines legales o para conservar la información están adecuadamente identificados.

La documentación debe ser legible, fechada (con fechas de revisión) y fácilmente identificable, conservada de manera ordenada y archivada por un periodo especificado. Deben establecerse y mantenerse actualizados procedimientos

Control operacional

La organización debe identificar aquellas operaciones y actividades que están asociadas con los aspectos ambientales significativos identificados, conforme a su política, objetivos y metas. La organización debe planificar estas actividades, incluyendo el mantenimiento y para asegurar que se efectúan bajo condiciones especificadas:

- Estableciendo y manteniendo al día procedimientos documentados para cubrir situaciones en las que su

ausencia podría llevar a desviaciones de la política, los objetivos y metas ambientales.

- Estableciendo criterios operacionales en los procedimientos.
- Estableciendo y manteniendo al día procedimientos relativos a aspectos ambientales significativos identificables de los bienes y servicios utilizados por la organización y comunicando los procedimientos y requisitos aplicables a los proveedores y subcontratistas.

Una vez detectadas las no conformidades y su causa, se debe definir y poner en marcha la acción correctiva más apropiada registrando todos los cambios que se realicen

operacionales relevantes y de la conformidad con los objetivos y metas ambientales de la organización.

Los equipos de inspección deben estar calibrados y someterse a mantenimiento, y los registros de este proceso deben conservarse de acuerdo con los procedimientos de la organización.

Los indicadores de comportamiento ambiental constituyen un medio adecuado para evaluar y describir el comportamiento ambiental alcanzado por una organización.

Operaciones directamente vinculadas a productos y servicios	Operaciones indirectamente vinculadas
<ul style="list-style-type: none"> - Marketing y publicidad. - Diseño y desarrollo. - Producción y mantenimiento. - Almacenamiento, materias primas y productos. - Distribución. - Laboratorios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de tecnología. - Construcción de instalaciones. - Adquisición de propiedades. - Selección de personal. - Inversiones de activos.

No conformidades más frecuentes relacionadas con control operacional
<ul style="list-style-type: none"> - No se encuentran disponibles procedimientos operacionales para el mantenimiento de las operaciones que afectan a los aspectos ambientales significativos de la organización. - Los procedimientos operacionales no se encuentran inmediatamente disponibles en el momento de llevar a cabo la auditoría. - No se puede verificar la comunicación de los procedimientos y los requisitos correspondientes a los proveedores y a los subcontratistas. - Los diagramas de flujo empleados como procedimientos operacionales no hacen posible que los operarios lleven a cabo todas las tareas requeridas por los procedimientos formales documentados.

Preparación y respuesta ante emergencias

La organización debe establecer, implementar y mantener uno o varios procedimientos para identificar situaciones potenciales de emergencia y accidentes potenciales que puedan tener impactos en el medio ambiente y cómo responder ante ellos.

La organización debe revisar periódicamente estos planes y modificar cuando sea necesario los procedimientos de preparación y respuesta ante emergencias, en particular después de que ocurran accidentes o situaciones de emergencia.

La organización debe realizar pruebas periódicas (simulacros).

Seguimiento y medición

La organización debe establecer, implementar y mantener al día procedimientos documentados para controlar y medir de forma regular las características clave de sus operaciones y actividades que puedan generar un impacto significativo en el medio ambiente. Esto debe incluir el registro de la información de seguimiento del funcionamiento, de los controles

No conformidades más frecuentes relacionadas con este requisito
<ul style="list-style-type: none"> - No se han identificado los accidentes potenciales y las situaciones de emergencia de todas las actividades correspondientes a la organización. - La organización no ha determinado cómo reducir la gravedad de los impactos ambientales que puedan estar asociados con los accidentes y las situaciones de emergencia. - No se ha comprobado o revisado, siempre que haya sido posible, el procedimiento relativo a los planes de emergencia y respuesta, en particular después de haber ocurrido accidentes o situaciones de emergencia. - No se han realizado simulacros (periódicamente).

No conformidades más frecuentes relacionadas con este requisito
<ul style="list-style-type: none"> - Los controles y mediciones de las características clave no se llevan a cabo de forma periódica y planificada. - El registro de la información para el seguimiento del funcionamiento no se realiza de forma periódica (a intervalos previstos). - No estaban disponibles los registros de calibración y el mantenimiento de todos los equipos de inspección utilizados para controlar las características clave que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente.

Evaluación del cumplimiento legal

La organización debe establecer, implementar y mantener uno o varios procedimientos para evaluar periódicamente el cumplimiento con los requisitos legales aplicables y otros requisitos que la organización suscriba. La organización debe conservar el registro de dichas evaluaciones.

No conformidades más comunes relacionadas con este requisito
<ul style="list-style-type: none"> - No se lleva a cabo la evaluación periódica del cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos que la organización suscriba. - No se conservan registros de las evaluaciones periódicas llevadas a cabo.

No conformidad, acción correctiva y acción preventiva

Se puede entender como una no conformidad ambiental:

- Desviaciones de la política ambiental.
- Desviaciones con respecto a los procedimientos del sistema de gestión ambiental.



- Desviaciones de los objetivos, metas y programas de gestión ambiental.
- Desviaciones de los requisitos legales y otros requisitos que la organización suscriba.
- Vertidos al entorno, accidentes ambientales y situaciones de emergencia.
- Otras desviaciones del sistema de gestión ambiental donde no se requieran formalmente procedimientos, incluidos el proceso de revisión por la dirección y la asignación de los recursos esenciales para la implantación y el control del sistema de gestión ambiental.

La organización debe establecer, implementar y mantener al día procedimientos que definan la responsabilidad y autoridad para controlar e investigar las no conformidades, analizando las causas de las mismas y llevando a cabo acciones encaminadas a la reducción de cualquier impacto producido, así como para iniciar y completar acciones correctivas y preventivas correspondientes.

Una vez detectadas las no conformidades y su causa, se debe definir y poner en marcha la acción correctiva más apropiada, así como desarrollar o modificar las medidas necesarias para evitar su repetición (acción preventiva), registrando todos los cambios que se realicen.

Entre las acciones correctivas a considerar se encuentran:

- Cambio del método de trabajo mediante la modificación del procedimiento o instrucción de trabajo.

- Cambios en objetivos, metas y programas de gestión ambiental (asignando otras responsabilidades, medios, etc.).
- Inversión en nuevas máquinas o equipos tanto de trabajo como de verificación.
- Cambios en operaciones complementarias (muestreos, técnicas analíticas...).

Todo debe quedar debidamente registrado en los formatos destinados a tal efecto.

No conformidades más frecuentes relacionadas con este requisito

- No se ha definido la responsabilidad y autoridad para todas las actividades incluidas en controlar, investigar, llevar a cabo acciones encaminadas a la reducción de cualquier impacto producido, iniciar y completar las acciones correctivas y preventivas.
- No se toman acciones preventivas eficaces para eliminar las causas de no conformidades potenciales.
- No se toman acciones correctivas eficaces para eliminar las causas de no conformidades reales.
- La organización no ha implantado ni registrado eficazmente en sus procedimientos aquellos cambios que llegan como consecuencia de acciones correctivas y preventivas.

Control de los registros

La organización debe establecer y mantener los registros que sean necesarios para demostrar la conformidad con los requisitos de su sistema de gestión ambiental y de la norma UNE-EN ISO 14001 y para probar los resultados logrados.

La organización debe establecer, implementar y mantener uno o varios procedimientos para la identificación, el almacenamiento, la protección, la recuperación, el tiempo de retención y la disposición de los registros.

Los registros deben ser legibles, identificables y podrán estar relacionados con la actividad, producto o servicio. Los registros deben ser guardados y conservados de forma que puedan recuperarse fácilmente y estén protegidos contra daños, deterioro o pérdida.

Dentro de los registros hay que incluir los relativos a la formación y resultados de auditorías y revisiones.

Ejemplos de registros

- Información sobre la legislación ambiental aplicable u otros requisitos.
- Registro de quejas.
- Registros de formación.
- Información sobre el proceso productivo.
- Información sobre el producto.
- Registros de inspección, mantenimiento y calibración.
- Información sobre subcontratistas y proveedores.
- Registros de incidencias.
- Registro sobre aspectos ambientales.
- Resultado de auditorías.
- Revisión por la dirección.

No conformidades relacionadas con este requisito

- No han sido indicados los tiempos de conservación de los registros.
- Los registros extraídos mediante muestreo indican que la información que contienen es incompleta.
- No existe evidencia objetiva en los registros revisados que indique la relación con la actividad, producto o servicio.
- Los registros no se conservan en las localizaciones y áreas especificadas en el procedimiento.

Auditoría interna

La organización debe establecer y mantener al día programa(s) y procedimientos para que se realicen de forma periódica auditorías del sistema de gestión ambiental con objeto de:

- Determinar si el sistema de gestión ambiental cumple los planes establecidos para la gestión ambiental, incluyendo los requisitos de esta norma

internacional y ha sido adecuadamente implantado y mantenido.

- Suministrar información a la dirección sobre los resultados de las auditorías.

Estos procedimientos deben cubrir el alcance de la auditoría, la frecuencia y las metodologías, así como las responsabilidades y requisitos para llevar a cabo auditorías e informar de los resultados.

A la hora de implantar un procedimiento de auditoría la empresa puede recurrir a la norma UNE-EN ISO 19011.

El procedimiento de auditoría del sistema debe establecer claramente:

- Las funciones y responsabilidades relacionadas con la ejecución de las auditorías y las de los auditores.
- Los criterios de cualificación de auditores internos.
- El programa de auditoría del centro o empresa.
- Procedimiento de realización de auditoría.

Para determinar la frecuencia adecuada de las auditorías deben tenerse en cuenta principalmente la magnitud de los impactos ambientales asociados a las actividades de la empresa y las dimensiones de ésta. En grandes centros productivos no debería ser superior a un año.

La decisión de utilizar auditores internos o externos debe ser sopesada por la empresa. Es aconsejable la utilización de auditores externos en determinadas ocasiones como:

- En la realización de la primera auditoría.
- Para la formación de auditores internos.

- Cuando la dirección de la empresa considere que sus auditores no son lo suficientemente independientes (en pequeñas empresas o en empresas grandes para auditar la dirección y el departamento de gestión ambiental).
- Cuando existen problemas en el sistema que llevan tiempo sin resolverse.

No conformidades más comunes en relación con este requisito

- No existe evidencia objetiva de que las auditorías se planifiquen en función de la importancia ambiental de la actividad implicada y de los resultados de las auditorías previas.
- El plan no indica la duración de la auditoría ni las fechas en las que se llevó a cabo.
- No se ha actualizado el plan de auditorías.
- En los procedimientos no se hace referencia a la necesidad de informar de los resultados a la dirección o, en el caso de que sí se haya contemplado dicha necesidad en los procedimientos, no se ha implantado en el programa de auditoría.

Revisión por la dirección

La alta dirección de la organización debe revisar el sistema de gestión ambiental a intervalos definidos que sean suficientes para asegurar su adecuación y su eficacia continuadas. El proceso de revisión por la dirección debe asegurar que se recoge toda la información necesaria para que la dirección pueda llevar a cabo esta evaluación. Esta revisión debe estar documentada.

La revisión por la dirección debe atender a la eventual necesidad de cambios en la política, objetivos y otros elementos del sistema de gestión ambiental, las circunstancias cambiantes y el compromiso de mejora continua.

La revisión debe incluir:

- Resultados de las auditorías.
- Extensión con la que se han cumplido objetivos y metas.

- Adecuación continuada del Sistema de Gestión Ambiental en relación con las condiciones cambiantes y a la información.
- Los motivos de preocupación que surjan entre las partes interesadas.

Entre los elementos que van a intervenir y condicionar la revisión del Sistema de Gestión Ambiental se incluyen:

- El nivel de comportamiento ambiental alcanzado.
- Grado de cumplimiento de objetivos y metas ambientales establecidos.
- Evolución del estado de arte sobre aspectos y efectos ambientales asociados a las operaciones de la empresa.
- Requisitos de la norma previstos en el futuro.
- Evolución de los conceptos de mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales.
- La confirmación de la existencia o no de determinados impactos.
- La opinión de las partes interesadas.
- Los planes existentes en la empresa (expansión, reconversión, adquisición, diversificación, especialización, nuevas ubicaciones, *marketing*).
- Los requisitos financieros y operacionales y los cambios en las estructuras de los costes.
- La eficacia del sistema implantado.

No conformidades más comunes en relación con este requisito

- No están disponibles o son incompletas las evidencias objetivas que indican quién, en la alta dirección de la organización, debe llevar a cabo la revisión del sistema de gestión ambiental.
- La documentación utilizada en la revisión por la dirección no hace referencia a las circunstancias cambiantes que afectan al sistema de gestión ambiental. Asimismo, no se indica cómo se tuvieron en cuenta y cómo se revisan.

Bibliografía

AENOR (2004). *Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso* (ISO 14001:2004).

AENOR (2002). *Aspectos ambientales. Identificación y evaluación*.

AENOR (2002). *Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad o ambiental*.

Mauritania 07

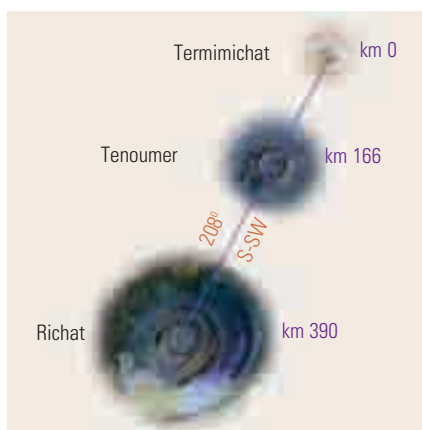
Tras la huella de un impacto múltiple de meteoritos

El Museo de Ciencias Naturales del Cabildo de Tenerife lleva años interesado en la investigación de los impactos de meteoritos en la región norte de Mauritania, habiendo organizado varias expediciones a ese país y diversas exposiciones y actividades sobre el tema. En marzo del año 2007, el entonces director, el geólogo-paleontólogo Francisco García-Talavera Casañas, junto con Jesús Martínez Frías, a la sazón director del Laboratorio de Geología Planetaria del Centro de Astrobiología (CAB) y experto en meteoritos, promovieron una expedición a la región del Adrar, en el desierto al noroeste de Mauritania, donde se registraban diversos cráteres de impacto, de los que existía escasa información geológica, y la controvertida estructura circular de Richat.

TEXTO Y FOTOS | Fernando López Vera y equipo científico

La alineación de los cráteres de impacto y la distancia entre ellos en la región mauritana del Adrar dio origen a la hipótesis de un impacto triple, propuesta en 2006 por Francisco García-Talavera. Esta hipótesis sirvió de base a un modelo físico-matemático desarrollado por Francisco Sobrón Grañón, profesor del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid, con la colaboración de Fernando Rull Pérez, catedrático de Cristalografía de la misma universidad, y ambos miembros de la Unidad Asociada al Centro de Astrobiología. La verificación de este modelo constituyó nuestra línea de trabajo (figura 1).

El interés del Museo de Ciencias Naturales, además de recoger material para sus colecciones, radicaba en que si la estructura de Richat tenía su origen en un impacto —como ya propuso en 1995 García-Talavera en el Coloquio de Chinguetti (Mauritania)—, por sus dimensiones debería haber tenido efectos paleoambientales en todo el cuadrante noroeste de África, incluido el archipiélago canario. Aunque la génesis de esta estructura circular en la actualidad se atribuye a un domo, los primeros análisis de las muestras recogidas in situ sugieren que el debate aún no está cerrado.



Palabras clave
Meteoritos, impacto meteorítico, Mauritania, Adrar, Richat

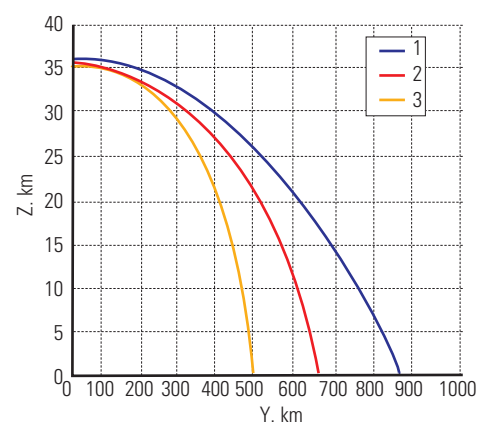


Figura 1. Izquierda: foto obtenida por la NASA sobre la posición de los tres cráteres perfectamente alineados con Richat y sus distancias. Derecha: resultados del modelo de simulación en ordenador de la trayectoria de caída de un objeto masivo de $13E10$ kg que se escinde en tres fragmentos a la altura de 35 km y que impacta a las distancias de los cráteres observados.

El equipo multidisciplinar de la expedición, además de los tres científicos ya citados, Francisco García-Talavera, Jesús Martínez y Fernando Rull, lo completamos: Lázaro Sánchez-Pinto, conservador de botánica, y José López Rondón, técnico superior en sistemas vivos, ambos del Museo de Ciencias Naturales de Tenerife; Ramón Capote del Villar, catedrático de Geodinámica Interna de la Universidad Complutense, José Manuel Navarro Latorre, geólogo consultor, y el que les escribe estas líneas, Fernando López Vera, catedrático de Geodinámica Externa e Hidrogeología de la Universidad Autónoma de Madrid (figura 2).

Si la estructura de Richat tiene su origen en un impacto, por sus dimensiones debería haber tenido efectos paleoambientales en todo el cuadrante noroeste de África



Figura 2. Grupo expedicionario. De izquierda a derecha: Fernando Rull, Ramón Capote, José López Rondón, José Manuel Navarro (contemplando el paisaje), Fernando López Vera (fotografiando al fotógrafo) y Lázaro Sánchez Pinto. En primera fila, Jesús Martínez Frías, Francisco García-Talavera, Sidi Hamed y Salen. La fotografía la realizó Didi, por lo que es el único ausente del grupo.



Figura 3. Itinerario seguido por la expedición Mauritania 07, con un recorrido de 2.000 km.

Los expedicionarios, cuatro procedentes de Tenerife y cuatro de Kamchatka (como nos denominaban los colegas canarios a los peninsulares), nos reunimos en Las Palmas de Gran Canaria el miércoles 14 de marzo para volar juntos a la capital de Mauritania, Nouakchott, donde ya nos esperaban los vehículos y guías que nos acompañarían en nuestra travesía por el Sahara.

Aunque haga alguna referencia geológica de pasada, aquí no trataré de los aspectos científicos de la expedición. Esto es objeto de otras publicaciones en revistas especializadas —resultado del estudio de los más de 300 kilos de muestras, incluidos material botánico, zoológico, impactitas y un meteorito—, sino que me limitaré a describir y comentar el itinerario del viaje

(figura 3), que nos llevó de Nouakchott a recorrer parte de la meseta del Adrar, en un trayecto de unos 2.000 km.

De Nouakchott a Atar

Nouakchott nos recibió parda y polvorienta. Es una ciudad de nueva planta con sus barrios en cuadrículas, apenas a cinco metros sobre el nivel del mar, con el barullo y confusión de su pequeño aeropuerto mostrando ya su exotismo africano. Allí nos esperaban los mauritanos, Didi (jefe de los guías), Salem y Sidi Hamed, con los tres todoterreno Toyota que nos tenían que introducir en el desierto.

Nos alojamos en el hotel Houda, destartado y poco cuidado, donde

Nouakchott es una ciudad de nueva planta con sus barrios en cuadrículas, con el barullo y confusión de su pequeño aeropuerto mostrando ya su exotismo africano

tuvimos una reunión con el saharauí Fadly Laroussi, personaje singular, buscador de meteoritos, que continuamente recorre el Sahara a lo ancho y largo recogiendo meteoritos para numerosos museos y centros de investigación de todo el mundo. El desierto, junto con la Antártida, constituyen los principales yacimientos de meteoritos del planeta. Fadly, gran conocedor de la región que visitaríamos, nos puso al tanto de todas las cuestiones que nos interesaban para nuestra expedición, entre ellas, cómo eludir zonas donde podríamos tener peligrosos encuentros con contrabandistas.

Dedicamos el resto del día a proveernos de moneda local, “ouguiya”, que manejamos en verdaderos mazos de billetes, dado su escaso valor al cambio, y equiparnos en el mercado de melfas (prenda de vestir heredera de las túnicas de la época romana). También visitamos la embajada de España, donde nos recibieron afectuosamente el embajador don Alejandro Polanco y el personal de la embajada, que nos hicieron entrega del salvoconducto extendido por las autoridades mauritanas, que nos permitiría viajar libremente, al tiempo que nos invitaron a una recepción para el día de nuestro regreso.

Tras descansar en el centro cultural francés, donde acudimos con la esperanza de conseguir una cerveza fresca, nos dedicamos a pasear por la ciudad para familiarizarnos con ella y con el modo de vida mauritano.

Aunque oficialmente confesional la República Islámica de Mauritania, el sincretismo con religiones animistas, resultado del puzzle de etnias, su mestizaje y superposición de culturas, confieren a la sociedad mauritana un carácter más abierto del que estamos acostumbrados a ver en los países del Magreb. En Mauritania, junto a las etnias berebere y árabe, se distinguen dos grandes grupos: "shinquit" o moros, "bidani" de origen bereber y "sudani" o negros. Éstos engloban a sarakolés, bambaras, uolofes, toucouleurs, fulanis y peul.

Pasear por las calles de Nouakchott es un espectáculo de colorido, de formas y de olores. Personas con la más variada vestimenta, tradicional del desierto (blanco, azul y negro), supone la explosión de colorido de la ropa senegalesa o la occidental. Los mauritanos suelen ser individuos enjutos y esbeltos, a los que sus amplias ropas les confieren un aspecto imponente. Las mujeres, con sus lentos y elegantes andares, se envuelven en coloridas melfas.

Las principales calles están asfaltadas, pero bacheadas y mal conservadas, mientras que las secundarias son de tierra y, todas, polvorientas. El tráfico es caótico; se mezclan coches y camiones, carritos tirados por burros, cabras, burros sueltos y alguna que otra gallina (figura 4).

Junto a pequeños comercios tradicionales y tiendas como las de ultramarinos de España, que allí llaman "boutiques", hay tiendas modernas donde pueden encontrarse todos los productos como en una ciudad europea.

La lengua más extendida es el hassanía, aunque los individuos más cultos y el comercio utilizan el francés, además de una docena de otras lenguas y dialectos.

El país al que nos enfrentábamos tiene una extensión de 1.030.700 km², el doble de España, con una población de 2,27 millones. Enclavado en el desierto del Sahara, no es un país vacío como comprobaríamos, sino un país donde

la población y los recursos están muy dispersos. Un país que, aunque todos ya teníamos experiencia previa sahariana y de otros desiertos, nos cautivó.

Al día siguiente de nuestra llegada, tras cargar hasta los topes los todoterreno con toda clase de avituallamiento —especialmente diésel, lo que nos costó recorrer varias gasolineras, pues estaban desabastecidas, y agua embotellada—, enfilamos la carretera en dirección a Atar, por una de las dos únicas vías asfaltadas que existen en Mauritania. El resto de las vías son pistas formadas por las rodadas de vehículos, o simplemente se "navega" a través del desierto.

Llamaba la atención que hasta varios kilómetros alejados de Nouakchott, el desierto estaba parcelado, marcado con cubiertas de ruedas de coche y otras señales. Por lo visto la especulación urbanística también ha llegado a estas latitudes.

La carretera discurre desolada y monótona sobre la llanura formada por la superficie de la cuenca marginal rellena de materiales mesozoicos, terciarios y cuaternarios, prolongación meridional de la cuenca de El Aiun. Únicamente se observan algunos arbustos espinosos y pequeños rebaños de dromedarios sobre la hamada, paisaje de esta región que los geógrafos han bautizado como el Sahel desértico.

Sólo una solitaria jaima en el horizonte rompía la monotonía hasta llegar a Al Asma, un aduar formado por unas pocas casas, jaimas y una pequeña mezquita, próximos al enterramiento de un santón (morabito), lugar de peregrinación local. Pasado Al Asma, y tras presentar nuestros salvoconductos en los controles de policía, lo que se convertiría en una rutina cada vez que entrábamos o salíamos de lugares poblados, continuamos viaje divisando en el horizonte la cadena de las Mauritánides, cordillera de baja altitud, plegada por la orogenia hercínica y formada por materiales cristalinos, metamórficos y sedimentarios, adosada al cratón que forma el núcleo geológico del oeste de África.



Figura 4. El abastecimiento de agua a Nouakchott se lleva a cabo a partir de una serie de sondeos realizados en el extremo más alejado del mar. El centro de la ciudad dispone de red de distribución de agua y alcantarillado; no así los barrios periféricos a los que llega el agua mediante camiones cisterna y se distribuye a domicilio mediante carritos-aljive tirados por burros, como se ve en la fotografía junto a un camión de recogida de residuos urbanos.

La lengua más extendida es el hassanía, aunque los individuos más cultos y el comercio utilizan el francés, además de una docena de otras lenguas y dialectos

Antes de atravesar la cordillera paramos en un "restaurante de carretera" al aire libre, en Akjoujt, donde descansamos un poco y donde nos sirvieron un guiso de huesos de cordero con unos pocos granos de arroz, que comimos en los recipientes que llevábamos nosotros, eso sí, después de ofrecernos un delicado aguamanil en un recipiente de plástico rojo. Era nuestro primer contacto con la auténtica forma de vida de Mauritania, donde fuimos objeto de la curiosidad por parte de los vecinos del pueblo y otros comensales.

Continuamos la ruta por una zona algo más poblada, con cooperativas, cabañas



Figura 5. Hora del té en el desierto. A media tarde los guías nos preparaban el tradicional té en tres tomas, cada una más dulce que la anterior.



Figura 6. Plaza del mercado de Atar, donde compramos pasta de dátiles y otros alimentos mauritanos.

de palos, cabras y dromedarios (figura 5). Junto a la carretera, grandes depósitos de plástico con agua. Llegamos a un fuerte escarpe en el terreno, a cuyo pie se extiende el bonito palmeral de Ain Ana/Ez Taya, donde existen fuentes termales. La carretera escala el escarpe y subimos a la dorsal de Reguibat, que constituye el zócalo arcaico del cratón de África noroccidental. Ya de noche, llegamos a Atar y nos alojamos en un hotel de estilo occidental: el hotel Seguellil; éste sería el último alojamiento confortable en varios días y la última noche en que nos despertaría la llamada del *muezzin* al rezo.

Atar es la ciudad más importante del norte de Mauritania en el interior del desierto. Situada en la antigua ruta de las caravanas, es un aglomerado de casas de adobe crudo, calles de tierra y sin iluminación nocturna, excepto la plaza del mercado (figura 6). Nuestros guías, originarios de este lugar, conocían a todo el mundo y nos exhibieron con orgullo por todos los sitios. Didi, el jefe de guías, nos presentó a su familia y alardeó de sus numerosas propiedades. Es un verdadero empresario que vive principalmente del rescate de vehículos averiados y pilotos accidentados de la prueba París-Dakar, cuando cruzaba Mauritania. Hoy, al realizarse esta prueba en América, ha debido suponer un duro golpe a la economía de estas gentes.

Paco García-Talavera, Lázaro Sánchez-Pinto y Pepe López Rondón tenían una gran experiencia en África y ya habían estado en esta región en otras ocasiones, por lo que los demás nos dejamos llevar por ellos, en especial por Pepe, que tenía un gran conocimiento y familiaridad de la manera de ser de los mauritanos. Ocasionalmente, sus conversaciones con los guías y proveedores adquirían un tono acalorado, aunque a los pocos minutos estaban dándose la mano con muestras de afecto, mientras que Lázaro los

encandilaba recitándoles de corrido los innumerables nombres de Alá.

Antes de reiniciar la marcha compramos en el mercado pan, tomates, cebollas, pasta de dátiles y repostamos diésel, pues sería nuestra última oportunidad.

En el corazón del desierto: el Adrar

La región que recorrimos en los días sucesivos era la del "Adrar et Tmar" (país montañoso de los dátiles), territorio originariamente bajo protección nominal de España por los acuerdos firmados en 1886 en la sebja de Idjil (lyil) entre el comandante de ingenieros Julio Cervera y el sultán Ahmed-ben-Mhammed-Yld-el-Aidda, señor de la región. La firma de estos acuerdos, además de realizar estudios científicos de la región, era el objetivo de la expedición realizada por Cervera junto al geólogo Francisco Quiroga, el intérprete Felipe Rizzo y el tirador del Rif, Hach Abd-el-Kader, expedición auspiciada por la Sociedad Geográfica de Madrid.

El Estado español nunca ocupó ni exploró este territorio, que posteriormente fue cedido a Francia por el tratado de rectificación de fronteras del Sahara Occidental de 1900.

En Atar se termina la carretera asfaltada y continuamos por una pista de ripio. A unos diez kilómetros paramos para estudiar un afloramiento de calizas azuladas y cristalizadas de edad proterozoica (figura 7), con espectaculares estromatolitos en corteza de pan. Estas mismas calizas volveríamos a encontrarlas en el centro del Richat, formando megabrechas que algunos interpretan como resultado de karstificación por procesos hidrotermales.

Ascendimos a la meseta de Chinguetti por el "Amour Pass" (figura 8) y, al llegar al borde superior, nos paramos a ver un antiguo fuerte de la época colonial, Fort Sagan, avanzada de la legión extranjera francesa, que dio nombre a una conocida película de aventuras (aunque la mayor parte del tiempo estuvo ocupado por infantería indígena senegalesa, bastante

El Estado español nunca ocupó ni exploró este territorio, que posteriormente fue cedido a Francia por el tratado de rectificación de fronteras del Sahara Occidental de 1900

menos cinematográfica). El fuerte protegía un paso de caravanas y dos pozos de agua en sus proximidades. Hasta finales de los años cincuenta del pasado siglo XX, cuando Francia se retiró de estos territorios, esta ruta aún era utilizada por las caravanas.

También visitamos el abrigo neolítico descubierto por Monod, con pinturas rupestres de Agrour (figura 9), que tienen figuras planas en rojo de animales de la sabana, que sin duda era lo que veían los artistas que las pintaron, donde hoy nosotros sólo vemos desierto.

Paramos en el palmeral de Ouadan, donde comimos atún y sardinas en lata. Al poco, nos rodea un grupo de niños (figura 10) que nos ofrece sus pequeñas bagatelas de artesanía, puntas de flecha y hachas neolíticas, que se encuentran por todas partes. Reiniciamos el viaje, pero a los pocos kilómetros Didi consideró que se nos haría de noche antes de alcanzar un lugar donde pudiéramos acampar, por lo que regresamos a Ouadan y buscamos alojamiento en un albergue mauritano: "Auberge Vereni".

A lo largo de mi vida me he alojado en todo tipo de lugares, pero sin duda alguna ésta fue la experiencia más dura que hizo que en los días sucesivos nuestra jaima nos pareciera un palacio.

La mala experiencia del albergue la compensó con creces la visita a las ruinas de Ouadan (figura 11), que nos habla del



Figura 7. Estudiando el afloramiento de calizas proterozoicas, a 10 km al norte de Atar, que luego veríamos brechificadas en el centro de Richat.



Figura 8. La fatigosa subida por la garganta del "Amour Pass" que da acceso a la meseta de Chinguetti, donde se sitúa el Guelb er Richat, nuestro objetivo.



Figura 9. Abrigo con pinturas rupestres de Agrour. Los hombres del Neolítico que lo pintaron reprodujeron los animales propios de la sabana que veían en el entorno: toros, jirafas, etc.



Figura 10. Cuando paramos a descansar en el palmeral de Ouadan enseguida nos rodeó un grupo de niños que nos observaban con curiosidad y nos ofrecían sus pequeños suvenires.



Figura 11. Ruinas de Ouadan, verdadero puerto en el desierto en la ruta hacia la legendaria Tombuctú.

antiguo esplendor de estas ciudades del desierto, verdaderos puertos de recalada de las caravanas que, desde los puertos marinos de la Berbería, en el Mediterráneo, a las ciudades de Walata, Gao o Tombuctú, en el límite sur del desierto, intercambiaban

sal y tejidos en dirección sur, y oro y esclavos en dirección norte. La riqueza y esplendor material y cultural de estas ciudades crecía o menguaba a lo largo del tiempo según se desplazaba la importancia de las rutas de caravanas



Figura 12. Ruta de las caravanas del Sahara Occidental en 1887. Fragmento del Mapa de Charles Soller. Original a escala: 1/8.000.000.



Figura 13. Ruinas del fuerte-factoría italo-portugués de Agwidir, siglos XV-XVI. Avanzada de un intento de comerciar directamente con las caravanas del desierto.



Figura 14. Imagen de satélite del Guelb er Richat; enorme cráter de 50 km de diámetro formado por anillos concéntricos de incierto origen y principal objeto de nuestra expedición. 21° 04' N, 11° 22' W. Fuente: NASA/GSFC.

hacia el este (figura 12). Continuamos la marcha al día siguiente, nada más despuntar el alba y, tras cruzar un inmenso erg de unos 30 km con espectaculares dunas, llegamos a las ruinas del antiguo fuerte-factoría portugués-italiano de Agwidir, de los siglos XV a XVI (figura 13).

En la Edad Media, la principal fuente de suministro de oro a Europa era el "oro de los negros", que se comercializaba en los puertos de Berbería, tras atravesar el desierto, como lo recoge el cartógrafo mallorquín Cresques Abraham en su *Mapamundi* de 1375, en el que al sur del desierto representa al fabuloso sultán Musa, con una gran pepita de oro en la mano. Uno de los objetivos de la exploración de la costa atlántica de la época era establecer bases para desviar el comercio del oro hacia ellas, debido a la inseguridad producida por el avance otomano por el Mediterráneo. El proyecto dejó de tener interés en el siglo XVI con la llegada masiva del oro americano a Europa y el fuerte-factoría fue abandonado.

El lugar también fue escenario de una gran batalla en la misma época, conservándose restos del cementerio. Agwidir está emplazado sobre un cerro

El lugar también fue escenario de una gran batalla en la misma época, conservándose restos del cementerio. Agwidir está emplazado sobre un cerro de restos líticos y de cerámica neolítica y constituye el acceso natural a Richat, que se encuentra a menos de un kilómetro

de restos líticos y de cerámica neolítica, y constituye el acceso natural a Richat, que se encuentra a menos de un kilómetro. Desde lejos nos vieron unas mujeres que acudieron corriendo a ofrecernos sus mercancías.

El ir acompañados de un botánico, Lázaro Sánchez-Pinto, y de un zoólogo, Pepe López Rondón, constituyó todo un lujo, pues nos ilustraban sobre la flora y fauna del desierto: lagartos de cola espinosa, gerbos, ratones, ardillas morunas, serpientes, escarabajos... y los omnipresentes solífugos (un orden de arácnidos de terrible aspecto), lo que nos servía de descanso de nuestros interminables debates geológicos. Es sabido que donde hay dos geólogos surge el debate sobre temas geológicos y en nuestro caso éramos cinco.

Guelb er Richat

Es una de las de las estructuras geológicas más espectaculares del desierto del Sahara y nuestro principal objetivo. Perfectamente visible desde el espacio exterior (figura 14), los astronautas lo conocen coloquialmente como el "ojo de África". Es un gigantesco cráter de casi 50 km de diámetro, formado por una serie de anillos concéntricos



Figura 15. Nuestra expedición en el anillo más interior de Richat.

(figura 15) y un puntiagudo cerro central, característico de los cráteres de impacto, constituido exclusivamente de brechas masivas. La mayor parte de nuestra estancia en el desierto la pasamos recorriendo el Guelb er Richat y tomando muestras, unas veces divididos en grupos para cubrir más territorio, otras todos juntos, pero, como dije al principio, los resultados científicos serán objeto de otras publicaciones especializadas.

Instalamos nuestro campamento en un bosque de *teicht* (*Balanites aegyptiaca*) de espinas grandes y blancas, junto al árbol de *madame Monod* (figura 16), un magnífico ejemplar de *atil* (*Mauraea crassifolia*), así bautizado por Théodore Monod (Ruan 1902-Versalles 2000) en honor de su mujer. Monod fue un legendario naturalista, explorador, erudito y humanista francés, que vivió volcado en el estudio del Sahara, recorriéndolo durante sesenta años de su vida, siendo referencia obligada para geólogos, botánicos, arqueólogos y antropólogos que se acerquen por estas antiguas colonias francesas.

Monod fue el primero en atribuir el origen de Richat a un cráter de impacto, aunque al final de sus días puso en duda sus teorías iniciales. La mayor parte de los geólogos que lo han estudiado, aunque sea sólo mediante imágenes espaciales, lo consideran un domo erosionado. Sobre el terreno, las conclusiones no son tan claras, pues se encuentran evidencias en uno y otro sentido. Por lo tanto, hasta que no termine el análisis de todas las muestras recogidas (especialmente las impresionantes megabrechas de la zona central) no estaremos en disposición de emitir un juicio. Pero aunque todos somos conscientes de que el papel aguanta todo,



Figura 16. El grupo expedicionario bajo el árbol de madame Monod. De izquierda a derecha: José López Rondón, Ramón Capote, Fernando López Vera, Jesús Martínez Frías, Francisco García-Talavera. En primera fila: Fernando Rull, Lázaro Sánchez Pinto y José Manuel Navarro.

Monod fue el primero en atribuir el origen de Richat a un cráter de impacto, aunque al final de sus días puso en duda sus teorías iniciales. La mayor parte de los geólogos que lo han estudiado, lo consideran un domo erosionado

si se demostrara la hipótesis del impacto múltiple de Francisco García-Talavera, según el modelo de Fernando Rull y Francisco Sobrón (figura 1), tendríamos que reescribir la historia geológica de todo el sector NO de África.

Los días viviendo en pleno desierto fueron los más placenteros y relajantes (figura 17). Nos levantábamos al alba con el aire fresco y tras el aseo diario (con media botella de agua, suerte que debido a la sequedad existente no se sudaba) y desayunar, nos íbamos a recorrer las



Figura 17. Nuestro campamento al amanecer; algunos de nosotros y los guías durmiendo a la intemperie, otros dentro de la jaima.



Figura 18. Albergue de Richat con nuestros vehículos. Se mantiene de un par de expediciones al mes como la nuestra, en los meses de invierno. En sus cabañas de palos nos refugiábamos del calor en las horas centrales del día.

distintas zonas. A medio día, cuando el sol inmisericorde nos abrasaba, corríamos a refugiarnos en el único enclave habitado que existe: un par de cabañas de palos y otras tantas jaimas (figura 18) que



Figura 19. Nuestra anfitriona en el albergue de Richat, su hija y el joven criado.



Figura 20. Por las noches nos entreteníamos hablando o jugando a juegos de mesa sobre la arena o el guía Didi nos contaba sus historias del desierto.



Figura 21. El pasar por algunas zonas del erg a veces nos suponía grandes esfuerzos.

constituían un albergue y regentaban una mujer y su hija, ayudadas por un joven criado (figura 19). Allí nos preparaban la comida y descansábamos protegidos del sol hasta las cuatro de la tarde, en que reanudábamos el trabajo hasta que se hacía de noche.

La esclavitud está oficialmente abolida en Mauritania desde 1988, pero aún persiste en forma de criados domésticos sin sueldo ni derechos laborales, sólo por la manutención.

Al anochecer volvíamos a nuestro campamento. Pepe solía preparar la cena, casi siempre pasta, que complementábamos con alguna lata de sardinas, piña o melocotón en almíbar. Las veladas nocturnas (figura 20) las solíamos pasar hablando animadamente sobre lo humano y lo divino, sobre lo que habíamos visto durante el día o sobre el plan para el siguiente. También jugábamos a juegos de mesa sobre la arena que nos enseñaban nuestros guías, y Didi a veces nos contaba cuentos o fábulas, a las que son tan aficionados los nómadas. Una de ellas decía:

“Tres amigos querían viajar, burro, cabra y perro, a la fiesta de la Guetna (fiesta de recolección de dátiles durante julio y agosto), y tomaron un taxi. Cuando llegaron a la Guetna el burro dijo al taxista: ‘¡Para aquí! que ésta es mi casa, y pagó al taxista’. Continuaron y al cabo de un tiempo la cabra dijo: ‘¡Para aquí! que ésta es mi casa’, pero al pagar vio que le faltaban 200 ouguiyas (moneda mauritana) y le dijo: ‘A la vuelta te pago lo que falta’. El perro continuó hasta su casa y pagó con un billete de 2.000 ouguiyas. El taxista dijo: ‘No tengo para darte la vuelta, la próxima vez que te vea te pagaré’.

Por esto, cuando pasa un coche por el camino el perro corre detrás de él, la cabra huye y el burro queda indiferente”.

Aouelloul y Chinguetti

Terminado nuestro trabajo en Richat, volvimos sobre nuestros pasos, en un día nublado y bochornoso, pero nos desviamos buscando un dique de basalto del que nos habían hablado. No lo encontramos, pero tuvimos que cruzar una peligrosa sebja (planicie salada). Regresamos por el erg donde continuamente se atascan los coches (figura 21). De nuevo sobre la hamada de Chinguetti tratamos de localizar dos accidentes geológicos que habíamos visto en las imágenes de satélite, un domo que apenas tenía dos metros de altura (domo de Semsiyat), al que nos guió un nómada que encontramos, y una depresión circular cuyos bordes apenas levantaban también dos metros, pero que no pudimos identificar como cráter. La zona era un enorme erg pedregoso por el que resultaba

muy difícil moverse. Ramón, Jesús, Sidi (nuestro conductor) y yo nos desviamos a ver unos afloramientos que llamaron nuestra atención, sin que los otros coches se percatasen, lo que fue causa de que nos perdiésemos, pues el GPS y el teléfono satélite iban en el coche de Didi. Pasamos momentos de agobio hasta que logramos reagruparnos y experimentamos en nuestras propias carnes lo peligroso de estas distracciones en el desierto.

Llegamos por fin a Chinguetti y nos alojamos en una posada regentada por una francesa coleccionista de piedras, el “Maure Bleu”. Chinguetti, la séptima ciudad santa del islam, de donde partían las caravanas de peregrinos a la Meca vía El Cairo. En la actualidad es una de las ciudades caravaneras mejor conservadas —aunque en parte abandonada y semiseppultada por la arena del desierto— y también la más “turística” de Mauritania, destino principal del turismo aventura. Son impresionantes su mezquita, su arquitectura y las bibliotecas con interesantísimos manuscritos de los siglos XII al XVII. Toda la ciudad es patrimonio cultural de la humanidad y me disculparán el no describir todo lo que vimos en ella, pues me llevaría muchas páginas.

Hablamos con una vendedora de recuerdos que nos seguía continuamente hasta que todos terminamos comprándole algo. Nos dijo llamarse Aisha (como la esposa favorita del Profeta), era morena con ojos y expresión muy agradable, se movía con gran soltura y era muy pícaro. Nos dijo que tenía 22 años, ya tarde para casarse, pero que quería casarse con un hombre rico, no le importaba la edad, la religión ni la raza, pero que fuese rico, que al menos tuviera cien dromedarios o un camión.

Por la noche cenamos con el único médico del único centro de salud de Chinguetti, el Hospital de la Amistad Hispano-Mauritana, donado por un constructor valenciano y mantenido por la AECI. El médico era un uruguayo que estudió en Valencia y llevaba cuatro años en Chinguetti, donde trabajaba sólo con la ayuda de una matrona mauritana. Durante la cena nos

contó numerosas anécdotas de su vida y de su trabajo allí. Atendía un territorio de 100 km de radio, dos jornadas de dromedario para un nativo, aunque él disponía de una ambulancia.

Continuamos nuestro viaje al cráter de Auouelloul por el paso de Zarga, siguiendo la ruta que une Atar con Tichit. Es un cráter de impacto perfecto (figura 22), con todas las evidencias reconocibles como tal: estratos volcados, estrías e "impact pits", shatter cones, materiales eyectados, etc. Nos desplegamos para reconocerlo, mientras los guías con los coches fueron a montar el campamento a 1,5 km, en un bosquecillo de acacias (figura 23). A nuestro alrededor los tordinos se mostraban con gran insolencia, viniendo a picotear nuestras botas. Horas antes había llovido, hecho inusual en esta región, y aparecieron verdaderas nubes de moscas que nos cubrían la espalda como un manto, así como toda la superficie de la jaima. Tras una lucha desigual contra ellas nos rendimos. En compensación pudimos ver rosas de Jericó y otras plantas abiertas por la lluvia. Es admirable lo rápido que son los ciclos vitales en el desierto cuando se presenta una circunstancia favorable.

Sorprende el hecho de que los pocos nómadas que nos encontramos conocían de antemano nuestra presencia, como si en el desierto existiese un medio secreto de comunicación a distancia. Los nómadas suelen plantar sus jaimas solitarias; aunque a veces se ven dos o tres próximas, lo normal es que estén distanciadas 3 o 5 km. En ellas es frecuente que habiten mujeres solas con sus hijos cuidando de sus cabras y dromedarios, pues los hombres se suelen desplazar temporalmente a la ciudad a ejercer algún trabajo. Desde nuestra perspectiva viven en una pobreza extrema, pero con gran dignidad, que nada tiene que ver con la miseria de los barrios marginales de Nouakchott a donde cada vez acuden más, atraídos por un mundo de consumo del que tienen referencias, pero que no pueden alcanzar. Dentro de su pobreza practican una gran solidaridad. Si un nómada tiene un poco de arroz cocido lo comparte con su vecino enfermo. Son todo un ejemplo de lo poco que se necesita para vivir. Todas sus pertenencias personales son las que caben en un pequeño cofre.



Figura 22. Cráter de impacto de Auouelloul; en él se observan todas las características de un cráter de impacto.

Vimos numerosos dromedarios de carga, solos o en grupo, pastando los ralos arbustos del desierto. Yo tenía ganas de ver los legendarios meharis, dromedarios de gran alzada y resistencia, núcleo de las antiguas caravanas, pero no vimos ninguno. Los pelotones meharistas o grupos nómadas, antigua policía colonial indígena, montaban en estos animales; hoy en día son los encargados de distribuir agua en camiones aljives y desempeñan funciones de protección civil.

Algunas noches los guías desaparecían y volvían de madrugada de forma tan sigilosa como se fueron. En una ocasión les preguntamos qué hacían y nos dijeron que habían quedado con los nómadas en la escuela del distrito, a 15 km, o en algún aduar a matar y comer un cabrito, pero nunca nos invitaron a sus correrías nocturnas.

El regreso

Regresamos a Atar y nos alojamos en el mismo hotel que a la ida. Por fin pudimos darnos una ducha y en el plato dejé una capa de polvo y arena roja de cinco milímetros de espesor, acumulada durante los días en el desierto.

A 10 km de Atar visitamos las ruinas de Azougui, primera capital de los almorávides



Figura 23. Nuestro campamento junto al cráter de Auouelloul.



Figura 24. Oasis de Terjit, el frescor, el arrullo del agua, los pájaros y las plantas nos hacían comprender cuál era el ideal que buscaban en sus jardines los musulmanes procedentes de estos desiertos en España. A nosotros nos costó un verdadero esfuerzo reiniciar la marcha por el desierto.

en el siglo XI, situada en el palmeral del Wed Tayarit. Desde aquí los ortodoxos almorávides se expandieron por casi todo el Magreb y buena parte de la Península Ibérica. Terminamos la tarde tomando un "Hawái tropical" en una terraza de la plaza del mercado en un local denominado "Restaurante Agadir", viendo el ir y venir de las gentes.

Durante todo el viaje, por deformación profesional, no perdí ocasión de observar los pozos y cómo tenían organizado el sistema de abastecimiento. Prácticamente todos los pozos, tanto los de abastecimiento como los de riego, eran excavados a mano, con diámetros variables entre 1,5 a 2 m, de unos 15-25 m de profundidad, aprovechando los fondos de *uadis* y depresiones del terreno para tener que profundizar menos. Constaban de un pozo de captación y otro paralelo menos profundo sin llegar al nivel freático donde instalaban una bomba aspirante-impelente con motor de explosión, introduciendo la alcachofa y tubería de aspiración por una apertura practicada en la pared entre ambos pozos. Pocos disponían de brocal que les protegiera de la contaminación. A pesar de estar en zonas muy vulnerables y debido a que la formación geológica solía ser estable, areniscas y calizas, los pozos no disponían de revestimiento interior.

Existe un conocimiento general de los acuíferos, pero el agua suele ser de mala calidad por salinidad, originada por causas múltiples. Parece ser que no existe ningún estudio hidrogeoquímico de esta agua. Los



Figura 25. Mercado de las Melfas en Nouakchott, visita que no puede faltar en el recorrido turístico.



Figura 26. Puerto de Nouakchott al atardecer, cuando los cayucos regresan con la pesca; es un espectáculo de colorido y puro sabor africano.

recursos hídricos son más que suficientes para la dispersa población e incluso para sostener una buena actividad económica, pero existe una notable falta de recursos tecnológicos y económicos. Problemas que en España son de muy fácil solución, allí son casi irresolubles.

De vuelta a Nouakchott hicimos una parada en el oasis de Terjit, un palmeral encajado en una estrecha garganta con un arroyo que caía en cascada, y abrigos en las rocas donde goteaba el agua (figura 24). El lugar inspiraba una apacible serenidad sólo alterada por el trinar de los pájaros. Era paradisiaco y, sin duda, el modelo al que aspiraban los jardines

musulmanes en España. Comimos unos pollos asados que nos habían preparado en Atar y nos costó mucho abandonar aquel lugar para continuar el tedioso camino de regreso por una carretera que se nos hacía interminable hasta llegar a Nouakchott.

Fernando Rull tuvo que adelantar el viaje de vuelta, pues le habían convocado a una reunión urgente de un proyecto con la Agencia Espacial Europea. El resto dedicamos el día libre en Nouakchott a visitar el Museo Nacional, hacer algunas compras en el mercado de las Melfas (figura 25) y ver en el puerto pesquero el regreso de los cayucos y la lonja del pescado al atardecer, un espectáculo de color y sonido africano que no se puede perder (figura 26).

Por la noche asistimos a la recepción en la residencia del embajador de España, que tan cordialmente nos había recibido el primer día, interesándose por los resultados de nuestro viaje al interior. Nos presentó a empresarios y cooperantes españoles, entre ellos el director de la compañía aérea Binter-Canarias, que hacía dos veces por semana el vuelo Las Palmas-Nouakchott, con la cual volaríamos al día siguiente, consiguiendo que nos transportara los más de 300 kilos de muestras sin sobrecargo alguno. Fue una agradable sorpresa cuando el embajador, don Alejandro Polanco, nos presentó a su esposa, que nos dijo ser hija de don Eduardo Alastrúe del Castillo, catedrático de Geodinámica Externa en la Universidad Complutense, que había sido profesor nuestro.

Al día siguiente fuimos al aeropuerto que seguía tan caótico como cuando llegamos, y allí nos despedimos con emoción de nuestros guías, Didi, Salen y Sidi. La despedida del grupo vendría cuando llegamos a Las Palmas. Había sido un verdadero placer compartir el inolvidable viaje con aquellos estupendos compañeros, lo cual celebramos con un brindis a la manera mauritana: **Bism Illah** (en nombre de Dios).

Más información sobre Mauritania 07 en la web:
<http://tierra.rediris.es/merge/canarymeteorplan/>

Los jesuitas y la geofísica

En la dedicación de los jesuitas a la ciencia destaca su contribución a la geofísica y, dentro de ella, a la sismología y el magnetismo terrestre. Esta contribución puede dividirse en dos periodos. El primero, entre los siglos XVI y XVIII, destaca por sus estudios de terremotos y sus daños, en especial los sucedidos en las nuevas tierras de América y especulaciones sobre sus orígenes y las medidas del campo magnético terrestre y elucubraciones sobre su naturaleza. El segundo periodo comienza al principio del siglo XIX y se caracteriza por la fundación de observatorios astronómicos y geofísicos en los que destacan sus secciones de sismología y magnetismo.

Texto I Agustín Udías, catedrático emérito. Universidad Complutense de Madrid

Palabras clave
Jesuitas, geofísica, sismología, magnetismo

En América del Norte, en el año 1909, se fundó la Jesuit Seismological Association, que estableció la primera red sísmica de ámbito continental con instrumentación homogénea. En los observatorios magnéticos se realizaron algunos de los primeros estudios y observaciones de la relación entre las variaciones del campo magnético terrestre y la actividad del sol. Los observatorios establecidos en Asia, África y América Central y del Sur fueron en muchos casos los primeros en esos países donde se hicieron observaciones sismológicas y magnéticas. Jesuitas geofísicos hicieron importantes contribuciones a los estudios sismológicos y geomagnéticos.

Los colegios jesuitas y la ciencia moderna

En los últimos años, se ha incrementado el interés de los historiadores por el estudio del papel de los jesuitas en el comienzo de la ciencia moderna en los siglos XVI al XVIII y, en general, por su trabajo científico en conexión con su labor docente. Fundada en 1540, en los albores de la ciencia moderna por san Ignacio de Loyola, la Compañía de Jesús participa de los dos movimientos principales del Renacimiento, el humanismo clásico y el interés por la ciencia. Entre 1543, tres años después de su fundación, y 1687, se sitúan la publicación de la obra de Nicolás Copérnico, *De revolutionibus*, que iba a cambiar de forma radical la visión cosmológica y dar comienzo a una nueva

manera de ver el mundo que se completa con la ley de la gravitación universal propuesta en la obra de Isaac Newton, *Principia Mathematica*. Eran éstos, por lo tanto, los años en los que se estaban produciendo los cambios más importantes que dieron origen a la ciencia moderna. Precisamente es en este tiempo, desde 1548, cuando los jesuitas fundaron su primer colegio en Mesina, cuya labor educacional se extendió rápidamente por Europa y más tarde por América y Asia. En el siglo XVIII, sólo en Europa había 645 colegios y universidades llevados por los jesuitas.

Una innovación en estos colegios fue añadir a la formación humanística,

basada en el estudio de los autores clásicos grecolatinos, la de los nuevos desarrollos de la ciencia moderna, en especial su atención a la enseñanza de las Matemáticas, que entonces comprendía, además de las disciplinas propiamente matemáticas, Astronomía, Mecánica, Óptica, Arquitectura y Música, así como a otras ramas de las ciencias experimentales. Pionero en esta labor fue el Collegio Romano (figura 1), donde, entre 1564 y 1612, fue profesor de matemáticas Christopher Clavius, el iniciador de una larga tradición de jesuitas matemáticos y astrónomos. Clavius colaboró en la redacción del programa de estudios de aplicación en todos los colegios jesuitas (*Ratio*

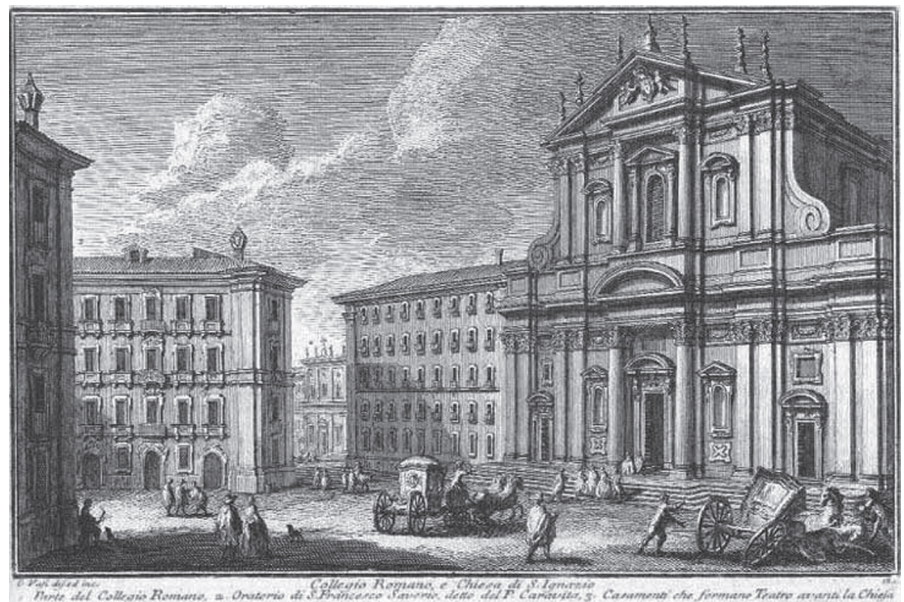


Figura 1. Collegio Romano.

Studiosorum) completada en 1599, en la que se incorporaron a los estudios humanísticos los de matemáticas y ciencias. Esta tradición se ha continuado en tiempos modernos en muchos colegios y universidades en los cuales, para apoyar los estudios científicos, se establecieron desde 1820 observatorios astronómicos y geofísicos. Un ejemplo de la dedicación de los jesuitas a la ciencia es su interés por el estudio y observación del campo magnético de la Tierra y el estudio de los terremotos. Estos estudios se encuadran en el campo de la cosmografía, que formaba parte del programa de estudios en los siglos XVII y XVIII. Para apoyar la enseñanza de la astronomía y cosmografía en los colegios y universidades se establecieron en muchos de ellos, ya en esta época, los primeros observatorios, donde se realizaban observaciones astronómicas y geofísicas y que florecieron, sobre todo, a finales del siglo XIX y principios del XX. Esta tradición forma el fondo del trabajo científico jesuita moderno. Desde la mitad del siglo XIX, no menos de cuarenta observatorios geofísicos fueron creados por jesuitas alrededor del mundo en los que se realizaban observaciones sismológicas y magnéticas. El trabajo en las misiones de Asia, África y América, donde los jesuitas establecieron algunos de los primeros observatorios a finales del siglo XIX, contribuyó también a estos estudios y les dieron un carácter especial.

En este trabajo debemos distinguir dos periodos: el primero, entre 1540 y 1773, terminó con la supresión de la Compañía de Jesús; el segundo empieza con su restauración en 1814 hasta nuestros días. La contribución científica a la sismología

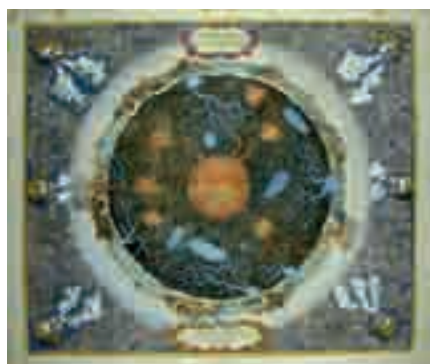


Figura 3. Interior de la tierra según *Mundus Subterraneus* de Kircher.

y el geomagnetismo de la Compañía de Jesús, como una institución por sus colegios y universidades, y de sus miembros como científicos individuales, forma un capítulo importante de la historia de estas ciencias, sobre todo, en los primeros años de su desarrollo.

Los primeros trabajos sobre los terremotos y el magnetismo terrestre

Una serie de circunstancias e intereses implicó a jesuitas en el desarrollo del estudio de los terremotos. Este interés, seguramente, estaba de acuerdo con la tradición de los jesuitas en la ciencia que tuvo lugar a partir del siglo XVI y se desarrolló, como ha sido mencionado, en su trabajo en colegios y universidades. La filosofía natural era un sujeto importante en colegios de jesuitas y universidades en los siglos XVI al XVIII. El núcleo de estos estudios estaba formado por los comentarios a las obras de Aristóteles. El tema de los terremotos está tratado en *Meteorologicorum Libri IV*, libros que contienen el estudio de diversos fenómenos, como lluvia, nubes, truenos, rayos y vientos, ahora incluidos en la ciencia moderna de meteorología, y también otros fenómenos como cometas, la Vía Láctea y terremotos. Los mejores comentarios de jesuitas a los libros de Aristóteles de filosofía natural fueron los de los profesores de la universidad de Coimbra (Portugal), publicados bajo el nombre de *Conimbricensis*. En estos comentarios sobre los libros de *Meteorologica* podemos encontrar lo que se puede llamar la primera doctrina jesuita oficial sobre la naturaleza de los terremotos. Básicamente, consideraba que los terremotos eran causados por espiraciones secas (espíritus o vientos) atrapados en cavidades dentro de la tierra que al tratar de escaparse hacen sacudir la tierra.

Esta doctrina fue explicada por Athanasius Kircher (1601-1680) (figura 2), profesor de matemáticas del Collegio Romano y escritor polifacético, que escribió obras sobre óptica, música e intentó descifrar la escritura jeroglífica de los egipcios. En su influyente libro, *Mundus Subterraneus* (figura 3), (1665), Kircher presenta la existencia en el interior de la tierra de conductos de fuego,



Figura 2. Athanasius Kircher (1601-1680), profesor de Matemáticas del Collegio Romano.

agua y aire que relaciona con la ocurrencia de los terremotos. A la doctrina aristotélica añade el efecto explosivo del material inflamable acumulado en el interior de la tierra y compara los terremotos con las explosiones en las minas.

En el siglo XVIII, varios jesuitas escribieron sobre la naturaleza y causas de terremotos, entre ellos el siciliano Michele del Bono, que propuso algunas variaciones a la doctrina aristotélica. La ocurrencia del gran terremoto de Lisboa del 1 de noviembre de 1755 que seguido de un tsunami causó la destrucción de esta ciudad, y graves daños y víctimas en el sur de Portugal, suroeste de España y noroeste de Marruecos, causó en Europa un interés renovado del estudio de estos fenómenos. Varios trabajos fueron publicados por jesuitas, como los realizados en Praga por los profesores de matemáticas Gaspar Sagner (1720-1781) y el director del observatorio, Joseph Stepling (1716-1778), y el de Johan Schwab (1731-1795), profesor en Heidelberg. Stepling observó que el terremoto de Lisboa causó cambios en el flujo de las fuentes termales en Tepliz, cerca de Praga.

Los terremotos grandes no son muy comunes en Europa, excepto en Grecia e Italia. Los jesuitas, en el siglo XVIII, dejaron descripciones de algunos de ellos como los de Sicilia y Calabria en 1783 por Giuseppe

D. Giulio (1747-1831) y Francisco Gusta, en Bohemia en 1770 por Francis Zeno (1734-1781), y, naturalmente, el terremoto de Lisboa de 1755 por Aimé H. Paulian (1722-1800), profesor de Matemáticas en los colegios de Aix y Aviñón, Antonio Pereyra (1693-1770) y el ya citado de Stepling.

Los misioneros en Suramérica experimentaron la ocurrencia de terremotos grandes. El primer trabajo por un jesuita en el cual aparecen descripciones de terremotos de América del Sur es *Historia natural y moral de la Indias* (1590), escrito por José de Acosta (1540-1600). En esta obra se describen los efectos de un terremoto muy grande en Chile (probablemente de 1575), que afectó un área extensa a lo largo de la costa, y de dos terremotos en Perú, Arequipa en 1582, Lima en 1586, y un cuarto terremoto en Quito, en 1586. El terremoto de Lima causó una fuerte destrucción que afectó una gran extensión y fue seguido de un gran tsunami en el que el agua entró en la costa casi diez kilómetros y su nivel subió veinte metros. Acosta concluyó proponiendo la relación entre el agua y los terremotos, ya que los terremotos, por lo general, pasan cerca de la costa y el agua cierra las cavidades de la tierra y hace difícil la salida de los vientos subterráneos que los causan. Juan González Chaparro (1581-1651) describió detalladamente el terremoto que destruyó Santiago de Chile el 13 de mayo de 1647. Pedro Lozano (1697-1759) y Joseph Pfriem (1711-?) escribieron descripciones del gran terremoto de Lima del 28 de octubre de 1746.

Las primeras observaciones del magnetismo terrestre en Occidente están relacionadas con la utilización de la brújula para la navegación. En 1600, William Gilbert publicó en Inglaterra el primer tratado científico sobre geomagnetismo, *De Magnete*, en el que por primera vez se afirma que la Tierra misma es un gran imán, lo que explica que la aguja imanada de la brújula señale al norte. Ya desde muy temprano el magnetismo terrestre atrajo la atención de los científicos jesuitas. Uno de los primeros en tratar este tema es José de Acosta en la obra ya citada donde describe la variación de la declinación magnética a través del océano Atlántico y los puntos donde la declinación es nula, uno de ellos cerca de



Figura 4. Maximilian Hell (1720-1792), director del Observatorio de Viena, en su expedición a Laponia.

las islas Azores. Acosta reconoce la dificultad en explicar la causa de la variación de la declinación y desafía a los filósofos a dar una explicación de ella. Gilbert cita su obra, aunque señala sin motivo la falta de conocimientos de Acosta sobre el tema. El primer jesuita en publicar una obra completa sobre el magnetismo fue Nicolò Cabbeo (1586-1650), profesor de Matemáticas en los colegios de Parma y Génova, con su *Philosophia magnetica*, publicada en 1629. En esta obra, Cabbeo recogió lo que se conocía sobre el tema en su tiempo, a lo que añadió sus propias observaciones y experimentos y relacionó por primera vez la atracción magnética con la eléctrica. No fue Cabbeo, sin embargo, el primer jesuita en interesarse por este tema, ya que parte de su trabajo se basa en el de Leonardo Garzoni (1567-1592), profesor en el colegio de Venecia, que escribió una obra sobre magnetismo, *Trattati della Calamita*, que no llegó a publicar. En su obra, Cabbeo no aceptaba las ideas de Gilbert sobre el origen del campo magnético terrestre y sostenía que el valor de la declinación era constante en cada punto de la Tierra.

La obra más conocida de los jesuitas de esta época sobre el magnetismo es *Magnes sive de arte magnetica* (1641) de Kircher. Además de las ideas generales sobre el magnetismo, Kircher da una larga lista de valores de la declinación

magnética observados por jesuitas, a encargo suyo, en sus viajes a América y Asia, así como observaciones en China, Persia y Egipto, además de las de Europa. Kircher estudia separadamente las observaciones en los océanos Atlántico y Pacífico, en el mar Mediterráneo y en Europa. En las listas presenta los valores de la declinación observada en distintos lugares junto con el valor de latitud y figura el nombre de los cuarenta jesuitas que las realizaron. Martin Martini (1614-1661), que le había remitido un gran número de observaciones desde China, le propuso a Kircher en 1640 que dibujara en un mapa las líneas con la dirección de la declinación magnética. Si Kircher hubiera seguido esta sugerencia hubiera sido el primero en presentar una carta global de la declinación magnética, antes de la realizada por Edmund Halley en 1692. Una obra curiosa sobre el tema es la de Jacques Grandami (1588-1672), *Nova demonstratio immobilitatis terrae petita ex virtute magnetica* (1645), en la que, para defender el sistema cosmológico geocéntrico, trata de demostrar que la existencia del campo magnético terrestre es incompatible con la rotación de la Tierra. Un tratado muy completo de magnetismo se encuentra incluido en la obra *Cursus seu mundus mathematicus* (1674), de Claude François de Chales, profesor del colegio de Lyon. También los misioneros en China hicieron numerosas observaciones magnéticas entre las que destacan las de Antoine Gabil (1689-1759), quien fundó un observatorio en 1754 en Pekín y observó que la línea de declinación nula se desplaza con el tiempo de este a oeste. Sus observaciones, junto con las de otros jesuitas en China, realizadas entre 1729 y 1732, fueron publicadas en Francia. En 1727, Nicolas Sarrabat (1698-1739) publicó *Nouvelle hypothèse sur les variations de l'aiguille aimantée*, obra que recibió un premio de la Académie des Sciences de París. En 1769, Maximilian Hell (1720-1792) (figura 4), director del Observatorio de Viena, realizó un conjunto de observaciones de la declinación magnética durante su viaje a la isla de Vardö en Laponia, a una latitud de 70° norte, 23 de ellas a lo largo de la costa de Noruega en el viaje de vuelta. Hell realizó esta expedición invitado por el rey Christian VII de Dinamarca y Noruega para observar el tránsito de Venus por el disco solar.

Observatorios sismológicos jesuitas

La Compañía de Jesús fue suprimida por la Santa Sede en 1773 y restaurada otra vez en 1814. Con la apertura de nuevos colegios y universidades, la tradición científica jesuita fue establecida de nuevo. Pero la situación histórica era distinta. En el siglo XIX la ciencia moderna estaba firmemente establecida y una mentalidad racionalista se había extendido por Europa, lo que condujo a menudo a la presentación de una oposición entre ciencia y religión. Contra esta mentalidad, el trabajo científico de los jesuitas era un modo práctico de mostrar que esta oposición no existe y que la armonía entre ciencia y religión es posible. La presencia de jesuitas en las ciencias con sus propias instituciones fue considerada como un argumento claro contra estas acusaciones falsas y fue presentada como un ejemplo de la compatibilidad entre fe cristiana y ciencia. En este segundo periodo la participación de los jesuitas en la geofísica se hizo con un esfuerzo más serio e institucional.

A partir de mediados del siglo XIX, los jesuitas instalaron 72 observatorios geofísicos y astronómicos, y, entre ellos, 38 estaciones sismológicas por todo el mundo: seis en Europa, cuatro en Asia, dos en África, una en Australia, 18 en Norteamérica y siete en Sudamérica (figura 5). La mayor parte de estas estaciones fueron creadas antes de 1920 y muchas cesaron sus operaciones en los años 1960 y 1970. Actualmente, hay sólo ocho en funcionamiento con poca intervención de los jesuitas. Al principio, los instrumentos preferidos eran sismógrafos mecánicos Mainka y Wiechert; desde aproximadamente 1930, sismógrafos electromagnéticos Galitzin-Wilip, y, más recientemente, desde aproximadamente 1950, instrumentos Sprengnether y Geotech. En 1962, 11 estaciones fueron elegidas como estaciones de la red global de 125 estaciones, World Wide Standard Seismological Network (WWSSN), establecida por el Gobierno de Estados Unidos. De éstas, dos, situadas en Colombia y Bolivia, fueron mejorados más tarde para

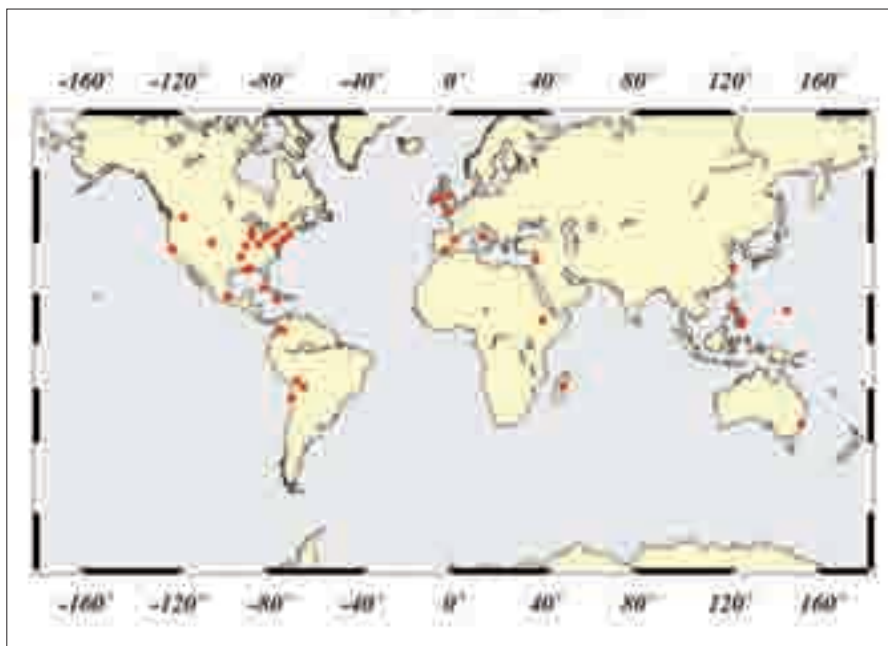


Figura 5. Mapa mundial con la situación de las estaciones sismológicas de los jesuitas en el siglo XIX.

convertirse en el Seismological Research Observatory (SRO) y el High Gain Long Period- Adapted Seismological Research Observatory (HGLP-ASRO) con la instrumentación más avanzada. Esto representa un reconocimiento claro de la fiabilidad del trabajo sismológico llevado a cabo por los jesuitas en estas estaciones.

El primer instrumento instalado por jesuitas en Europa fue un sismoscopio hecho por Giovanni Egidi (1835-1897) en el Observatorio meteorológico Tuscolano, Frascati, Italia, fundado en 1868. Dos estaciones fueron instaladas en España: una en 1902, Observatorio de Cartuja en Granada, en la zona de mayor actividad sísmica de España, y el otro en 1904 en el Observatorio del Ebro, Tarragona. En Granada la mayor parte de los sismógrafos fueron hechos con paciencia bajo la dirección de Manuel Sánchez Navarro-Neumann (1867-1941), y reproducían, con algunas mejoras, los sismógrafos Omori, Wiechert y Galitzin. La estación del Ebro ha funcionado ininterrumpidamente hasta el presente con mejoras continuas de la instrumentación. También de diseño propio era el primer sismógrafo, un péndulo invertido suspendido por alambres de acero con una masa pesada de 600 kilogramos con registro de papel

El primer instrumento instalado por jesuitas en Europa fue un sismoscopio hecho por Giovanni Egidi (1835-1897) en el Observatorio meteorológico Tuscolano, Frascati, Italia, fundado en 1868

ahumado, instalada en Irlanda por el jesuita William J. O'Leary, primero en el colegio Mungret en 1908 y, más tarde, en 1916, en la estación de Rathfarnham Castle, donde estuvo operativo hasta 1961. En el Observatorio de Stonyhurst, Inglaterra, la estación funcionó a partir de 1908 hasta 1947. Una estación sismográfica también fue dirigida por los jesuitas en la isla de Jersey a partir de 1936 y hasta 1979.

De gran interés son las estaciones sismográficas instaladas por jesuitas en tierras de misión de África y Asia. En muchos casos éstas eran las primeras estaciones sismográficas instaladas

en aquellos países. Los primeros sismógrafos fueron instalados por los jesuitas en 1868 en el Observatorio de Manila, Filipinas. Después de los terremotos de Manila de 1880, Federico Faura (1847-1897), director del observatorio, instaló nuevos instrumentos Cecchi, Bertelli y Rossi, hechos en Italia. Desde aquella fecha la estación fue mejorada con la instalación de nuevos instrumentos. Estaciones sismográficas también fueron instaladas en otros puntos de Filipinas, a saber, en Baguio, Ambulong, Butuam, Tagaytay y la isla de Guam. Lamentablemente todos los sismogramas se perdieron en la destrucción del observatorio durante la Segunda Guerra Mundial. Después de la guerra, se instalaron nuevos sismógrafos en Manila, Baguio y Davao. Las dos últimas estaciones se convirtieron, en 1962, en estaciones WWSSN. En 1899, los jesuitas instalaron una estación sismológica en Madagascar, la primera en África, con instrumentos italianos. En 1927, se instaló un sismógrafo Mainka, y la estación trabajó bajo la supervisión jesuita hasta 1967. En 1904, los jesuitas instalaron un sismógrafo Omori donado por el Gobierno japonés en el Observatorio de Zikawei, Shanghai, que puede haber sido el primero en China. Mejorada con instrumentos Wiechert y Galitzin-Wilip en 1909 y 1932, Zikawei fue una estación de primera clase hasta que los jesuitas fueron expulsados de China en 1949. En el Observatorio de Ksara, Líbano, los sismógrafos fueron instalados en 1910 y funcionaron hasta 1979. Ésta era una estación importante debido a la carencia de estaciones en Oriente Medio. Aunque no una estación jesuita en el sentido estricto, en 1955 una estación sismográfica fue instalada en el observatorio recién creado de Addis-Abeba, Etiopía, dirigida por el jesuita canadiense Pierre Gouin (1917-2005), que se convirtió en una estación WWSSN en 1962. En Australia, la estación sismográfica jesuita de Riverview fue iniciada en 1909 con instrumentos mecánicos Wiechert. En 1962 se convirtió en una estación WWSSN y funcionó hasta 1985. Durante muchos años ésta era la estación mejor equipada y conocida en Australia.



Figura 6. Entrada de la estación sismológica del Instituto Geofísico, Bogotá, Colombia.

América Central y del Sur son regiones donde los terremotos grandes son un acontecimiento común con un riesgo muy alto de víctimas y daños. La primera estación sismográfica fue instalada en el observatorio del colegio Sagrado Corazón en Puebla, México, en 1877. El observatorio se cerró junto con el colegio en la revolución mexicana en 1914. En la 2ª Asamblea General de la Asociación Sismológica Internacional, Manchester, 1911, se pasó una resolución en la que se recomendaba que los jesuitas instalasen una estación sísmica en la parte central de Suramérica. Esta recomendación muestra la confianza de la comunidad científica con el trabajo sismológico hecho por jesuitas. En respuesta a esta recomendación se instaló una estación sismológica en 1913 en La Paz, Bolivia, con el nombre de Observatorio de San Calixto por Pierre M. Descotes (1877-1964). En 1930, la estación fue mejorada con sismógrafos Galitzin-Wilip. A partir de 1964 y hasta 1993 la estación fue dirigida por Ramón Cabré (1922-1997). Durante muchos años, el Observatorio de San Calixto ha sido una de las estaciones más fiables en América del Sur. El primer sismógrafo en Colombia fue instalado por jesuitas en 1923 en Bogotá. En 1941, el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos (figura 6) (hoy Instituto Geofísico, Universidad Javeriana) fue fundado por Jesús E. Ramírez (1904-1983) que se convirtió pronto en uno de los mejores institutos de investigación sismológica en América del Sur. En 1962, las estaciones de La Paz y Bogotá se hicieron estaciones WWSSN y, más

tarde, la de La Paz se convirtió en una estación HGLP-ASRO (1972) y Bogotá en una estación SRO (1973). En 1940, una estación sismográfica fue instalada en Kingston, Jamaica, dependiente del Observatorio de Weston. Otras estaciones sismográficas jesuitas en Cuba y Chile funcionaron sólo durante unos años. En Montreal, Canadá, los jesuitas instalaron una estación sismográfica en 1952, la última estación instalada por jesuitas, que durante 31 años fue dirigida por Maurice Buist (1902-1986).

Jesuit Seismological Association

La historia del trabajo de los jesuitas en sismología en los Estados Unidos está unida a la Jesuit Seismological Association (JSA). El primer jesuita que instaló una estación sismológica en Estados Unidos fue Frederik L. Odenbach (1857-1933), en 1900, en la Universidad de John Carroll, Cleveland, Ohio, con dos sismoscopios de su propio diseño. En 1908, Odenbach concibió la idea de que el sistema de colegios y universidades de jesuitas distribuidas por todo Estados Unidos ofrecía una oportunidad excelente para establecer una red de estaciones sismológicas. Odenbach pensó que una red de estaciones jesuitas distribuidas en todas partes de los Estados Unidos podría contribuir a suministrar datos significativos unificados al Centro Sismológico Internacional establecido en Estrasburgo, Francia, en 1896, para tratar datos de las estaciones sismográficas en una base global. Odenbach convenció de la idea a los presidentes de las universidades y provinciales jesuitas americanos. La red, bajo el nombre del Jesuit Seismological Service (JSS), fue inaugurada en 1909. Estaba formada por 16 estaciones, 15 en universidades en los Estados Unidos y una en Canadá, todas equipadas con la misma instrumentación, sismógrafos Wiechert horizontales de 80 kilogramos de masa. Las estaciones individuales debían analizar sus sismogramas y enviar los datos a la Estación Central en Cleveland, que los remitiría al Centro Sismológico Internacional en Estrasburgo. La importancia de esta red consistía en



Figura 7. Sismógrafos del Observatorio de Weston, Massachussets.

que, en efecto, era la primera red sismológica establecida a escala continental con instrumentación uniforme.

Esta primera propuesta no funcionó durante mucho tiempo y la cooperación entre todas las estaciones de la red no fue nunca totalmente establecida. En 1925, James B. Macelwane (1883-1956), profesor jesuita de geofísica en la Universidad de Saint Louis, Missouri, hizo el esfuerzo de revivificar la red. El impulso vino no sólo de su propio interés, sino también de la incitación de científicos del Consejo de Investigación Nacional y la Institución Carnegie en Washington, y con el estímulo adicional de otros sismólogos jesuitas, como Sánchez Navarro-Neumann del Observatorio de Cartuja. Así, en el verano 1925, las estaciones fueron reorganizadas en la nueva Jesuit Seismological Association (JSA).

La Estación Central fue establecida ahora en la Universidad de Saint Louis, que asumió también la responsabilidad, por parte de JSA, de analizar los datos que se recibían de las estaciones miembros y de otras de alrededor del mundo y de localizar epicentros de terremotos,

publicarlos y distribuirlos a la comunidad sismológica mundial. La Estación Central siguió haciendo este servicio hasta principios de los años sesenta, cuando fue cesado para no duplicar las determinaciones hechas por el United States Geological Survey y por otras agencias internacionales. La mayor parte de las estaciones JSA siguieron en operación regular hasta un tiempo relativamente reciente. Florissant (Saint Louis), Weston, Georgetown y Spring Hill se convirtieron en estaciones WWSSN en 1962. En el presente, sólo Saint Louis y Weston (*figura 7*) siguen como institutos de investigación sismológica. Durante muchos años, la JSA se reunió conjuntamente con la Sección del Este de la Sociedad Sismológica de América, la sociedad más prestigiosa de esta ciencia. Esta sociedad estableció, en 1991, un premio anual con el nombre de Medalla de la JSA, como un tributo al trabajo hecho por los sismólogos jesuitas americanos.

Sismólogos jesuitas

La sismología como una ciencia moderna se desarrolló a partir de la mitad del siglo XIX, incluyendo no sólo la

observación y el estudio de los terremotos y sus consecuencias, sino también el análisis de las ondas sísmicas y la investigación de la estructura del interior de la Tierra. A partir de 1868, la fecha aproximada de la instalación del primer sismógrafo por los jesuitas en Manila, hasta el presente, muchos miembros de esta orden religiosa han dedicado su tiempo y esfuerzos a la sismología. El primer jesuita que debe ser mencionado es Federico Faura, primer director del Observatorio de Manila, que publicó un estudio sobre los terremotos destructivos de Manila de 1880, presentando la primera gráfica obtenida por los instrumentos en el observatorio. A partir de esta fecha, Faura mantuvo una correspondencia científica con John Milne, uno de los fundadores de la sismología moderna. Faura siguió su interés en sismología con la mejora de la instrumentación sismológica del observatorio y publicó un boletín sismológico. Un representante de la sismología jesuita en Europa fue Giovanni Egidi, director del Observatorio Tuscolano en Italia, quien colaboró desde 1877 con M. S. de Rossi en las observaciones sismológicas.

Dos jesuitas españoles contribuyeron muy pronto al estudio de la sismicidad y sismotectónica de Filipinas y España. Manuel Saderra-Masó se dedicó al estudio de la sismicidad de Filipinas y la interpretó en términos de líneas sismotectónicas, relacionándola con la estructura geológica en el archipiélago. M Sánchez Navarro-Neumann, director del Observatorio de Cartuja, España, compuso el primer catálogo de terremotos moderno de España, publicó numerosos estudios de la sismicidad de aquella región, así como el primer libro de sismología en español.

El sismólogo jesuita más renombrado fue sin duda James B. Macelwane (*figura 8*), quien había obtenido su grado de doctor en la Universidad de California, Berkeley, en 1925, con la primera tesis en sismología en los Estados Unidos. En 1925 fue el primer director del Departamento de Geofísica en la Universidad de Saint Louis y reorganizó, como hemos visto, la JSA. Entre sus

estudios se encuentran los de los tiempos de recorrido de las ondas sísmicas, la constitución del interior de la Tierra y la naturaleza de los microsismos y su relación con las tormentas atmosféricas. Fue un profesor y educador excepcional y con él la Universidad de Saint Louis se convirtió en uno de los mejores centros conocidos y de prestigio en sismología. En 1936, publicó el primer libro de texto de sismología en América. En 1928-1929 fue presidente de la Sociedad Sismológica de América y de 1953 a 1956 de la Unión Geofísica Americana; en 1944 fue elegido miembro de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos. En 1962, la Unión Geofísica Americana creó una medalla en su honor para el reconocimiento de la contribución significativa a las ciencias geofísicas por un científico joven.



Figura 8. James B. Macelwane (1883-1956), director del Departamento de Geofísica de la Universidad de Saint Louis, Missouri.

Entre los muchos estudiantes de Macelwane se encuentra William C. Repetti (1884-1966), quien estudió el interior de la Tierra a partir de tiempos de recorrido de las ondas sísmicas y estableció varias discontinuidades en su interior. En 1928 se trasladó al Observatorio de Manila, donde fue responsable de la sección sismológica y compuso un catálogo de terremotos de Filipinas. El colombiano Jesús E. Ramírez (1904-1983) trabajó en el problema de microsismos y tormentas y diseñó un sistema tripartito de estaciones para rastrear la posición del centro de huracanes tropicales. En 1941 fundó en Bogotá el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, publicó un número grande de estudios sobre la sismicidad de Colombia y fue una figura principal en la sismología de Sudamérica. La investigación sismológica en la Universidad de Saint Louis fue continuada por William Stauder (1922-2002), quien desarrolló nuevos métodos para el estudio del mecanismo de los terremotos y aplicó los resultados al estudio de la tectónica de varias regiones, contribuyendo al inicio de la teoría de la tectónica de placas.

Joseph Lynch (1894-1987), director de la estación sismológica de la Universidad de Fordham desde 1920, tuvo una larga

carrera como sismólogo que le llevó a hacer una variedad de estudios sismológicos, entre ellos un estudio del terremoto destructor de la República Dominicana de 1946. Daniel Linehan (1904-1987), profesor de geofísica y director del Observatorio de Weston durante 32 años, fue un escritor prolífico sobre muchos aspectos de la sismología y se dedicó sobre todo a la exploración sísmica. En 1950 realizó, acompañado por Lynch, una exploración sísmica en el Vaticano con un objetivo arqueológico. Linehan participó en tres expediciones a la región antártica, una al Ártico y tomó parte en varias misiones sismológicas de la UNESCO en África, Asia y Sudamérica. Otros dos sismólogos jesuitas participaron en expediciones a la Antártida durante el Año Geofísico Internacional: Edward Bradley, de la Universidad de Xavier, Cincinnati, y Henry Birkenhauer, de la Universidad de John Carroll, Cleveland. De los sismólogos jesuitas europeos, Richard E. Ingram (1916-1967), director de la estación sismológica de Rathfarmham Castle, Irlanda, merece ser mencionado por sus trabajos teóricos en sismología.

Entre los diferentes temas en sismología, el estudio de los microsismos atrajo un

interés especial de sismólogos jesuitas. Hemos mencionado ya a Macelwane y Ramírez con sus trabajos a partir de 1935. Probablemente, la primera sugerencia de la relación entre microsismos y tormentas fue hecha por José Algué (1859-1930), director del Observatorio de Manila, ya en 1894 en su estudio de los tifones de Filipinas. El jesuita italiano Ernesto Gherzi (1886-1976), director del Observatorio Zikawei, China, realizó una investigación temprana y publicó varios trabajos sobre la relación entre microsismos y condiciones atmosféricas.

Los observatorios magnéticos

A partir de mediados del siglo XIX, los jesuitas reiniciaron sus trabajos de geomagnetismo con la instalación de observatorios astronómicos y geofísicos, donde las observaciones del campo magnético terrestre tuvieron una especial dedicación. En 15 de los 72 observatorios creados por todo el mundo por los jesuitas se instalaron, entre 1820 y 1950, estaciones magnéticas: cinco en Europa, una en América del Norte, cuatro en América Central y del Sur y cinco en Asia, África y Oriente Medio. Algunas de las estaciones magnéticas



Figura 9. Stephen Perry (1833-1889), director del Observatorio de Stonyhurst, Gran Bretaña.

instaladas en los observatorios europeos fueron de las primeras de este tipo. Las estaciones instaladas en los observatorios de América Central y del Sur, Asia y África fueron, durante mucho tiempo, las únicas en proporcionar observaciones magnéticas en estas regiones. Estos observatorios eran parte de la labor misional y contribuían a ella con su prestigio científico. En la actualidad, casi todos estos observatorios se han cerrado o han pasado a otras manos, al considerar la Compañía que éste ya no es hoy un trabajo tan necesario.

El primero de estos observatorios fue el fundado en 1824 en el Collegio Romano. En este observatorio, en 1858, su director Angelo Secchi (1818-1878) empezó las observaciones magnéticas con la instalación de magnetómetros, declinómetros e inclinómetros. Secchi estudió las características de las variaciones periódicas de los diferentes componentes del campo magnético terrestre y trató de correlacionarlas con la actividad solar, considerando que el Sol se comporta como un enorme imán a gran distancia. La relación entre el campo magnético terrestre y la actividad solar, reflejada por las manchas y fulguraciones solares, se convirtió en este tiempo en un tema favorito de estudio en los observatorios jesuitas.

En el mismo año 1858, se comenzaron las observaciones magnéticas en el

Observatorio de Stonyhurst College (Gran Bretaña). Stephen J. Perry (1833-1889) (figura 9), director de este observatorio entre 1868 y 1889, es la figura más relevante de los jesuitas en este campo. Perry empezó su trabajo en geomagnetismo llevando a cabo tres campañas de observaciones, dos en Francia, en 1868 y 1869, y una en Bélgica, en 1871. En cada una de estas campañas realizó en cada estación medidas de la componente horizontal del campo magnético, la declinación y la inclinación. El problema al que dedicó más esfuerzo fue al estudio de las relaciones entre las variaciones del campo magnético terrestre y la actividad solar, tema que entonces era muy controvertido. Para estos estudios, Perry comenzó en 1881 en Stonyhurst una serie de observaciones de las manchas, prominencias y fulguraciones solares por medio de espectroscopios de visión directa, espectrógrafos y grandes dibujos del disco solar. En estos estudios, Perry colaboró con Edward Sabine, investigador pionero de este campo en Inglaterra. Perry participó en varias expediciones científicas en las que realizó campañas de observaciones magnéticas. La más importante de estas expediciones fue a la isla de Kerguelen en el océano Índico, en 1874, organizada por la Royal Society y de la que era responsable, para observar el tránsito de Venus. En 1874 Perry había sido elegido miembro de la Royal Society de Londres por sus investigaciones sobre el campo magnético terrestre. Su sucesor al frente del observatorio, Walter Sidgreaves (1837-1919), completó los trabajos y demostró la correlación entre la ocurrencia de tormentas magnéticas y la de los máximos de manchas solares. La serie de observaciones geomagnéticas en el Observatorio de Stonyhurst, desde 1858 a 1974, constituye una de las series más largas de observaciones hechas en un mismo lugar.

La relación entre la actividad solar y el campo magnético terrestre fue el tema principal de investigación en el Observatorio de Haynald, fundado en 1879 por los jesuitas en Kalocsa (Hungría). En él, entre 1885 y 1917, Gyula Fényi (1845-1927) llevó

Mantener observatorios magnéticos en África a finales del siglo XIX y principios del XX no era una tarea fácil, aunque los jesuitas se dedicaron a ella. El primer observatorio fue el establecido en 1889 en Antananarive, Madagascar

a cabo un largo programa de observaciones. Fényi se concentró en el estudio de las manchas y prominencias solares, de las que hizo un gran número de detalladas observaciones (cerca de 40.000), proponiendo novedosas e interesantes ideas, para aquel tiempo, sobre su naturaleza, que todavía era muy poco conocida, y su relación con el campo magnético terrestre.

El Observatorio del Ebro, Roquetas (Tarragona), dedicado específicamente al estudio de la relación entre la actividad solar y el magnetismo y la electricidad terrestres, fue fundado en 1904 por Ricardo Cirera (1864-1932), que había trabajado antes en el Observatorio de Manila. Esta orientación del nuevo observatorio constituía una verdadera innovación. El observatorio estuvo equipado desde su fundación con la instrumentación más moderna y adecuada a este fin y a lo largo del tiempo ha seguido renovándola. Entre los trabajos más importantes del Observatorio del Ebro destacan los de Luis Rodés (1881-1939) sobre la influencia de varias formas de actividad solar, principalmente manchas y prominencias solares, en los campos magnético y eléctrico de la Tierra. Después de la guerra civil, el

observatorio tuvo que ser prácticamente reconstruido y los trabajos sobre geomagnetismo se reanudaron por Antonio Romañá (1900-1981), José O. Cardús (1914) y Eduardo Galdón (1915-2005), incorporando estudios sobre la ionosfera y las observaciones de satélites. Desde 1958, el observatorio del Ebro está encargado de la comisión para las variaciones rápidas del campo magnético de la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA), en la que, durante muchos años, Romañá y Cardús tuvieron puestos oficiales de responsabilidad.

El Observatorio de Manila (Filipinas) fue fundado por jesuitas españoles en 1865. Martín Juan (1850-1888), que se había formado en geomagnetismo con Perry en Stonyhurst, instaló los primeros instrumentos magnéticos y estuvo al frente de la sección magnética del observatorio desde 1887. En 1888, Juan llevó a cabo una campaña de observaciones magnéticas de campo en varias islas del archipiélago filipino. Su repentina muerte no le permitió terminar el trabajo, que fue continuado en 1893 por Cirera, quien lo extendió también a las costas de China y Japón. Las observaciones magnéticas iniciadas en 1887 se han continuado hasta el presente, añadiéndose en 1952 y 1962 sondeadores para el estudio de la ionosfera.

En 1872, los jesuitas franceses fundaron en China el Observatorio de Zikawei, cerca de Shanghai. Los primeros aparatos de observación del campo magnético terrestre, para medidas absolutas y variaciones, fueron instalados en 1877. Los instrumentos magnéticos fueron trasladados en dos ocasiones a dos lugares cercanos: primero a Lukiapang, en 1908, y más tarde a Zose, en 1933. Los resultados de las observaciones se publicaron en 39 volúmenes entre 1908 y 1932: *Études sur le magnetisme terrestre*, vols. 1-39. Joseph de Moidrey (1858-1936), utilizando las observaciones de Zikawei, hizo uno de los primeros estudios sobre la variación secular del campo geomagnético en el Extremo Oriente. Las observaciones magnéticas se

El Observatorio de Manila (Filipinas) fue fundado por jesuitas españoles en 1865. Martín Juan (1850-1888), que se había formado en geomagnetismo con Perry en Stonyhurst, instaló los primeros instrumentos magnéticos y estuvo al frente de la sección magnética del observatorio desde 1887

continuaron hasta 1950, cuando los jesuitas fueron expulsados de China por el Gobierno comunista.

Mantener observatorios magnéticos en África a finales del siglo XIX y principios del XX no era una tarea fácil, aunque los jesuitas se dedicaron a ella. El primer observatorio fue el establecido en 1889 en Antananarive, Madagascar. El observatorio fue destruido durante la guerra de 1896, que terminó con la anexión a Francia de Madagascar y nuevamente reconstruido. En él se realizaron observaciones magnéticas continuas hasta 1967, cuando el observatorio fue transferido a la Universidad de Madagascar. En 1903, los jesuitas ingleses establecieron un pequeño observatorio en Bulawayo, Zimbabue. Edmund Goetz (1865-1933), su director durante 23 años, realizó, entre 1909 y 1914, dos campañas de observaciones magnéticas de campo a lo largo de dos largas líneas, cubriendo una distancia de más de 300 kilómetros desde Kazungula a Lealui. Éstas eran las primeras observaciones de este tipo llevadas a cabo en África.

El tercer observatorio en África dirigido por los jesuitas en Etiopía era en realidad un observatorio estatal. Su origen se debe a la recomendación del Comité Científico del Año Geofísico Internacional en 1955 de la conveniencia de instalar un observatorio magnético cerca del ecuador magnético. El observatorio se estableció en Addis Abeba en 1958, siendo su director durante veinte años el jesuita canadiense Pierre Gouin. Gouin, con la colaboración de Pierre Noel Mayaud (1923-2006), jesuita francés que trabajaba en el Institute de Physique du Globe de París, estudió las características de las variaciones temporales y las tormentas magnéticas cerca del ecuador magnético. Mayaud participó además en las expediciones francesas a la Antártida, donde estudió la actividad magnética en la región polar y trabajó sobre la naturaleza y el uso de los índices geomagnéticos. Observaciones magnéticas se llevaron también a cabo desde 1908 hasta 1979 en el observatorio fundado por los jesuitas franceses en 1906 en Ksara, Líbano.

Los jesuitas también hicieron observaciones magnéticas en América Central y del Sur. En el Observatorio de Belen, La Habana (Cuba), empezaron en 1862 y continuaron hasta 1920. En el observatorio del colegio de Puebla (México) las observaciones cubrieron el periodo 1877 a 1914, cuando en la revolución se cerró el colegio. El estudio y observación de la actividad solar y el campo geomagnético fue también uno de los temas centrales del Observatorio de Física Cósmica de San Miguel, fundado en 1935 en Argentina.

Conclusión

Como se ha visto, los jesuitas contribuyeron a aspectos organizativos, experimentales y teóricos de sismología y magnetismo terrestre como parte de su participación en la ciencia que para ellos tenía un sentido apostólico. Los dos periodos en que se divide su actividad tienen un carácter distinto. En el primero, a partir de 1540 hasta 1773, la ciencia era parte del programa educativo en colegios y

universidades jesuitas. La enseñanza de las ciencias matemáticas, que incluían la Astronomía, la Óptica y la Mecánica, era un elemento innovador de su trabajo educativo que atrajo a estudiantes interesados en las nuevas ciencias que se estaban desarrollando entonces. En el segundo periodo, desde 1812 al presente, sobre todo durante los primeros años, el trabajo científico de los jesuitas tenía un claro carácter apologético. Con él se trataba de mostrar que la ciencia y la fe cristiana no deben ser consideradas como hostiles u opuestas la una a la otra. Los científicos jesuitas con su vida personal mostraban que la búsqueda de la ciencia no tiene que ser considerada como dañosa y peligrosa para la fe. La sismología y el magnetismo terrestre fueron los campos científicos que atrajeron un interés especial de los jesuitas, debido entre otros aspectos

a sus consecuencias sociales como, por ejemplo, el de mitigar los efectos perjudiciales de los terremotos. Su contribución principal en sismología ha consistido en proporcionar datos para la evaluación del riesgo de terremotos y la investigación de la constitución de la Tierra y de los procesos de generación de terremotos. En magnetismo, sus investigaciones se centraron sobre las características del campo terrestre, su origen y su relación con la actividad solar. Los observatorios jesuitas destacaron por la regularidad y exactitud de sus observaciones y procuraron actualizar continuamente la calidad de su instrumentación. Esto fue en particular significativo en los tiempos tempranos, entre 1910 y 1960, cuando el número y la calidad de estaciones sismológicas y magnéticas por todo el mundo eran muy limitados. Los observatorios jesuitas en Sudamérica,

África y Asia fueron particularmente importantes en aquellas fechas tempranas ya que, en muchos casos, ellos fueron los únicos observatorios fiables durante muchos años. Su trabajo continuaba la tradición de los pioneros jesuitas que desde el siglo XVI estudiaron la naturaleza de los terremotos y del campo magnético terrestre. El establecimiento de observatorios magnéticos y de redes sismológicas nacionales modernas ha hecho su trabajo no necesario ya y explica el cierre de muchos observatorios jesuitas. Desde 1970, la mayor parte de los observatorios jesuitas han ido cerrando y, hasta cierto punto, se puede decir que éste es un capítulo de la historia de los jesuitas que está prácticamente terminado. Los intereses de los jesuitas se han movido en otras direcciones y no es probable que el estudio de la geofísica sea otra vez un aspecto importante de su trabajo como lo fue en el pasado.

Bibliografía

Feidgold, M. (ed.) (2003). *Jesuit science and the republic of letters*, The MIT Press, Londres.
 Heck, N. H. (1944). The jesuit contribution to seismology in the USA, *Thought*, 19, 221-228.
 Linehan, D. (1984). Jesuits in Seismology, *Earthquake Information Bull*, 16, 156-165.
 Macelwane, J. B. (1950). *Jesuit Seismological Association, 1925-1950. Twenty-fifth Anniversary Volume*, Saint Louis University, Saint Louis.
 Romano, A. (1999). *La contre-réforme mathématique. Constitution et difusión d'une culture mathématique jésuite à la renaissance*, École Française de Rome, París.

Saderra-Masó, M. (1915). *Historia del Observatorio de Manila, 1865-1915*, McCullogh, Manila.
 Sánchez Navarro-Neumann, M. M. (1928). Actual cooperación de la Compañía de Jesús a los estudios sismológicos, *Ibérica*, 15, 58-62; 72-75; 112-115.
 Udías, A. (2007). Jesuits role in geomagnetism, en Gubbins, D. y Herrero-Barrera, E. (eds.), *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*, Springer, Dordrecht, 460-462.
 Udías, A. (2003). *Searching the heavens and the earth. The history of Jesuit observatories*, Kluwer, Dordrecht.
 Udías, A. y Stauder, W. (1996). The Jesuit contribution to seismology, *Seismological Research Letters*, 67, 10-19.
 Vregille, P. de (1905). Le jésuites et l'étude du magnétisme terrestre, *Etudes*, 104, 492-511.



io institutosodontológicos

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

MUCHO MÁS QUE UNA CLÍNICA DENTAL

- ¡Más de 400.000 clientes ya confían en nosotros!
- Calidad en el servicio
 - Honestidad en el diagnóstico
 - 400 profesionales de toda confianza
 - Te ofrecemos servicio en 25 centros propios

Condiciones especiales

1ª visita, consulta y revisión **Gratuitas**
 Radiografías vitales **Gratuitas**
 (dependiendo de la clínica)
 Nostris sin tratamiento **20% Desc.**

¡VEN Y COMPRUÉBALO TÚ MISMO!

BARCELONA
 ALCALÁ DE H.
 MADRID
 GIRONA
 TARRAGONA

VALENCIA
 CASTELLÓN
 ZARAGOZA
 L'HOSPITALET DEL LL.
 MÁLAGA

MÁLAGA
 GRANOLLERS
 SABADELL
 TERRASSA
 VIC

BARCELONA
 CORNELLÀ
 VILANOVA I LA G.
 SÈ. BOI DE LL.

Historia de una mina, historia de un pueblo

La corta de la mina Concha II como ejemplo del pasado minero del País Vasco

La mina Concha II y Bodovalle, en Gallarta, es uno de los elementos fundamentales a través del cual es posible explicar la historia de la minería del hierro en el País Vasco. Esta mina a cielo abierto es la huella de una sociedad industrial, el resultado material de la actividad minera desarrollada durante siglos en estos montes, siendo el motor del desarrollo industrial del País Vasco e influyendo decisivamente en su configuración actual.

TEXTO | Oihane Herrera, subdirectora del Museo de la Minería del País Vasco. Virginia Ormaetxea, geóloga

Palabras clave

Mina Concha, Bodovalle, minería, Museo de la Minería de hierro, Gallarta

Cuando nos acercamos al enorme socavón situado junto al barrio de Gallarta (Abanto y Ciérvana, Bizkaia) nos invade una sensación de asombro que provoca en nosotros la curiosidad relativa al origen de esta transformación tan fuerte del paisaje (*figura 1*). Desde la parte superior se divisa toda la bahía de Getxo, la desembocadura de la ría y buena parte de las grandes ciudades del Gran Bilbao.

El paisaje ha sido moldeado durante siglos con pico, pala y barreno (*figuras 2 y 3*). Millares de inmigrantes venidos de toda la Península se hacinaban en las minas, trabajaban y morían, una vida dedicada a la mina.

Contexto histórico

Durante siglos, la actividad minera se ha desarrollado en la zona de Bizkaia que se extiende desde Bilbao hasta Cantabria, siendo los yacimientos más importantes los situados en los montes de Triano y Galdames, los llamados "Montes de Hierro". La historia de la minería del hierro en el País Vasco no es una historia reciente; la riqueza del hierro de estos montes ya fue recogida en el siglo I d. C. por Plinio el Viejo. Sin embargo, el *boom* minero, uno de los factores decisivos para la transformación producida en la industria española y europea a partir de la segunda



Figura 1. Panorámica de la corta de la mina Concha II y Bodovalle, en Gallarta (Abanto y Ciérvana, Bizkaia), en su estado actual.

mitad del siglo XIX, el verdadero despegue industrial de Bizkaia, no se produciría hasta alcanzar la segunda mitad del siglo XIX. Las innovaciones tecnológicas de la industria del hierro y la situación geográfica de Bilbao fueron algunos de los principales factores que impulsaron la expansión industrial de Bizkaia.

Aunque la nueva Ley de Minas de 1868 derogó las disposiciones que impedían la exportación del mineral, fue a partir de 1876 cuando comenzó en Bizkaia el verdadero desarrollo industrial. Ese mismo

año se ponía fin a la guerra carlista que había ocasionado una reducción considerable de la actividad minera, imponiendo un impuesto adicional sobre la exportación. Cediendo a presiones de los exportadores, el Gobierno de Madrid redujo los impuestos sobre la exportación y fue entonces cuando aumentó considerablemente la producción.

Además de estos factores, las mejoras técnicas en buques y puertos, los bajos costos de producción debido a la explotación al aire libre o cielo abierto



Figura 2. Fotografía aérea de la corta cuando estaba en explotación.



Figura 3. Bancos superiores de la corta durante su explotación.

y la barata mano de obra propiciaron el interés del capital extranjero en la cuenca minera vizcaína. La capitalización de los beneficios obtenidos de la actividad minera, así como la construcción de puertos y formación de importantes grupos bancarios, fue decisiva para el desarrollo de la industria siderometalúrgica. Muchos de los propietarios mineros, los autóctonos que habían registrado las minas y grupos industriales se asociaron con potentes empresas siderometalúrgicas extranjeras

formando así diferentes compañías mineras, entre otras Orconera Iron Ore Limited y S.A. Franco-Belga de Minas de Somorrostro.

El agotamiento de los criaderos más ricos y el descenso de la exportación provocarían ya en las primeras décadas del siglo XX el comienzo del declive de la minería del hierro en la cuenca minera de Bizkaia, siendo a partir de la década de los sesenta cuando las minas que todavía quedaban

activas se dedicaron únicamente a abastecer la siderurgia local y no, como en décadas anteriores, a atender la demanda de la siderurgia europea. En la década de los noventa se produciría el cierre de una de las empresas siderúrgicas más emblemáticas, Altos Hornos de Bizkaia, y el cierre de las últimas minas, poniendo fin a la epopeya minera del País Vasco.

Contexto geológico

La mina Concha II y Bodovalle se sitúa geológicamente en las estribaciones occidentales de los Pirineos, dentro de la Cuenca Vasco-Cantábrica. Los materiales que han sido aprovechados para minería son efusiones hidrotermales; están encajados en los macizos kársticos del Cretácico inferior, estructurados según directrices generales ONO-ESE, concordantes con las estructuras regionales más importantes de la Cuenca Vasco-Cantábrica (véase mapa geológico en la figura 4). Los macizos kársticos presentan gran diversidad de formas superficiales, aunque en la actualidad se encuentran en parte alterados por el aprovechamiento de los productos de alteración (figura 5).

Estos macizos rocosos pertenecen al Ciclo Urganiano, que se dio entre el Aptiense hasta el Albiense inferior. El Urganiano fue definido por Rat (1959) y en él se agrupó un conjunto variado de sedimentos marinos, con calizas de Toucasia y Polyconites como carácter distintivo. En lo referente a este complejo urgoniano, se puede decir que la sedimentación fue en gran parte carbonatada, donde las calizas de rudistas y corales se dispusieron en áreas de menor subsidencia relativa, a cubierto de la contaminación terrígena continental que invadía la cuenca.

La evolución paleogeográfica a lo largo de este lapso fue la siguiente: la llanura mareal que se implantó a partir de la base del Aptiense se divide en diferentes segmentos que basculan a lo largo de fallas sinsedimentarias de salto aparentemente variable y direcciones N120°E y N30-40°E, movilizadas en parte por la actuación local de la intumescencia de Ugao-Miravalles. Esto dio lugar

a la formación temprana de paleoaltos en la zona, con programación de facies arrecifales hacia los surcos adyacentes, mientras entre ellas se depositaban terrígenos mareales y microdeltaicos. Los edificios arrecifales son formaciones calcáreas de aguas someras, más o menos continuas o aisladas entre sí, y organizadas en secuencias de somerización. En el área de Gallarta se encuentran además especialmente desarrolladas las estructuras canaliformes en los márgenes de los edificios, polarizadas según la dirección de preformación del anticlinorio de Bilbao.

En los alrededores del núcleo de la intumescencia anteriormente indicada aparece, sobre un estrato de calizas arrecifales, una brecha volcanosedimentaria que se apoya oblicuamente sobre el techo de las mismas. Es muy probable que las efusiones hidrotermales de Fe y SiO₂, así como de sulfuros presentes en Gallarta, estén ligadas directa o indirectamente con esta actividad magmática que tuvo lugar en el Cretácico inferior, tanto en cuanto a su génesis propiamente dicha, como en cuanto a las vías de acceso (fallas sinsedimentarias) que utilizaron para su ascenso.

Los niveles calizos donde se encuentran las efusiones hidrotermales pertenecen a la macrosecuencia inferior, denominada Urganiano I, que presentan importantes mineralizaciones estratoligadas de hierro. Además en las minas de Gallarta las calizas se encuentran fuertemente mineralizadas por carbonatos de hierro y sílice. Estas sideritizaciones son grandes masas de carbonato de hierro con morfología irregular o de bolsada que reemplazan a las calizas aptienses.

El origen de la corta

Dentro de este contexto general debemos situar y entender el desarrollo histórico del barrio minero de Gallarta, antiguamente situado donde hoy encontramos esta cavidad en forma de cono invertido, la mina a cielo abierto Concha II. En su origen, este barrio fue una barriada rural del concejo de Santa Juliana de Abanto, pero por su situación geográfica, estar en



Figura 4. Mapa geológico de la zona.



Figura 5. Macizos kársticos alterados.

el centro de la zona minera y estar mejor comunicada con el resto del valle hizo que Gallarta se convirtiese en el centro de referencia de la comarca, aumentando considerablemente su población durante los años de mayor actividad extractiva.

La actividad minera influyó decisivamente en el desarrollo de este barrio, tanto en su crecimiento como en su total transformación. Entre 1959 y 1985 la extracción a cielo abierto del mineral que se hallaba en el subsuelo de este barrio

provocó el desalojo progresivo de los habitantes y el derribo de las viviendas, procediendo así a la expropiación forzosa. La primera calle que se derribaría en aquel momento sería la calle Peñucas, situada en la zona alta de Gallarta, donde había nacido, en 1895, Dolores Ibárruri, "Pasionaria".

Aunque los derribos se iban sucediendo, no todas las familias eran realojadas en el momento del desalojo, muchas de ellas pasaron grandes penurias. Algunas de las



Dolores Ibárruri, "Pasionaria"

Nació en 1895 en Gallarta, donde su padre era minero con ideología carlista y procedencia vasca, y su madre era de procedencia castellana. El ambiente familiar, las lecturas piadosas y su fortísimo carácter favorecieron una devoción religiosa.

Contrajo matrimonio con un minero socialista llamado Julián Ruiz, con quien estaría casada diez años, y se traslada a Somorrostro. Aficionada a la lectura y aprovechando la condición de líder minero socialista de su marido comenzó a adquirir conocimientos de marxismo que cuestionaron su educación tradicionalista y católica. Mujer de gran inteligencia natural y coraje, participó en la huelga general de 1917 e ingresó en la agrupación socialista de Somorrostro, con la que fue derivando hacia el comunismo. En 1918 utilizó por primera vez el pseudónimo *Pasionaria* para un artículo publicado en la prensa obrera y titulado *El minero vizcaíno*.

Tras finalizar la guerra civil española, se exilió en la URSS.

Tras la muerte del general Franco, volvió a España en 1977 y fue elegida de nuevo diputada por Asturias en las primeras elecciones democráticas. Murió en Madrid en 1989 y fue enterrada en el recinto civil del cementerio de La Almudena de Madrid.

familias incluso tuvieron que emigrar a otros barrios y municipios del entorno próximo. Pero los problemas no acababan aquí, las grietas causadas por las detonaciones y la caída de piedras sobre los tejados y calles del pueblo fueron motivo de quejas y de descontento de muchos vecinos. Éstos veían desaparecer el barrio en el que habían nacido y crecido, al mismo tiempo que sufrían la destrucción y la transformación de la vida social del pueblo que ocasionaban los métodos empleados por la Compañía Franco-Belga.

La Compañía Franco-Belga de Minas de Somorrostro fue la primera encargada de la explotación de esta mina. A partir de 1968 con la fusión de varias compañías mineras se crearía Agruminsa (quien dirigirá y producirá la minería extractiva de Altos Hornos de Vizcaya), haciéndose cargo de la explotación y aumentando considerablemente su producción.

Además de la actividad a cielo abierto, en 1961 la compañía minera Orconera Iron Ore Ltd. (cuya parte vizcaína crearía Agruminsa) comenzó las labores subterráneas creando hasta la fecha de cese de actividad una red de galerías y cámaras subterráneas situadas en una parte del subsuelo del municipio de Abanto y Ciérvana.

El 15 de noviembre de 1983, Agruminsa, la última compañía en funcionamiento, abandonaba la extracción de carbonato a cielo abierto y cesaba la actividad subterránea de la mina definitivamente en 1993.

El valor cultural de este elemento patrimonial

La extracción del mineral de hierro ha generado este paisaje minero, un paraje que posee un valor cultural de alto nivel. Creado y definido por el ser humano durante décadas, está formado por componentes naturales y culturales, valores tangibles e intangibles, que además de lo anteriormente expuesto, no hacen más que ratificar el valor cultural de este elemento.

Esta mina, su grandiosidad (700 m de largo por 350 m de ancho y 187 m de profundidad, de los cuales 37 están en cota bajo el nivel del mar y 20 inundados), es un elemento primordial para entender el proceso de industrialización del País Vasco, un elemento clave para transmitir a las generaciones futuras la historia de la minería del País Vasco.

Concha II se ha convertido en un símbolo social con significado colectivo. Este elemento forma parte de nuestra historia más reciente, de la vida de las personas del entorno, así como marcó la vida social y asociativa del núcleo principal del municipio de Abanto y Ciérvana. Todos estos siglos de historia ligados a la minería y experiencias como la del barrio de Gallarta han hecho que surja en los habitantes un importante sentimiento de identidad minera. En este entorno, es raro encontrar una familia en la que no exista un antepasado minero. Este sentimiento de identidad minera es el que ha llevado a generar y desarrollar diversos proyectos cuyo fin es la recuperación de la memoria histórica y el reconocimiento de un pasado minero en el que tantas personas perdieron su vida.

Por este motivo, en noviembre del año 2003 y nuevamente en febrero de 2008, el Museo de la Minería del País Vasco solicitó al Departamento de Cultura del Gobierno vasco la declaración de Bien de Interés Cultural para esta mina. Numerosos han sido los apoyos recibidos a esta solicitud, provenientes de asociaciones culturales o de otra índole, de administraciones que han reconocido su valor, de colectivos sensibilizados con el patrimonio geológico, minero e industrial, y colectivos del mundo académico, entre otros. Sin embargo,

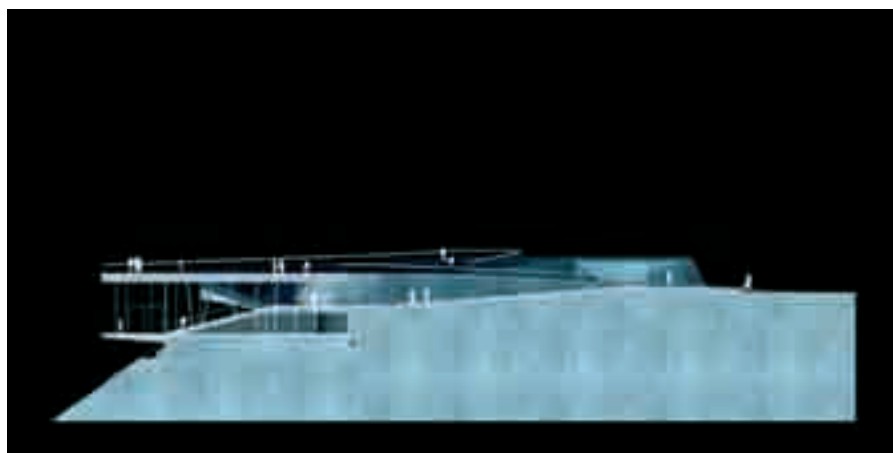


Figura 6. Proyecto arquitectónico de las nuevas instalaciones del Museo.

Gobierno vasco no se ha decidido aún a incoar el expediente como Bien de Interés Cultural Calificado, logrando de esta manera proteger este vestigio siguiendo el ejemplo de otros países o comunidades autónomas y evitar que otro tipo de intereses que no sean puramente culturales lo destruyan, produciéndose así una pérdida irremediable.

Recuperar el pasado: Museo de la Minería del País Vasco

Oficialmente, en el año 2002 fue inaugurado el Museo de la Minería del País Vasco, después de una ardua labor por parte de la Asociación Cultural Museo Minero, que vio recompensado su esfuerzo con el apoyo de los ayuntamientos de Abanto y Ciérvana, al crear ambos la Fundación Museo de la Minería del País Vasco. Este Museo es un proyecto único, donde la esencia son todas aquellas personas de la Asociación Cultural Museo Minero (creada en 1986) que decidieron desinteresadamente, hace años, reparar y conservar los elementos que la actividad minera había generado para recuperar nuestra memoria histórica y transmitirla a las generaciones futuras. Es imprescindible reconocer la importancia de la actividad minera desarrollada durante siglos para entender el mundo que nos rodea, un mundo lleno de testimonios de nuestra sociedad minera, de huellas visibles de la industrialización vizcaína.

El Museo de la Minería del País Vasco está situado junto a la corta de la mina Concha II. Es el centro dedicado al estudio y difusión de la cultura y la historia de la minería del País Vasco y especialmente de la zona minera de Bizkaia.

En el año 2002, con el fin de recuperar, conservar y difundir los elementos materiales, industriales, urbanos y de infraestructura minera, así como la cultura que se derivó de ella, se dan los primeros pasos hacia la creación del proyecto Parque Cultural de la Minería del País Vasco. Como promotora está la Fundación Museo de la Minería del País Vasco, que cuenta con la colaboración de Espiral Ondarea, a la que encarga la musealización de las grandes piezas de su colección (este encargo inicial será el origen de este gran proyecto), e IMB



Figura 7. Planta del proyecto arquitectónico de las nuevas instalaciones del Museo.

El Museo de la Minería del País Vasco es el centro dedicado al estudio y difusión de la cultura y la historia de la minería del País Vasco y especialmente de la zona minera de Bizkaia

Arquitectos, que ha diseñado el nuevo espacio de aproximadamente 3.000 m² (figuras 6, 7 y 8), la ampliación del edificio actual. Así será cómo lo que en un primer momento se concibe como un proyecto enmarcado dentro del proyecto del Museo tome una dimensión territorial y sea éste el propio marco para otros proyectos.

El Museo de la Minería del País Vasco es el centro dedicado al estudio, la preservación y la difusión de la cultura y la historia de la minería del País Vasco, actividad que ha marcado profundamente la identidad del territorio.

Sus instalaciones albergan tanto el fondo documental de esta entidad, como la colección de piezas que han sido recuperadas y restauradas a lo largo de todos estos años, gracias a los voluntarios de la Asociación Cultural Museo Minero. El compromiso firme que demuestran estas

personas son los pilares de esta entidad, cuyo objetivo es recuperar la memoria histórica a través de todas las actividades que se llevan a cabo.

Cada pieza, cada documento, cada imagen expuesta en este Museo traslada al visitante a una realidad completamente diferente a la actual. Todos ellos forman parte de nuestra historia más reciente y nos ayudan a comprender el pasado, el presente y el futuro. A través de la exposición permanente, principalmente dedicada a la época dorada de la minería de Bizkaia (finales del siglo XIX y principios del siglo XX), el visitante podrá comprender los sistemas de explotación minera, la transformación del mineral de hierro, los sistemas de transporte, los aspectos relacionados con la sociedad, inmigración, creación y desarrollo de pueblos mineros, así como la conflictividad social, además de conocer el patrimonio geológico, minero, industrial y paisajístico, producto de la actividad minera del País Vasco.

La corta de la mina Concha II

El elemento clave de este proyecto de recuperación histórica de la minería es la corta de la mina Concha II, un gran telón de fondo que funciona al mismo tiempo como contenido, pero también como contenedor. Es un claro referente a lo largo de toda la visita al complejo, en el que se funde la mirada de un pasado minero, el derribo de todo un núcleo urbano en pro del desarrollo económico y la mirada hacia un futuro en



Figura 8. Imagen infográfica del mirador acristalado del Parque Cultural de la Minería del País Vasco y del voladizo sobre la mina Concha II.



Figura 9. Avance de las obras de la primera fase del Parque Cultural de la Minería del País Vasco (mayo de 2009), con la sede actual del Museo al fondo a la derecha (tejado rojo).

el que el proyecto constituye un elemento que contribuirá a afianzar la identidad colectiva.

Actualmente, tanto las personas que se implicaron en este proyecto desde un principio, como las administraciones, entidades y asociaciones o colectivos

de diferente índole, así como las administraciones que han financiado la ejecución de la primera fase del Parque Cultural de la Minería del País Vasco (el Departamento de Innovación y Promoción Económica de la Diputación Foral de Bizkaia, el Departamento de Vivienda y Asuntos Sociales de Gobierno vasco

y el Ministerio de Cultura) pueden comprobar que este proyecto ya es una realidad (figura 9). El Museo y esta mina son visitados actualmente por numerosas personas, más de 12.000 visitantes al año, que se acercan para conocer la historia de la minería del País Vasco.

Así como en aquellos tiempos que hoy nos parecen tan lejanos la minería generó tal riqueza para el País Vasco que no podemos olvidar, el Parque Cultural de la Minería del País Vasco se consolidará como un recurso turístico de primer orden, siendo el patrimonio minero el motor del desarrollo social y económico de la zona minera de Bizkaia.

Bibliografía

- Homobono, J. I. (dir.) (1994). *La cuenca minera vizcaína: trabajo, patrimonio y cultura popular*, FEVE, Dirección de Comunicación, Madrid.
- Leseduardo, P. (2006). *Los pueblos mineros: conflictividad social y política municipal en la cuenca minera vizcaína*, Ediciones Beta, Bilbao.
- Montero, M. (coord.) (2004). *Historia de los montes de hierro (1840-1960)*, Ediciones Beta, Bilbao.
- Pérez Goikoetxea, E. (2003). *Burdingintza Triano eta Galdamesko mendietan-Minería del hierro en los montes de Triano y Galdames*, Diputación Foral de Bizkaia, Bilbao.
- Rat, P. (1959). *Les Pays crétacés basco-cantabriques*, tesis doctoral, Dijon, Francia, 525 pp.
- Villar Ibáñez, J. E. (1994). *Las catedrales de la industria: patrimonio industrial de la margen izquierda y zona minera de la ría del Nervión*, Librería San Antonio, Baracaldo.

Archivos

Museo de la Minería del País Vasco (MMPV).

Internet

Museo de la Minería del País Vasco: <http://www.museominero.net/>

El Laboratorio Geológico de Lage

En 1940, don Isidro Parga Pondal crea el Laboratorio Geológico de Lage (sic.) pocos años después de su expulsión de la Universidad de Santiago al comienzo de la guerra civil española. Los motivos hasta hace poco tiempo se suponían políticos: una ideología de izquierdas y una supuesta militancia en un partido nacionalista. Los últimos datos, sin embargo, apuntan a que los motivos de su salida de la universidad fueron esencialmente enemistades y venganzas personales derivadas de envidias de sus compañeros de Facultad ajenas, por tanto, a sus ideas o actividades políticas.

TEXTO | Juan Ramón Vidal Romaní, geólogo

Palabras clave

Parga Condal, Lage, Laxe, geoquímica, Laboratorio Geológico de Lage

Durante 25 años (1940-1965) el Laboratorio Geológico de Lage fue la única institución gallega dedicada al estudio de la Geología hasta su desaparición en 1965, coincidiendo con el retiro de la vida activa de su fundador. La creación del Laboratorio fue fruto de la casualidad, casi de un arrebato de don Isidro Parga Pondal, como una forma de demostrar a la sociedad que estaba vivo y que podía hacer cosas para el desarrollo del conocimiento geológico y minero de Galicia, aun desde fuera de la universidad.

Durante sus 25 años de vida el Laboratorio sólo tuvo una ayuda simbólica de instituciones gallegas (Diputación Provincial de A Coruña), aunque sí muy importante de otras españolas como el Instituto Geológico y Minero de España, con el que colaboró realizando la mayor parte de las hojas de Galicia de la 1ª serie del *Mapa Geológico de España 1:50.000*. También recibió apoyo y colaboración científica de otras instituciones internacionales como el Instituto Geológico e Mineiro de Portugal o la Universidad de Leiden de Holanda, lo que permitió que se editase el primer *Mapa Geológico del NW de la Península Ibérica*, una de las más relevantes aportaciones del Laboratorio Geológico de Lage a la geología de Galicia y del Hercínico peninsular.

Don Isidro Parga Pondal nació en Lage en diciembre de 1900. Hizo sus estudios de bachillerato en Santiago de Compostela,

marchando a continuación, en 1917, a Madrid a estudiar Ciencias Químicas en la Universidad Central, donde se licenció en 1922. Volvió inmediatamente para Galicia, incorporándose en Santiago de Compostela a la universidad donde, entre 1923 y 1936, ejerció docencia como profesor auxiliar de Química Inorgánica y Análisis, entre otras disciplinas, en la recién creada Facultad de Ciencias de la universidad compostelana.

En 1924 se incorpora como miembro del Seminario de Estudos Galegos, una institución científica gallega formada por profesores e investigadores universitarios que buscaba relanzar el apagado mundo científico gallego. En el Seminario, Isidro Parga Pondal entró para encargarse de la organización de la subsección de Geoquímica incluida en la Sección de Ciencias Naturales, dirigida por el naturalista profesor Luis Iglesias Iglesias. Eran muy diferentes los campos de trabajo de Luis Iglesias Iglesias y los de Isidro Parga Pondal, pero aun así dieron lugar a los primeros enfrentamientos que don Isidro tuvo en la universidad y que algunos años más tarde resultaron trágicos para él.

En 1927, publica su primer trabajo, *El contenido en yodo de las principales algas marinas de las costas de Galicia*, que es reflejo de su formación de químico, aunque luego se irá reorientando hacia la geoquímica. Así, entre 1927 y 1930, publica en los "Archivos do



Figura 1. Parga Pondal frente a la puerta principal de la Eidgenössische Technische Hochschule de Zúrich, Suiza.

Seminario de Estudos Galegos" diferentes trabajos sobre la composición química de los minerales gallegos: la pirrotina de Mañoca, la nontronita de Chenlo, la evansita de Negreira, la ilmenita de Balarés, etc., y muchos otros sobre los yacimientos de wolframio gallegos. En 1930 empezó a colaborar en los *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química*, por cuyos trabajos la Sociedad le concedió ese mismo año el Premio "Alonso Barba". También el mismo año de 1930 fue pensionado por la Junta de Ampliación de Estudios para perfeccionar sus conocimientos de geoquímica en Zúrich (figura 1) con los profesores P. Niggli, C. Burri y J. Jakob, los precursores de la geoquímica europea y, por lo tanto, mundial. Parga Pondal



Figura 2. Parga Pondal (izquierda) en el Laboratorio de Geoquímica de la Facultad de Ciencias de Santiago de Compostela (1932).

empezó a publicar trabajos allí, algunos en colaboración con sus mismos profesores del Instituto de Mineralogía y Petrología de Zúrich. Teniendo en cuenta tanto la juventud de don Isidro como la altura científica de los coautores de sus primeros trabajos, pues eran figuras de importancia mundial en la geoquímica, estas publicaciones prueban la valía científica de Isidro Parga Pondal.

Galicia en aquellos años no tenía fábrica propia de cemento, lo que era impensable en una región que buscaba su desarrollo. Por ello, en 1932, la Agrupación de

Fabricantes de Cemento lo pensiona para estudiar distintos aspectos de la fabricación del cemento, lo que realiza en la Escuela Superior Técnica de Berlín con el Dr. Kühl, una autoridad en la materia en aquella época, con quien también publicará algunos trabajos científicos. A finales de 1933, acabada su formación científica, se reintegra a la universidad compostelana, solicitando permiso y medios para la creación del Laboratorio de Geoquímica, dependiente del Seminario de Estudios Galegos y del Instituto de Estudios Regionales de la Universidad, en el que colaboraban

diversos científicos gallegos como Brañas, Casado, Garriga, Salgado y Suárez Paz.

En 1934 se doctora en Madrid con un trabajo titulado "Quimismo de las manifestaciones magmáticas cenozoicas de la Península Ibérica", que puede ser considerado como el primer trabajo moderno sobre geoquímica de las rocas volcánicas peninsulares. Científicos de la valía de José María Fuster Casas o San Miguel de la Cámara fueron más tarde sus primeros alumnos extraacadémicos.

Finalmente, después de muchos esfuerzos, en 1935, la Fundación Nacional de Ensayos y Reformas decide apoyar la creación del Laboratorio de Geoquímica, dotándolo de becas para licenciados (figura 2). De esta forma, la universidad compostelana se convirtió en la adelantada de los estudios de Geoquímica en España y de las primeras de Europa. En el horizonte del Laboratorio de Geoquímica estaban, entre otros, realizar los estudios de las rocas eruptivas y metamórficas de Galicia y de los minerales metálicos (estaño, wolframio, ilmenita) y de los minerales industriales (feldespato, cuarzo, caolín); en esencia, esto supondría un desarrollo del sector geológico minero de Galicia a partir de la propia universidad gallega, superándose así la etapa previa de una explotación minera realizada por empresas extranjeras, predominantemente no españolas, que no dejaban apenas beneficios para el país explotado de esta manera.

Desde su incorporación al Seminario de Estudios Galegos, don Isidro Parga Pondal colaboró en sus programas de estudios comarcales comenzando con el estudio de la geología de las tierras de Mellid y de Lalín. En 1936, el trabajo de Parga Pondal es interrumpido por el comienzo de la guerra civil española. El investigador pasó, en dos meses, de secretario de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Santiago de Compostela a ser expulsado de ella, aparentemente por su relación con los galleguistas y su pertenencia al Seminario de Estudios Galegos, que fueron los únicos cargos contra él en el expediente académico formado por su

universidad. Sin embargo, detrás de la denuncia se escondían las envidias en unos casos y la insolidaridad en los restantes de sus compañeros claustrales que veían con preocupación cómo aquel hombre joven lleno de fuerzas y de ideas, educado en Europa en las universidades más adelantadas del mundo, ponía en ridículo, con su trabajo serio y moderno, el mundo clasista y oscurantista de la universidad compostelana. A pesar de lo injusta que fue su expulsión, ni uno solo de sus compañeros claustrales dijo nada cuando el decano en funciones, el profesor Tomás Batuecas, decretó que Parga Pondal no podía volver a entrar en la Facultad de Ciencias de Santiago de Compostela. Allí se quedaron sus libros, sus colecciones de rocas y láminas delgadas, y de todos los materiales con los que se proponía desarrollar su trabajo en el Laboratorio de Geoquímica, que ni siquiera consiguió licenciar la primera promoción de geoquímicos.

Acosado por sus enemigos se retiró a su villa natal de Lage para allí preparar su defensa contra la injusta desposesión de su puesto de trabajo en la universidad. Fue en Lage donde recibió los primeros apoyos, aunque únicamente por parte del mundo extraacadémico. Puede parecer insólito pero fueron dos cargos políticos, el primer teniente de alcalde, don Calixto Vázquez Castiñeira, y don Manuel Jesús Macía Rodríguez, secretario de la FET y de las JONS de Lage, los únicos que se atrevieron a apoyarlo certificando ante las nuevas autoridades que su comportamiento como ciudadano había sido siempre correcto. Por su parte, Parga Pondal luchó en la vía judicial ordinaria consiguiendo probar la falta de soporte real de las acusaciones de sus compañeros claustrales. Teniendo en cuenta la situación en toda España, posterior a la guerra civil, sorprende que tan pronto como el año 1940 su persona fuera rehabilitada, exonerándolo de todos los cargos presentados contra él. Aunque se pudo haber reincorporado de nuevo a la Universidad de Santiago, Parga Pondal desconfió, con muy buen juicio, de su futuro en una institución tan enferma y prefirió quedarse en Lage desarrollándose entonces su nueva faceta de empresario minero con un notable éxito económico.

Ayudado por el empresario lugués Fernández, fundó una empresa minera para la explotación de los caolines de Lage. Pero el nombre de Parga Pondal entre sus colegas de la universidad española era ya bien conocido y diversos investigadores conectaron con él en su retiro de Lage. Primero fue su antiguo amigo y colaborador científico, el mineralogista Martín Cardoso, y después, el geomorfólogo Eugenio Torre Enciso y el estratígrafo Vicent Sós-Baynat. Más adelante, fue el ingeniero de Minas del IGME, José Manuel López de Azcona, y muchos otros, principalmente extranjeros, los que le fueron ayudando primero a reanudar su actividad científica y luego a formar sus propios alumnos.

Merced a todas esas ayudas generosas, y hasta cierto punto arriesgadas, el Laboratorio Geológico de Lage comenzó a existir a través de los trabajos publicados, entre los que se encontraba la primera cartografía geológica de Galicia, después de la de Guillermo Schulz (1834), a escalas 1:50.000 y 1:200.000, que fueron la base del éxito posterior del Laboratorio en el mundo geológico internacional.

Privado de otras ayudas económicas que no fueran sus propios bienes (*figura 3*), el funcionamiento del Laboratorio Geológico de Lage, en lo que se refiere a sus publicaciones, se ayudó a través de colaboraciones con distintas entidades españolas o extranjeras. Así, cada vez que Parga Pondal publicaba un trabajo para alguna revista, o cada vez que prestaba su ayuda para que algún autor hiciera una investigación, pedía a cambio el envío de un cierto número de separatas en las que en la cabecera apareciese el subtítulo "Trabajos del Laboratorio Geológico de Lage". Es así como en 1953 aparece el trabajo nº 1 del Laboratorio Geológico de Lage: "Sobre una relación entre los tipos de disyunción de los granitos gallegos y historia geológica tectónica", hecho en colaboración con Eugenio Torre Enciso. Y, ese mismo año, el Dr. Sós-Baynat da cuenta en una publicación de la Real Sociedad Española de Historia Natural de la actividad coherente del Laboratorio como centro de investigación. Llegan



Figura 3. Parga Pondal en su despacho del Laboratorio Geológico de Lage (Lage, A Coruña, 1958).



Figura 4. Isidro Parga Pondal y Emile den Tex (Oporto, Portugal, 1959).

a publicarse de esta forma hasta 47 trabajos del Laboratorio Geológico de Lage en numerosas revistas nacionales y extranjeras, pero nunca su Universidad de Santiago, salvo ocasionales colaboraciones a nivel particular, participó en esa actividad.

A partir de 1954 el Laboratorio Geológico de Lage adquiere una nueva dimensión al entrar en contacto con la Universidad de Leiden (Holanda) y con su programa de investigación para Galicia en el que, bajo la dirección de Parga Pondal, profesores de aquella universidad (De Roever, De Sitter y Den Tex) (*figura 4*) trabajan en Galicia durante más de veinte años con sus alumnos, contribuyendo de forma importante a mejorar el conocimiento geológico de Galicia.



Figura 5. Distribución de las tesinas de los estudiantes holandeses de Leiden (Holanda) en Galicia (1966-1969).

Pero hubo también otras universidades y profesores extranjeros que contribuyeron a la vida científica del Laboratorio. Los doctores Mattauer y Remy (Montpellier), Waibel (Zúrich), Shakleton (Liverpool), Lotze (Münster), Coppens (Nancy) y Nonn (Estrasburgo) y, finalmente, y no por eso menos importantes, los doctores Teixeira y Torres de Assunção (Lisboa). Todos ellos, en unión con sus alumnos, trabajaron en Galicia, dando al Laboratorio Geológico de Lage el carácter de institución universitaria europea con el desarrollo de un programa de trabajo, en muchos aspectos precursor del Programa Erasmus-Séneca actual, en lo que a intercambio de estudiantes europeos se

refiere (figura 5). Sus trabajos en Galicia elevaron el conocimiento geológico de Galicia a la altura de los mejores de toda Europa, a pesar de no existir estudios geológicos en la Universidad de Santiago de Compostela.

Los conocimientos de los minerales y rocas gallegas permitieron a Parga Pondal iniciar su relación con las industrias mineras extractivas, en especial calizas, para la fabricación del cemento o aditivos agrícolas, cuarzo, caolín, pizarra y aguas minerales, entre otras.

En 1958 le concedieron el Premio R. Mourente, creado por emigrantes

En 1978, geólogos de distintas naciones europeas quisieron hacer un gran homenaje a don Isidro Parga Pondal, dedicándole un importante trabajo de investigación colectivo, la “Geología de la parte norte del Macizo Ibérico”, publicado en el *Caderno nº 27* del Seminario de Estudios Cerámicos de Sargadelos

gallegos en la República Argentina. En 1965 le fue concedido el “Pedrón de Ouro”. En 1972 recibió el Premio de Ciencias de la Diputación Provincial de A Coruña. En 1976 el Grupo de Geólogos del Oeste de la Península Ibérica le hizo un homenaje que tuvo lugar en la Universidad de Salamanca. En 1978, la Universidade de Coimbra le dedicó un número de su revista de geología, *Memorias e Noticias*. Ese mismo año en Galicia le conceden el Premio de la Crítica de Investigación.

Fue miembro de una docena de sociedades de geología, mineralogía, petrología y cristalografía de varias

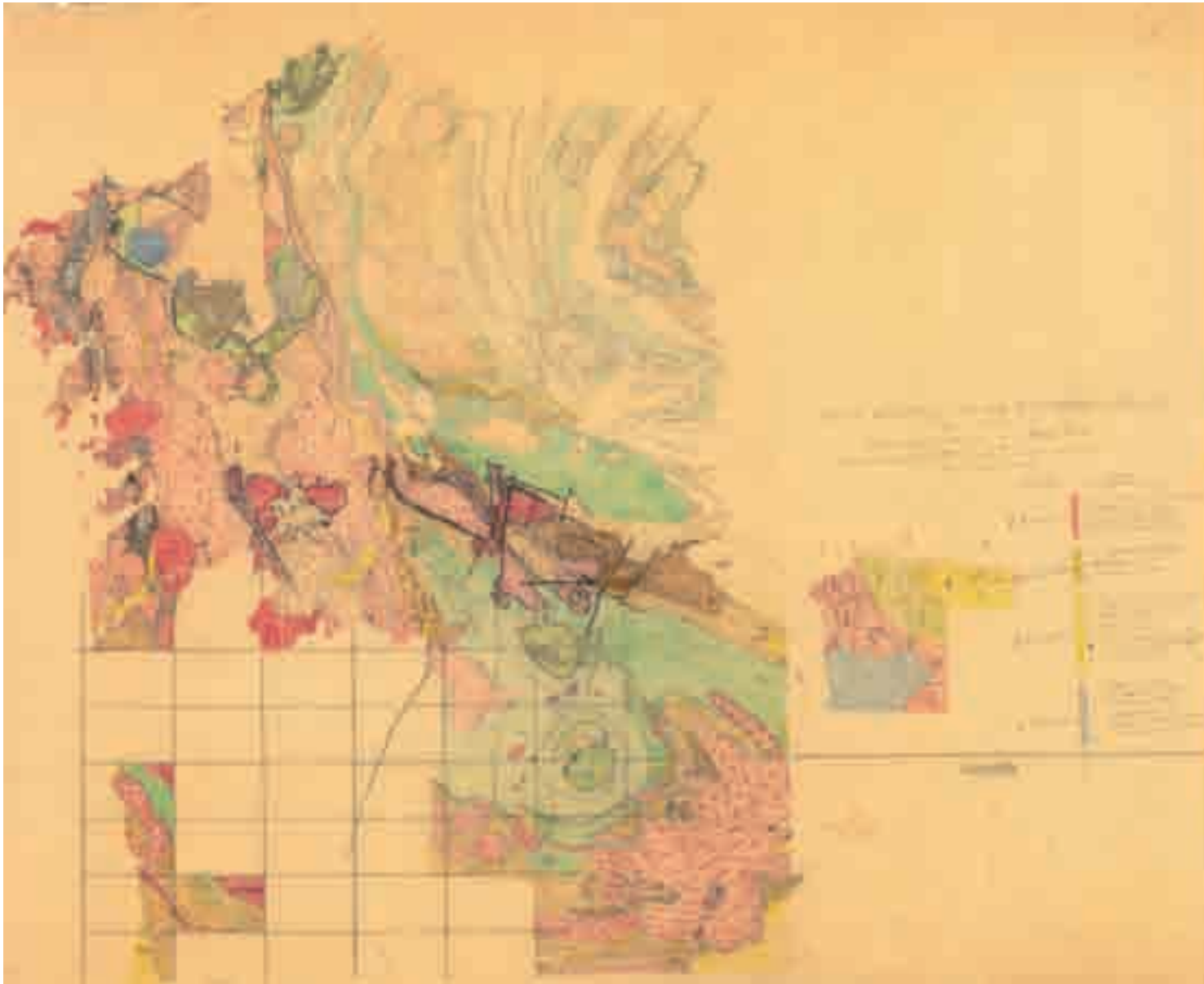


Figura 6. Boceto del Mapa Geológico del Noroeste Peninsular (parte norte), realizado por Isidro Parga Pondal y José Ramón Parga Peinador (1965).

naciones europeas; presidente de la Cámara Minera de Galicia con sede en A Coruña; presidente honorario de la Academia de Ciencias de Galicia; numerario de la Academia de Doctores de Madrid, correspondiente de la Real Academia de Ciencias de Madrid y de la de Ciencias y Artes de Barcelona, y numerario de la Real Academia Galega, le fueron llegando en reconocimiento de su labor científica.

En 1978, geólogos de distintas naciones europeas quisieron hacer un gran homenaje a don Isidro Parga Pondal, dedicándole un importante trabajo de investigación colectivo, la "Geología de la parte norte del Macizo Ibérico",

publicado en el *Caderno* nº 27 del Seminario de Estudos Cerámicos de Sargadelos. En su introducción, el profesor R. Capdevila dice: "Por su obra científica y por su acción personal de inspirador, coordinador y maestro, don Isidro Parga Pondal aparece como uno de los investigadores más destacados que haya habido en España durante los últimos cincuenta años".

Pocos meses después de este homenaje, que se concretó en Santiago de Compostela en el mes de septiembre, en el marco a su vez de una exposición homenaje al viejo Seminario de Estudos Galegos, don Isidro Parga Pondal perdió en un accidente de circulación a su más

importante colaborador, su hijo Ramón Parga Peinador, geólogo como su padre, con el que coordinó el trabajo del Mapa de Geología del Macizo Hespérico Peninsular (figura 6).

A finales de 1978 Parga Pondal fue visitado en su retiro de Lage por su amigo y colaborador, el científico Carlos Rodríguez Baltar, a quien confiesa que, viendo el abandono en el que estaba el Laboratorio y el desinterés que por él tenía todo el mundo, había pensado muchas veces en quemarlo todo para no sufrir más con su decadencia. La sensibilidad de Carlos Rodríguez Baltar por el tema le hizo ponerse en contacto a principios de 1979 con el profesor Guitián

Ojea, catedrático de Edafología en la Facultad de Farmacia de la universidad compostelana. La ya antigua desconfianza de don Isidro por la universidad que tan mal lo tratara abortó la solución más adecuada que hubiera sido que su antigua universidad se hiciera cargo de recoger el legado de don Isidro al que había rechazado hacía más de cuarenta años. Por ello, Carlos Rodríguez Baltar solicitó la ayuda de Isaac Díaz Pardo, el fundador de Cerámicas de Sargadelos, quien se manifestó con entusiasmo a favor de la idea, como en todo lo que se refería a la recuperación de la memoria histórica de Galicia, ofreciendo inmediatamente los locales de O Castro (Sada) para recoger en ellos todos los materiales que estaban en el Laboratorio Geológico de Lage. Isaac Díaz Pardo se encontraba en aquellos momentos involucrado en una de sus iniciativas, desgraciadamente fracasada, de restaurar el antiguo Seminario de Estudos Galegos y, por ello, la recuperación del Laboratorio Geológico de Lage era una baza fundamental, más accesible, como el tiempo demostró posteriormente, que la de recuperar los fondos del viejo Seminario de Estudos Galegos que en la postguerra habían sido transferidos, los que no fueron expoliados, al Instituto de Estudios Gallegos Padre Sarmiento del CSIC en Santiago de Compostela. Parga Pondal no estaba muy entusiasmado con la idea, pero en la disyuntiva de la desaparición o integrarse en aquel proyecto en el que no tenía demasiada fe aceptó la solución de compromiso de confiar al Seminario de Estudos Cerámicos de Sargadelos la tarea de la recogida de los materiales depositados en el Laboratorio Geológico de Lage (en cuyo traslado colaboró el Departamento de Edafología de la universidad compostelana) para que fueran clasificados y custodiados, y eventualmente utilizados con fines científicos y didácticos por todos los interesados en la geología gallega. Aunque don Isidro estaba más inclinado a dejar que otros asumieran el relevo en el Laboratorio Geológico de Lage en aquella segunda etapa en la que por su edad no tenía ni fuerzas ni tampoco demasiada fe, la insistencia de Isaac Díaz Pardo lo mantuvo al frente del trabajo que se

Se organizó una Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular, a la que fueron invitados todos los geólogos y mineros con relación con el profesor Parga Pondal a lo largo de su vida profesional

avecinaba: reordenar los archivos documentales y bibliográficos del antiguo Laboratorio Geológico de Lage, designando al Seminario de Estudos Cerámicos de Sargadelos como depositario temporal de los materiales, y para asegurar la continuidad de su utilización con fines científicos y didácticos dentro del marco del nuevo Seminario de Estudos Galegos.

Don Isidro Parga Pondal aceptó la ubicación del nuevo Laboratorio Geológico de Lage en Castro, de Sada, cerca de A Coruña, donde pasó sus últimos años de vida (1979-1986), de manera que pudo supervisar la nueva ordenación e instalación de los materiales. El ordenamiento de los materiales fue encargado al geólogo Juan Ramón Vidal Romaní, entonces profesor de Geología en el Colegio Universitario de A Coruña. En el breve espacio de tiempo entre marzo y noviembre de 1979, la antigua biblioteca de Parga Pondal, sus archivos documentales y de correspondencia, sus fondos de rocas de Galicia y su documentación científica personal fueron reorganizados haciendo renacer la ilusión de Parga Pondal por revitalizar el antiguo Laboratorio Geológico de Lage. Para ello se comenzó por contactar con el profesor Marcos Vallaure de la Universidad de Oviedo, antiguo compañero del malogrado hijo de don Isidro José Ramón Parga Peinador, y de ahí surgió poco a poco la idea de organizar, a imitación de las antiguas Reuniones de Geología del Noroeste Peninsular, una nueva reunión que sirviera de punto de partida a esta nueva

etapa del Laboratorio Geológico de Lage. La convocatoria se hizo buscando en los viejos archivos del Laboratorio Geológico de Lage a los antiguos participantes en las tres primeras que aún continuaban trabajando en geología, o al menos a los supervivientes de ellas, y tuvo un gran éxito de participación.

Fue así como se organizó una Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular, a la que fueron invitados todos los geólogos y mineros con relación con el profesor Parga Pondal a lo largo de su vida profesional y también la nueva generación de investigadores que trabajaba en Galicia y en el Hercínico peninsular. Se dio el caso de que algunos de ellos no conocían a don Isidro más que por sus profesores o por los viejos trabajos del Laboratorio Geológico de Lage. Se acordó igualmente la creación de dos publicaciones periódicas: los *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, donde se recogerían los trabajos cortos y el *Corpus Geologicum Gallaecia* (financiado por la Fundación Pedro Barrié de la Maza Conde de Fenosa), a consecuencia de un acuerdo de la Real Academia Galega de Ciencias. Esta serie tenía como objetivos publicar las tesis y tesinas de doctorado antiguas (entre 1954-1965) hechas por la Universidad de Leiden sobre Galicia y el Hercínico peninsular. Asimismo, se acordó realizar una reunión anual para todos los investigadores interesados en la geología gallega y del hercínico. A la reunión asistieron los profesores Enrique Martínez García, A. Marcos y G. Corretgé, de Oviedo, R. Vegas, de Madrid, R. Capdevila, de Montpellier, y tres profesores de la Universidad de Leiden: Emil den Tex, Peter Floor y Jan Dirk Hilgen, viejos colaboradores de don Isidro y que se responsabilizaron de la publicación del *Corpus Geologicum Gallaecia*. Lamentablemente nunca llegó a salir ni un solo volumen de esa serie. El profesor Jan Dirk Hilgen en lugar de limitarse a traducir al inglés, como se había acordado, los textos originales y facilitar documentación gráfica que los ilustrara, pretendió actualizar los contenidos de las tesis realizadas entre 1954-1965, que obviamente habían sido

Tabla 1. Lista con las 16 Reuniones de Geología y Minería del Noroeste Peninsular, realizadas entre 1979 y 1994 en O Castro, Sada, A Coruña

1ª	Reunión de Geología del Noroeste Peninsular. Inauguración de la 2ª etapa del Laboratorio Geológico de Laxe. 23 a 29 de noviembre de 1979.
2ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. 5 y 6 de diciembre de 1980.
3ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. 25 y 26 de noviembre de 1981.
4ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Minerales y rocas industriales. 26 y 27 de noviembre de 1982.
5ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Petrología y estructura de las unidades de Cabo Ortegal, Órdenes y Malpica-Tui. 2 y 3 de diciembre de 1983.
6ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Minería metálica y del Sn en Galicia y en el Macizo Hespérico Peninsular. 22, 23 y 24 de noviembre de 1984.
7ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Granito y pizarra. 21, 22 y 23 de noviembre de 1985.
8ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Arcillas, caolínes y metasedimentos. 20, 21 y 22 de noviembre de 1986.
9ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Rocas filonianas. 19, 20 y 21 de noviembre de 1987.
10ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Paleovolcanismo del Macizo Hespérico Peninsular. 24, 25 y 26 de noviembre de 1988.
11ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Evolución tectono-metamórfica del Macizo Hespérico Peninsular. 20 a 24 de noviembre de 1989.
12ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Evolución tectono-sedimentaria del Macizo Ibérico durante el Paleozoico. 20 a 24 de noviembre de 1990.
13ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Rocas graníticas del hercínico. 19 al 23 de noviembre de 1991.
14ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Zonas de cizalla y mineralizaciones en el hercínico peninsular. 17 al 21 de noviembre de 1992.
15ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. Evolución alpina del Sistema Hercínico Peninsular. 26 y 27 de noviembre de 1993.
16ª	Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular. El Cuaternario en el Macizo Hespérico Peninsular. 23 a 26 de noviembre de 1994.

En 1982, la Universidad de Santiago de Compostela repara en parte la injusticia cometida con Isidro Parga Pondal en 1936, apoyando la concesión del Premio de Investigación de la Universidad de Santiago y la Universidad Menéndez Pelayo (1982), y un año más tarde (1983) se le concede la Medalla Castelao

notoriamente superados por las investigaciones posteriores. Esto fue lo que motivó que no se llegara a enviar ni un solo manuscrito de los comprometidos. Vista la situación se contactó con la Fundación Pedro Barrié de la Maza Conde de Fenosa con el fin de no demorar por más tiempo el comienzo de la publicación del *Corpus Geologicum Gallaecia* y se planteó la

posibilidad de ir publicando las tesis más notables que la nueva generación de geólogos iba realizando sobre geología gallega y del hercínico. En la confianza de que algún día llegarían a publicarse los trabajos de la Escuela de Leiden se pensó en organizar dentro del *Corpus Geologicum Gallaecia* dos series. La Serie I que recogería los trabajos de la Escuela de Leiden y la Serie II que recogería los posteriores. Esta segunda serie del *Corpus Geologicum Gallaecia* tuvo más suerte que la primera, que sólo estuvo activa entre 1982 y 1990, publicándose en ella cinco tesis doctorales. Finalmente, la Fundación Pedro Barrié de la Maza Conde de Fenosa decidió interrumpir el apoyo económico mientras lo que era su principal interés, los trabajos de Leiden, no comenzaran a ser publicados. Ante esta tesitura, detener la publicación sine die de las nuevas tesis sobre geología gallega se planteó por parte del profesor Parga Pondal y de J. R. Vidal Romaní a Isaac Díaz Pardo la posibilidad de que Ediciós do Castro continuara el proyecto iniciado por la Fundación Pedro Barrié de la Maza Conde de Fenosa, a lo que Díaz Pardo accedió. Se inició una nueva colección llamada Serie Nova Terra en alusión a lo que los nuevos investigadores aportaban para el conocimiento geológico de Galicia que desde 1990 hasta el día de hoy ha publicado 37 obras donde se recoge la geología más moderna de Galicia. Por lo que se refiere a las Reuniones de

Geología del Noroeste Peninsular entre los años 1979 y 1994, se realizaron 16 reuniones abarcando todos los temas de interés sobre la geología y la minería gallegas y que siempre contaron con una nutrida asistencia (100 investigadores de media).

En 1982, la Universidad de Santiago de Compostela, regida por el magnífico profesor José María Suárez Núñez, repara en parte la injusticia cometida con Isidro Parga Pondal en 1936, apoyando la concesión del Premio de Investigación de la Universidad de Santiago y la Universidad Menéndez Pelayo (1982), y un año más tarde (1983) se le concede la Medalla Castelao (Xunta de Galicia) y es nombrado doctor *honoris causa* (figura 7) por la Universidad de Santiago de Compostela, comprometiéndose formalmente el rector magnífico a devolverle todas las pertenencias confiscadas en 1936. Su fallecimiento prematuro le impidió cumplir esta última promesa e inexplicablemente sus sucesores en el cargo, los rectores magníficos Carlos Pajares y Ramón Barreiros no lo consiguieron tampoco, por lo que las propiedades de Isidro Parga Pondal continúan aún en el lugar original del expolio: el Museo de Ciencias Naturales Luis Iglesias Iglesias, situado en la Facultad de Químicas. No se trata de bienes de gran valor económico, sino de gran importancia simbólica: una colección de rocas metamórficas y plutónicas de Suiza, compradas por Parga Pondal, y una colección



Figura 7. Don Isidro Parga Pondal leyendo su discurso como doctor honoris causa en Santiago de Compostela (1983).

Desde 1994, el Laboratorio Xeolóxico de Laxe ha quedado integrado nuevamente, después de más de medio siglo de la expulsión de Isidro Parga Pondal de la Universidad de Santiago de Compostela, en la estructura universitaria gallega al constituirse como parte de ella a través del Instituto Universitario de Xeoloxía “Isidro Parga Pondal”

de fósiles cuaternarios gallegos que reclamó inútilmente hasta su muerte. Todas ellas pueden verse en el Museo de Ciencias Naturales Luis Iglesias Iglesias con la inscripción “Donadas por Isidro Parga Pondal”, como un viejo símbolo que perpetúa el expolio de 1936 hasta nuestros días.

Desde 1994, el Laboratorio Xeolóxico de Laxe ha quedado integrado nuevamente, después de más de medio siglo de la expulsión de Isidro Parga Pondal de la Universidad de Santiago de Compostela, en la estructura universitaria gallega al constituirse como parte de ella a través del Instituto Universitario de Xeoloxía “Isidro Parga Pondal”, gracias a la iniciativa de su actual director, el profesor Juan Ramón Vidal Romaní, apoyada por los dos primeros rectores de la Universidad de A Coruña, el magnífico profesor José Antonio Portero Molina, quien firma, en 1994, el primer acuerdo de colaboración entre la Universidad de A Coruña y el Laboratorio Xeolóxico de

Laxe, y el magnífico profesor José Luis Meilán Gil que consigue, en 1997, la transformación de la vieja institución gallega en el Instituto Universitario de Xeoloxía “Isidro Parga Pondal”, normalizándose así la política de publicaciones y la informatización de los archivos documentales del viejo Laboratorio Geológico de Lage. En este proceso fue decisiva la ayuda del Excmo. Dr. Isaac Díaz Pardo, doctor *honoris causa* por las universidades de Santiago de Compostela y A Coruña.

En el momento actual, el Instituto Universitario de Xeoloxía, cuyo núcleo es el Laboratorio Geológico de Lage, funciona como una institución universitaria pujante y viva manteniendo activas sus publicaciones científicas: los *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, con más de 700 trabajos sobre la geología de Galicia y de los terrenos relacionados con ella, y la Serie Nova Terra, que recoge más de 37

tesis de doctorado sobre la geología gallega, estando ambas publicaciones en todas las bibliotecas de geología y apareciendo referenciadas en los bancos de datos bibliográficos más importantes del mundo. Los fondos bibliográficos legados por Isidro Parga Pondal han sido digitalizados, teniendo acceso libre y gratuito a ellos a través de internet todos los estudiosos de la geología gallega. Por otra parte, están las donaciones de antiguos alumnos de don Isidro o admiradores de su obra, entre las que destacan las de los profesores Peter Ypma y Rowland Twidale, de la University of Adelaide (South Australia), que han multiplicado el fondo bibliográfico original con miles de volúmenes y documentación variada que han transformado la biblioteca del Laboratorio Xeolóxico de Laxe en el más importante fondo documental sobre geología existente en Galicia.

Geología y heráldica

Se muestran aquí unos primeros resultados sobre la existencia de diversos elementos geológicos en la heráldica internacional. En España lucen, esculpidos en piedra, escudos que hablan de la historia de las ciudades o de las instituciones y lo mismo se puede decir también de otros países de Europa o América. La heráldica alcanzó en el siglo XIII su más alta profusión, pero permanecen todavía vigentes e incrementan su vigor representativo para municipios y empresas debido a la fácil y rápida identificación de lo que representan. La fácil comunicación mediante internet permite ahora alcanzar cotas de expansión más amplias y con objetivos que muy probablemente traspasan los que inicialmente se propusieron sus creadores, allá en la Antigüedad.

TEXTO I Carlos Martín Escorza, geólogo. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Miembro de INHIGEO

Palabras clave

Geología, heráldica, patrimonio geológico, patrimonio cultural

Desde tiempos pasados, muy pasados, los grupos humanos parece que tienen la necesidad de identificarse como tales frente a otros, procurando de una manera visible, cuando no ostentosa, mostrarse como pertenecientes a uno u otro de los existentes. Ya que por dentro nuestros cuerpos parecen ser todos casi iguales, la búsqueda de señas de identidad y pertenencia a conjuntos ideológicos, nacionales, gremiales, sociales o de posición, tribales o de comuna, familiares, etc., ha formado siempre parte casi inconscientemente del comportamiento humano al menos desde épocas antiguas, cuando no desde el principio mismo. Y se sabe cómo, por ejemplo, en el Imperio romano se utilizaban símbolos distintivos para las variadas agrupaciones militares o legiones. Pero fue durante los tiempos de las Cruzadas, allá en el siglo XII, cuando surgió la necesidad de revestirse de iconografías que pudieran identificar rápida y eficazmente a los caballeros según su familias y país, mientras se desplazaban en su largo viaje hacia Oriente y, sobre todo, durante las batallas en que participaban, pues a eso iban, a luchar. Aunque también hay quienes opinan que ya en el siglo X esos símbolos se utilizaban para distinguir a los participantes en la celebración de justas y torneos (Del Arco, 1999).

Lo que sí está admitido por todos es la repentina expansión que durante la Edad Media tuvo la heráldica, que se extendió por todo el entramado social europeo impregnando a militares, nobles, religiosos,

burgueses, mercaderes, edificaciones, lugares, etc. Esta proliferación iconográfica dio paso a la creación de expertos en la definición y diseño de los escudos pasando casi, con su expansión, a disponer de unas leyes, reglamentaciones y denominaciones propias que han hecho que algunos la consideraran tanto como una "ciencia" como un "arte" (Valero de Bernabé, 1999). Dichos heraldos o expertos en heráldica debieron tener, como ahora hacemos, sus congresos, reuniones de trabajo y puesta a punto, durante los cuales debatían sus problemas y dudas, que debemos suponer interesantes. Como resultado de estos encuentros se publicaron diversos códigos en los que se recogieron todas esas cuestiones y que, por su naturaleza a base de dibujos geométricos y en color, son las delicias de los lectores tanto de entonces como actuales, entre los que, confieso, me encuentro, aunque lo cierto es que sólo llego en mi conocimiento de la cuestión hasta los niveles de "disfrutador" de esos dibujos, seguramente por la dificultad que en definitiva tiene toda este corpus para ser aprendido. En España hemos tenido y tenemos ilustres y eruditas asociaciones que aglutinan a los estudiosos para el desarrollo de esta disciplina, como el Colegio Heráldico de España y de las Indias y la Real Academia Matritense de Heráldica y Genealogía (desde 1988).

Nada de ello nos debe extrañar, pues la impregnación que la simbología tiene en la sociedad es intensa. Puede que en ocasiones pase desapercibida, pero basta

recordar el gran número de pueblos y ciudades que han tenido y ahora tienen escudo para representarlas y que son utilizados por instituciones, asociaciones y empresas para su identificación. Esto sucedió tanto en las regiones de origen antiguo como en las recién creadas, en las que una de sus prioridades es definir sus insignias de identidad, tanto en escudo como en bandera, para cuyos diseños se reclama la colaboración de expertos y que pasan después por la aprobación de los ayuntamientos o comunidades. Símbolos que pasan a ser utilizados en todas las muy variadas maneras en que se desea hacer mención a la localidad o comunidad respectiva (carteles, folletos, impresos, etc.). Y parece ser un hecho que, además de la heráldica civil, también está en auge la afición que de siempre hubo a la heráldica familiar, incrementada por la colocación de los escudos correspondientes a los apellidos de sus dueños en las fachadas de las nuevas casas para satisfacción, además de la de sus propietarios, de artistas y canteros. Y si todavía hay alguien que en su respetado escepticismo ve esta cuestión como cosa lejana, pues nada, basta que eche mano a la propia cartera, o mire encima de su mesa de trabajo, su ropa y allí encontrará una vasta parafernalia de escudos, o como ahora se llaman, *logos* o logotipos, que representan a una infinidad de instituciones y empresas. Y no olvidemos el que lucimos flamante en nuestro coche, el de su propia marca..., sin olvidar, por supuesto, el de las



Figura 1. Muestra de escudos de países y ciudades americanos, además del estado de Georgia, en los que hay incorporados elementos referentes a la presencia de volcanes en su territorio. En algún caso el volcán está dibujado en erupción.

empresas e instituciones relacionadas con la geología, algunos de los cuales están formando parte de nuestros carnés y membretes de cartas, y, de entre ellos, cómo no, el de nuestro propio Ilustre Colegio de Geólogos, por cierto bien diseñado y cada vez mejorado.

Así que lo que me extraña realmente es que, que yo sepa, esta cuestión no haya sido abordada con profusión para el caso de los elementos relacionados con la geología, lo que me llevó a considerar la realización de esta exposición que voy a desarrollar, que no puede ser en modo alguno exhaustiva; todo lo contrario, debe ser tomada como una iniciación hacia estos asuntos donde historia y geología se entrecruzan. Pretendo con ello espolear a mis colegas, es decir, a todos vosotros, para que o bien completéis este catálogo o bien me enviéis las novedades que conozcáis para hacerlo. Como ya he adelantado, no soy conocedor de las leyes, ni siquiera de las nomenclaturas tan específicas que componen el corpus de la ciencia-arte heráldicas. Por ello, espero que no me exijáis que ni siquiera intente aproximarme a ello, pues entonces aflorarían palabras y términos poco

comunes, además de mi incapacidad para aprenderlos. Pero estos defectos e incapacidades personales no deformarán los resultados, pues sobre todo se refieren a mostrar imágenes que casi hablan por sí solas de la intención con que fueron diseñadas y su relación con los elementos geológicos que encierran, así como de las gentes que representan dando lugar a una semiótica interesante y todavía por explorar en profundidad.

Resultados

El origen del escudo de muchas ciudades es antiguo, por lo que puede tener por ello explicación el hecho de que en sus símbolos se recogen, sobre todo, aspectos religiosos o históricos de relevancia. La presencia de elementos acerca de la naturaleza es también muy frecuente, pero en su mayoría son de plantas y animales con una rica variedad que merecería estudiarse. Después de la revisión de muchos de ellos, se tiene la impresión de que sobre temas geológicos hay pocos. Un sencillo análisis, y no sé hasta qué punto representativo, que da forma a esta percepción es la cuantificación del tipo de símbolos que hay en los 651 escudos que se exponen en el tomo de heráldica de la

Enciclopedia de Diderot & D'Alambert (1751-1772) y cuya clasificación y frecuencia indican que de ellos hay 196 con representación de motivos animales, 58 de vegetales, 20 con partes del cuerpo humano, una fuente, un volcán en erupción, dos con montañas y 319 de "varia", principalmente figuras geométricas y objetos e instrumentos de diversa utilidad. Estas cifras enmarcan esa mencionada sensación de escasa presencia de la geología. Un resultado que, me atrevo a decir, viene a poner en evidencia lo que parece ser un hecho que vivimos en la actualidad en la enseñanza y en la comunicación social, por lo que tampoco nos debemos extrañar que aflore en estos otros asuntos incluso de tiempos pasados.

Volcanes

Son los elementos geológicos que más aparecen en las representaciones heráldicas. La influencia que la cultura española ejerció en los países de América hace que muchas de sus comunidades a diferentes niveles, desde naciones a villas y pueblos, tengan escudos y, en algunos de ellos, se evidencian los símbolos por cuyo medio se indican como identificadores de esas sociedades la presencia de erupciones volcánicas en su territorio, como son los casos, entre otros, de las naciones de Honduras y Nicaragua (figura 1).

En España contamos con el mayor y más extraordinario patrimonio cultural de escudos en los que se incluyen volcanes. Son los que corresponden a las instituciones que, a varios niveles, pertenecen a las islas Canarias. La referencia de estos escudos en internet es amplia y conviene resaltar al respecto tanto la labor de las instituciones como las recopilaciones efectuadas por particulares entre las que enseguida hay que destacar la de J. M. Erbeg en su página web. Por medio de todas ellas he recopilado una satisfactoria información y es para mí un honor dar muestra de esas expresiones heráldicas que recogen hechos o cuestiones singulares de cada pueblo, a las que han añadido además en alguno de sus cuarteles el esquema de un volcán, a veces en erupción.

En Tenerife hay nueve ciudades que han incorporado un volcán a su escudo y a ellas hay que sumar la del Cabildo de Tenerife. Esas comunidades son las de El Tanque,

Fasnia, Garachico, Guía de Isora, Güímar, Icod de los Vinos, Los Silos, San Cristóbal de la Laguna y Vilaflor (figura 2).

En el caso de San Cristóbal de la Laguna, la roca allí representada simboliza el mismísimo Teide, que se halla además en erupción, como en el caso del volcán representado en el escudo de la isla de Tenerife. Y en el de Los Silos lo es la montaña de Aregume, en la que están excavados los silos donde se guardaba el grano.

En la isla de La Palma hay cinco escudos pertenecientes a las correspondientes villas en los que está representado en algunos de sus cuarteles un volcán. Corresponden a El Paso, Fuencaliente, Los Llanos de Aridane, Tijarafe y Villa del Mazo (figura 3).

En el escudo de El Paso, lo que se simboliza es el monolito de Idefe, que se encuentra dentro de la Caldera de Taburiente. Y en el de Tijarafe, en el cuartel superior izquierda (el primero en la nomenclatura heráldica), el dibujo representa la cueva Bonita, y en el cuarto inferior derecha, el mirador de Time, desde el que se puede divisar todo el valle de Aridane y la Caldera de Taburiente.

En la figura 4 he agrupado el resultado de cuatro islas: Gran Canaria, Lanzarote, Fuerteventura y La Gomera, pues el número total de casos es de ocho. En Gran Canaria son: Firgas, Moya, Santa Lucía de Tirajana y Tejeda. En Lanzarote: Tinajo y Yaiza. En Fuerteventura, Tuineje, y en La Gomera, Vallehermoso.

En el escudo de Moya (Gran Canaria) en el tercio inferior se representa la montaña de Moya. En el escudo de Vallehermoso (Gomera) la roca que ocupa todo el campo es el Roque Cano (un pitón fonolítico resaltado por la erosión diferencial). Y en el escudo de Yaiza (Lanzarote) el volcán está en erupción.

Son un total de 23 escudos con volcanes de otras tantas villas distribuidas desigualmente en las siete islas; un número que a unos les parecerá suficiente y a otros escaso, y que para ayudar a esa valoración diré que representan el 27,3% del total de las villas que tienen escudo. Como quiera que, como se sabe bien, todas ellas tienen un origen y sustrato volcánico, al menos podremos decir



Figura 2. Escudos pertenecientes todos ellos a la isla de Tenerife, en los que se han incluido elementos que significan el carácter volcánico de la isla; algunos de ellos se muestran en erupción.



Figura 3. La isla de La Palma tiene una alta proporción de villas en las que en sus escudos han incorporado iconografías que señalan el carácter volcánico de su ubicación.



Figura 4. Incluye los escudos de los municipios en los que han dibujado en algún cuartel o en todo el escudo —como los de Tejeda y Vallehermoso—, alusión explícita a la geología volcánica de sus territorios. Aquí se han agrupado los de las islas de Gran Canaria, Lanzarote, Fuerteventura y La Gomera.

que “sólo” ese porcentaje recoge ese hecho geológico. En cualquier caso, todos ellos constituyen un conjunto de escudos de las

islas Canarias que son un patrimonio cultural, histórico y, en algunos, además, geológico, que es un placer hacerlos llegar y no menos



Figura 5. Se presentan agrupados los escudos de los municipios en los que se incluyen en sus muebles referencias a la existencia de amonites en sus territorios. La mayoría son de Alemania.



Figura 6. Escudo heráldico de Dudley (Gran Bretaña). En el centro un trilobites que según Melic y Fernández (1996) correspondería al de un Calymene blumenbachi, del Silúrico.

agradecer de nuevo a el para mi desconocido, pero valiosa fuente de información en este asunto, y que supongo canario a pleno pulmón, que es el autor de la web de la que he extraído la mayor parte de esta selección: J. M. Erbeg.

Fósiles

Debido a la atracción que desde la antigüedad han tenido los fósiles para la población, esperaba encontrar una gran cantidad de escudos en los que se incluirían, pero hay que tener en cuenta que la heráldica de la mayor parte de las ciudades y lugares está definida desde hace tiempo. Por otra parte, no en todos los lugares hay fósiles y, si los hay, han pasado desapercibidos. Así que las posibilidades de encontrar escudos con elementos de paleontología queda más reducida que para el caso de los volcanes. Aun así, hay resultados heráldicos en los que figuran, fundamentalmente, dos tipos de fósiles: amonites y trilobites. De ellos he encontrado amonites en Bronschhofen, Cremlingen, Destedt, Heersum, Mugiendo y Schernfeld, todos municipios alemanes, y en escudo y fetiches del equipo de fútbol de la ciudad de Whitby (Inglaterra) (figura 5).

Hay también trilobites; los he encontrado sólo en los escudos de Jince y Skryje, ambas villas de la República Checa (ver figura 9), y que se refieren los dos a una formación del Cámbrico medio; los dibujos son bastante definidos, creo, así que dejo a los especialistas que tenemos sobre el tema para que nos digan, si ello es posible y así lo desean, su determinación específica. También J. L. Barrera me hace llegar durante la corrección de pruebas el caso del escudo del castillo de Dudley (Gran Bretaña), con un trilobites en la parte central (figura 6).

Minería

Algunas ciudades han insertado en su heráldica el hecho de que en la zona existan o hayan existido explotaciones mineras. La mayor parte de estos escudos que tienen referencias a esta actividad lo hacen por medio de dos martillos cruzados que los colocan en uno de los cuarteles, mientras que en los otros se han insertado algunas otras características locales que se refieren a su historia, a su flora o a su fauna.

La mayoría de ellos están en ciudades de países centroeuropeos, pero también algunos pertenecen a lugares de España, los cuales, en su mayor parte, corresponden a pueblos de León. La lista de los que hasta ahora he podido localizar en España es la siguiente: Becerril de la Sierra (Madrid) debido a sus canteras de granito; Carrocera (León) por su antigua minería; Carucedo (León) tanto por sus canteras de pizarra como las antiguas explotaciones de Las Médulas de las que los romanos extrajeron oro; Encinedo (León) por sus canteras de pizarra; Fabero (León) por las minas de carbón que con tanta fuerza se desarrollaron en el siglo XX y que aún continúan en actividad; La Unión (Murcia) por sus minas de distintos minerales; Matallana de Torío (León) con su minas de carbón y que junto con Ciñera constituyen la famosa cuenca de explotación minera; Mieres (Asturias) por sus minas de carbón; Minas de Río Tinto (Huelva) que se refiere a las explotaciones que se desarrollaron allí sobre todo cuando la extracción de mineral estuvo a cargo de capital inglés y que hoy funcionan como parque cultural de interés general; Páramo del Sil (León) por sus minas de carbón y canteras de pizarras; Peñarroya-Pueblo Nuevo (Córdoba) con explotaciones de carbón ya desde el siglo XVIII y asimismo con una historia minera de gran interés; Poza de la Sal (Burgos) cuyo escudo recoge una peña que representa el diapiro salino que ha servido durante siglos de explotación de sal; Sabero (León) con relación a sus minas de carbón (figura 7).

También en las búsquedas por la heráldica de ciudades de diversos países he hallado frecuentes escudos que tienen entre sus muebles los martillos cruzados que hacen referencia a la existencia en la zona de minas. Sólo expongo diez casos de países europeos como ejemplo de todos ellos. De los resultados extraídos parece que la República Checa es el país con más escudos entre cuyos símbolos están los dos martillos mineros, y que debe de tener su origen en la importante explotación existente allí de carbón (figura 8).

El total de escudos que he registrado con estas referencias es de más de 130, que es la cifra más alta de los temas que son de nuestro interés.



Figura 7. Muestra de los diversos escudos de municipios españoles en los que hay referencias de la explotación pasada o actual de minas. El símbolo utilizado es el de dos martillos cruzados, que es el habitual en el tema minero internacional.



Figura 8. Muestra de la relativamente frecuente existencia de escudos en municipios europeos con explotaciones mineras en sus territorios, principalmente para el caso del carbón.

Varia

¿Dónde acabar este artículo? Porque os aseguro que da para mucho más. Pero es evidente que no debo abusar ni de vuestra

amabilidad y paciencia para conmigo, ni de la de nuestro querido editor que me ha dado la satisfacción de poder compartir con vosotros alguna de mis aficiones en relación con la geología. Para no cerrar bruscamente esta



Figura 9. Muestra de diversos escudos europeos con temáticas geológicas variadas. Desde los de trilobites, impactos de meteoritos, petroglifos, yacimientos de vertebrados, aguas termales, granates hasta sencillas pero importantes fuentes de agua.

selección añadido unas muestras de algunos temas variados que, por no enmarañar los otros, los dejo para el final (figura 9).

Curioso sin duda es el escudo que para el verano de 1998 tomó para sí la villa medieval de Rochechouart, en Limoges, Francia, para conmemorar el hecho de que durante el Triásico superior un gran meteorito cayera allí provocando tal cráter que dicha ciudad y otras del área se encuentran sobre la brecha de impactita que produjo el fenómeno. Los dos escudos de la derecha de la fila superior se refieren a la incorporación de elementos paleolíticos en sus muebles; una es de Garafia, La Palma, Canarias, que con un símbolo en espiral hace referencia a los interesantes petroglifos existentes en la isla; el siguiente es de Mettmach (Austria), y ha introducido el símbolo de una cabeza de elefante que quiere significar el yacimiento de Mastodon pliocenos que se encuentra, entre otros fósiles, en las molasas de la zona. Formando parte también de los elementos geológicos he añadido dos fuentes de aguas termales: los escudos de Caldes de Malavella, Girona, con su escudo de 1986, y el de Baden (Alemania); los dos hacen referencia explícita a la explotación que de esas aguas se hacen en sus bien conocidos balnearios. Le sigue un escudo en el que hay insertados tres granates, correspondiente a la ciudad de Trebivlice, en la República Checa. Y este bloque de "varia" lo cierro con dos sencillas pero siempre bienvenidas fuentes que corresponden a las villas de Fondarella, Lleida, y de A Fonsagrada, Lugo, un evidente hidrotónimo que deriva de la supuesta

acción curativa de las aguas de su *fontem sacratam*.

Reflexiones más que discusión

Las cuestiones sobre temas heráldicos están ahora más ampliamente analizadas que antes, pues, como ya señala Messia de la Cerda (1998), en todo el mundo han hecho, hemos hecho, aparición una cierta nube de aficionados que gracias a las facilidades de documentación a través de internet y también por la aparición de ilustradas y atractivas publicaciones sobre el tema, casi cualquiera sin tradición ni apenas conocimiento sobre ello, como es mi caso, irrumpamos en la casi hermética arte-ciencia, o ciencia-arte, de la heráldica. Y esto está más que justificado casi con más razón para el caso de España, donde es imposible sustraerse del tema al ir caminando por las calles de sus pueblos y ciudades y donde es frecuente tener a la vista objetos de este tipo colocados en numerosas fachadas de edificios particulares, religiosos o institucionales. Incluso a veces me pregunto cómo es que no se me había venido esta afición mucho antes... además, ¡la mayoría de ellos están grabados en rocas!

El muestrario aquí presentado no es total, quizá sea representativo, pero quedan en las carpetas grabados muchos más en los que hay temas geológicos incorporados en sus cuarteles y muebles. Y más aún estarán por ahí, en el terreno, en los libros y en las páginas de internet, esperando a que los

encontremos. Seguramente cada vez habrá más, pues como nos dan ejemplo algunas villas de las islas Canarias, es un orgullo el dar fe al mundo de rasgos del terreno en el que se asientan las comunidades. Y llegado a este punto estaría tentado de ofrecer también el logotipo de, por ejemplo, la región de la Auvernia, Francia, asentada sobre el volcanismo cuaternario que constituye asimismo la espectacular región de los "puys" y que ha unificado su emblema regional con el logotipo esquemático ¡de un volcán!

Las referencias al patrimonio geológico de una región a través de los escudos de sus villas y ciudades es, a mi entender, la mejor y más barata, y por todo ello quizá más eficaz, propaganda y motivación hacia su desarrollo por medio del turismo cultural, ya que utilizando un sencillo diagrama se consigue una identificación, fin último de la heráldica, con una expansión que por los medios de comunicación actuales no es exagerado decir que tiene carácter internacional. Además de que con ello se contribuye a su conservación también se consigue llamar la atención de los habitantes de una zona para el conocimiento y apreciación de su patrimonio cultural e histórico. Todo lo cual sólo puede producir, supongo yo, beneficios de todo tipo.

Bibliografía

- Del Arco, F. (1999). La historia de la heráldica, *Revista Iberoamericana de Heráldica*, 13, II Jornadas Superiores de Heráldica, 17-22.
- Diderot, D. y D'Alambert, J. (2001). *Blasons. Art héraldique, L'Encyclopédie*, Inter-Livres, París, 26 pp. + 33 planchas.
- Melic, A. y Fernández, P. (1996). Las petrificaciones, *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 16, 153-156.
- Messía de la Cerda y Pita, L. F. (1998). *Heráldica española. El diseño heráldico*, Edimat, Madrid, 187 pp.
- Valero de Bernabé y Martín de Eugenio, V. (1999). El diseño heráldico y sus leyes, *Revista Iberoamericana de Heráldica*, 13, III Jornadas Superiores de Heráldica, 29-62.

Darwin estuvo en los cursos de verano de la UIMP

Entre los días 24 y 26 de junio tuvo lugar en el Palacio de La Magdalena (Santander), el encuentro “Darwin y la evolución. 200 años de polémica”, dentro de los cursos de verano de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo. El evento estuvo organizado por el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG) y profesores de la Universidad de Alcalá. En el encuentro —una historia y revisión de las teorías evolucionistas y de los aspectos geológicos de la obra de Darwin— se celebró con motivo del segundo centenario del nacimiento de Charles Darwin (1809-1882) y el sesquicentenario de la publicación de *El origen de las especies*.

TEXTO | Gara Mora y José Luis Barrera, ICOG

FOTOGRAFÍAS | Gara Mora

En septiembre de 2008, el ICOG no había pensado aún en conmemorar el 200 aniversario del nacimiento de Charles Darwin que se celebra este año 2009, y que, aunque está poco difundido, realizó interesantes trabajos y estudios geológicos además de sus conocidas teorías sobre la evolución y el origen del hombre. El asunto estaba en mi mente (José Luis Barrera) pero no me había parado a pensar seriamente en el tema. Tuvo que ser la propuesta de Alberto Gomis, biólogo y profesor de Historia de la Ciencia en la Universidad de Alcalá, la que me hizo reaccionar y comenzar a pensar en algún evento conmemorativo. En septiembre de 2008 me propuso dar unas conferencias en el Colegio y en Alcalá sobre los aspectos biológicos y geológicos de la vida y obra de Darwin. Me pareció estupendo. Sin embargo, después de reflexionar un momento se me ocurrió una idea que, a primera vista, podía ser ambiciosa pero realizable. ¿Por qué no preparar un proyecto sobre Darwin para los cursos de verano de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander? El aniversario bien lo merecía.

Alberto acogió favorablemente mi propuesta aunque, todo hay que decirlo, tenía sus dudas sobre la aprobación de la solicitud. Yo le convencí de que cómo un investigador como él, especializado en Darwin, que acababa de publicar un

excelente libro titulado *Bibliografía crítica ilustrada de las obras de Darwin en España (1857-2005)* dudaba de su capacidad organizativa, prestigio científico y académico y del interés que podía tener la UIMP. Inmediatamente contacté con la universidad y me transmitieron que sí estaban interesados en el tema pero que tuviera en cuenta dos cosas fundamentales y necesarias al presentar la solicitud: el encuentro debía tener ponentes extranjeros (por eso de Universidad Internacional) y había que buscar patrocinadores. La primera condición no parecía difícil pues confiaba en Alberto y sus excelentes contactos con los especialistas extranjeros, pero la segunda, en plena crisis financiera, era una misión heroica.

A mí no me importó la dificultad. Tanto Alberto como yo lo asumimos como un reto y comenzamos a trabajar. Yo me encargué de buscar patrocinadores y Alberto ponentes. En pocos días teníamos preparado el proyecto y lo presentamos a la UIMP; eso sí, después de tantear a varios ponentes extranjeros y recibir la negativa de alguno de ellos porque en esas fechas tenían otros compromisos ya acordados y no podían viajar a España, como es el caso del profesor Tomás Glick de Boston.

Hasta el mes de febrero de 2009 no se nos comunicó que la solicitud había sido aceptada.

Palabras clave

Darwin, evolución, UIMP



Figura 1. Programa del encuentro.

Hay que destacar y agradecer la colaboración de los patrocinadores en un tiempo de crisis financiera como el actual. A la solicitud del ICOG contestaron afirmativamente la Fundación Biodiversidad, la Fundación Enresa, La Caixa, el Banco de Sabadell Atlántico, Renta4 y el IGME.



Figura 2. Palacio de La Magdalena.



Figura 3. Mesa inaugural. De izquierda a derecha: José Luis Barrera, José Pedro Calvo, Salvador Ordóñez, Julia Vera y Alberto Gomis.

Como codirector del encuentro, y con el objetivo de supervisar que todo estaba preparado para el comienzo del día siguiente, llegué a Santander en avión, al mediodía del martes 23 de junio. Me alojé en el Palacio de La Magdalena y, después de comer, me dirigí al despacho del rector, Salvador Ordóñez, para saludarle y comentar aspectos del programa. Me dijo, entre otras cosas, que subiría al día siguiente a la inauguración, y así lo hizo.

A última hora de la tarde me encontré con Alberto y el doctor Pruna, que habían viajado en coche desde Madrid, y con alguno de los ponentes que ya estaban en la ciudad, alojados en el hotel Santamar. Nos fuimos todos a cenar al comedor que tiene la universidad en las Caballerizas y luego entramos en el Paraninfo de la Magdalena a escuchar a la cantautora Inés Fonseca, que presentaba su último trabajo, basado en la obra del poeta Ernesto Cardenal, en la jornada inaugural del ciclo Veladas Poéticas.

Estaba previsto en el programa editado (figura 1) que el lugar de celebración del encuentro fuera el Museo Marítimo del Cantábrico pero, a última hora —no se sabe por qué— se cambió y se celebró en el aula biblioteca del Palacio de La Magdalena (figura 2).

Acto de inauguración

A las 9.30 en punto comenzó el encuentro. La mesa inaugural estuvo constituida por el rector magnífico de la UIMP, Salvador Ordóñez, el director general del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), José Pedro Calvo, la directora de Formación, Comunicación y Sensibilización de la Fundación Biodiversidad, Julia Vera, el vicepresidente del ICOG y codirector del evento, José Luis Barrera, y el profesor de la Universidad de Alcalá y codirector, Alberto Gomis (figura 3).

El rector de la UIMP habló de la historia de esta institución y destacó la apuesta por unirse a los actos de celebración del centenario del nacimiento de Darwin, así como del 150 aniversario de la publicación de *El origen de las especies*, el libro en el que este naturalista británico expuso por primera vez públicamente sus ideas sobre la selección natural y la teoría de la evolución. Destacó también que la UIMP, además de este curso, presenta, entre el 15 de julio y el 15 de septiembre, la exposición *Darwin Now* en el Campus de las Llamas.

El director del IGME, José Pedro Calvo, señaló que Darwin “verdaderamente ha dejado una impronta esencial en el conocimiento del mundo”. “Ha introducido el raciocinio de una forma radical en nuestras conciencias a la hora de explicarnos la naturaleza.” Calificó de “absolutamente legítima” la polémica a la que alude el título en el ámbito científico porque las teorías “deben estar sometidas a contrastes y controversias”. Sin embargo, añadió que “hay que llevar adelante un combate radical contra las polémicas extracientíficas” que puedan surgir en torno a dichas teorías.

A continuación intervino Julia Vera, que se refirió al compromiso de la Fundación Biodiversidad con la investigación y la ciencia



Figura 4. José Luis Barrera durante su intervención inaugural.

como vehículos para avanzar en el conocimiento del patrimonio natural y de la biodiversidad: "Sólo a través del conocimiento conseguiremos articular respuestas a los dilemas que el cambio climático y la biodiversidad introducen en nuestra sociedad". También aludió al "papel fundamental" de Darwin "a la hora de conectar al ser humano con la naturaleza, porque destacó que con ello permitió romper con la idea de divinidad del hombre que se tenía entonces". Además, expresó su esperanza de que "con estos foros se tenga una mejor proyección de las ciencias naturales".

Alberto Gomis Blanco, profesor titular de Historia de la Ciencias Sanitarias y Médico-Sociales de la Universidad de la Alcalá, destacó que el programa del curso recoge las distintas áreas relacionadas con el autor de la teoría de la evolución "para que fuese lo más completo posible y no estuviese dirigido a un solo tema específico". Por su parte, José Luis Barrera (figura 4) aludió al "aspecto geológico" de Darwin, quien durante "toda su vida dijo que era geólogo, no biólogo". Defendió que para sus formulaciones Darwin "se apoyó en sus conocimientos geológicos".

Antecedentes y vida de Darwin

Intervención de Alberto Gomis Blanco

La primera ponencia del miércoles día 24 corrió a cargo de Alberto Gomis Blanco (figura 5), profesor titular de universidad



Figura 5. Alberto Gomis durante su ponencia.

de Historia de la Ciencia y director del Departamento de Ciencias Sanitarias y Médico-Sociales de la Universidad de Alcalá, quien habló sobre los datos esenciales de la vida y obra de Darwin. Gomis mencionó cuatro etapas bien diferenciadas en la vida de Charles Darwin, destacando los cinco años en los que realizó una formidable actividad como naturalista a bordo del HMS Beagle —entre 1831 y 1836—.

Darwin nace en una familia de médicos y fue intención de su padre que siguiera sus pasos y estudiase medicina. Por este motivo, se matriculó en estos estudios en la Universidad de Edimburgo entre 1825 y 1827. Sin embargo, termina abandonándolos ya que le desagrada sobremedida y esto provoca que lo pase mal. Posteriormente, se traslada a Cambridge con la intención de convertirse en clérigo y, aunque no logra su fin, obtiene importantes conocimientos de matemáticas, geología y botánica y es entonces cuando su profesor de botánica, el reverendo J. S. Henslow, le propone el viaje en el HMS Beagle, bajo el mando del capitán Robert FitzRoy. Lo que en un principio era un viaje de circunnavegación de la Armada británica se convierte en una minuciosa recopilación de muestras y especímenes que serán el punto de partida para sus teorías evolutivas. El profesor Gomis incidió en esta conferencia en los aspectos biográficos de Darwin, tanto los más conocidos relacionados con su producción científica, como aquéllos desconocidos para el gran público y que, sin embargo, fueron fundamentales para



Figura 6. Antonio González en un momento de su ponencia.

contribuir a la concepción de sus teorías. Destacó que la obra científica de Charles Darwin es amplísima (se interesa por la geología, la biología evolutiva y la experimental), trascendental para la biología ("Nada tiene sentido en biología, excepto a la luz de la evolución", Theodosius Dobzhansky) y de gran proyección sobre las ciencias sociales y humanas. Comprende 17 obras científicas individuales, capítulos en libros colectivos, artículos científicos en revistas del primer nivel y su autobiografía, publicada por su hijo Francis, después de su muerte.

El origen de las especies y *El origen del hombre* son las obras de Darwin con mayor predicamento, por explicarse en ellas el origen de la especie y del hombre. Un origen, por medio de selección natural, en la lucha por la existencia. Un proceso lento que, en palabras de Darwin, "se basaba en la descendencia con modificaciones". Su principal obra geológica puede considerarse que fue *La estructura y distribución de los arrecifes de coral*.

Intervención de Antonio González Bueno

Antonio González Bueno (figura 6), profesor titular de Historia de la Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y académico de la Real Academia de Doctores de España, explicó en la segunda intervención del día las teorías e hipótesis que se manejaban sobre el origen de las especies antes de Darwin. González Bueno

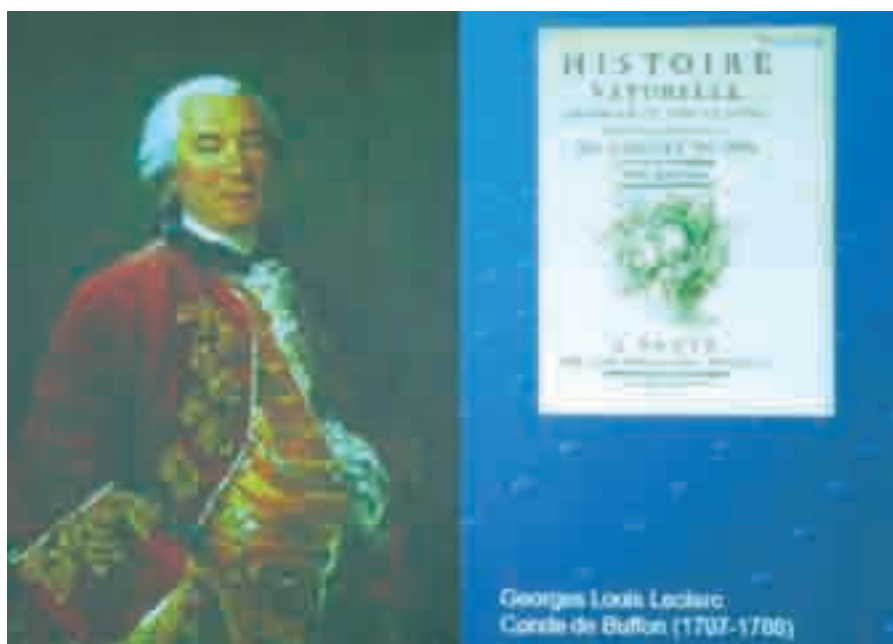


Figura 7. Diapositiva de la intervención de González Bueno.

comentó cómo Carl von Linné (1707-1778) consideró que era posible el desarrollo de nuevas especies de plantas mediante procesos de hibridación, postulado que podría resultar en que todas las plantas de un mismo género procediesen de la misma especie. Pierre Louis de Maupertius propuso también por esa época una teoría que alude a la capacidad de la naturaleza para producir cambios fortuitos y perpetuarlos. El profesor de la UCM explicó asimismo cómo el conde de Buffon (*figura 7*)—a quien se debe el término “degeneración”— supuso un origen común de las especies, siendo el medio natural quien influye sobre los seres vivos; o cómo Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck (1744-1829), expuso que las especies eran sólo provisionalmente estables, con capacidad de cambiar según el medio. González Bueno profundizó en la importancia del desarrollo en Gran Bretaña y en Francia de la anatomía comparada y las propuestas formuladas por Georges Cuvier (1769-1832). Destacó igualmente la influencia de las teorías geológicas de Charles Lyell—quien propuso que la estructura geológica actual se debe a cambios lentos que actúan durante grandes periodos de tiempo— en el trabajo realizado por Darwin al regresar de su viaje en el Beagle, periodo en el que también se interesó por los ensayos de Thomas Malthus (1766-1834) sobre los principios

de la población. Todas estas teorías, según expuso el profesor González Bueno, fueron la base de los estudios de Darwin.

Darwinismo en España y Latinoamérica

Intervención de Susana Esparza

El primer día de sesiones se completó con la ponencia conjunta de la Dra. Rosaura Ruiz, bióloga, profesora de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y presidenta de la Academia Mexicana de la Ciencia, y de Susana Esparza Soria, bióloga y profesora de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La Dra. Rosaura Ruiz no pudo asistir a Santander a causa de un compromiso oficial de último momento.

Esparza (*figura 8*) explicó las distintas interpretaciones que tuvo el darwinismo en México en el siglo XIX y cómo influyeron en el pensamiento social de este país. Las teorías de Darwin permitieron construir retóricas con diferentes fines persuasivos y de control, como por ejemplo sucedió durante el Porfiriato (periodo de 31 años durante el cual gobernó el país el general Porfirio Díaz de forma intermitente desde 1876), cuando el presidente utilizó la obra de Darwin para justificar medidas discriminatorias raciales contra los



Figura 8. Susana Esparza durante su ponencia.

indígenas. Los discursos se escribieron, principalmente, desde la política para infiltrarse en la sociedad con nuevos fundamentos teóricos que dejaron a la religión en evidencia, ante la falta de consistencia en sus argumentos, y dieron estatus a la nueva clase social: la burguesía. La profesora Esparza incidió en la necesidad de cambiar la metodología y reflexionar sobre la emergencia de la ciencia en la sociedad y las diferentes relaciones que se han construido en respuesta no sólo a las necesidades prácticas que enfrenta la humanidad, sino a las que enmarcan el pensamiento en las más diversas formas sociales.

Mesa redonda

Para concluir la jornada se celebró una mesa redonda, moderada por el profesor Gomis (*figura 9*), sobre el darwinismo en España y Latinoamérica, en la que participaron la profesora Esparza Soria, Francisco Pelayo López, investigador del Centro de Ciencias Humanas y Sociales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y Pedro M. Pruna, miembro de la Academia de Ciencias de Cuba y profesor titular en la Facultad de Filosofía e Historia de la Universidad de La Habana. En esta sesión se expuso la influencia del darwinismo en países como México, Cuba, Argentina, Brasil y España.



Figura 9. De izquierda a derecha, Susana Esparza, Alberto Gomis, Pedro Pruna y Francisco Pelayo.

La experiencia de Wallace y Darwin en el mundo tropical fue decisiva para entender los mecanismos evolutivos. Ambos coincidieron en muchas de sus lecturas científicas y filosóficas, una circunstancia que les ofreció un sustrato común en la elaboración teórica

Con motivo de la intervención del público, la atención se desvió hacia el desprestigio que ha sufrido el término darwinismo, cómo en el siglo XIX se confundía darwinismo, transformismo y evolucionismo y la importancia de estudiar el proceso mediante el cual se estabiliza la teoría del origen de las especies de Darwin.

Naturalistas viajeros

Intervención de Miguel Ángel Puig-Samper

El jueves 25 se iniciaron las ponencias con una intervención de Miguel Ángel Puig-Samper Mulero (figura 10), director del Departamento de Publicaciones del CSIC, quien habló sobre la coincidencia teórica —que supuso el principio de la teoría de la evolución por selección natural— de dos sabios naturalistas viajeros, Alfred R. Wallace (1823-1913) y Charles Darwin. La experiencia de ambos en el mundo tropical fue decisiva para entender los mecanismos evolutivos, a pesar de que sus prácticas eran bastante diferentes en algunos aspectos. Asimismo, continuó Puig-Samper, estos dos hombres viajeros coincidieron en muchas de sus lecturas científicas y filosóficas, una circunstancia que les ofreció un sustrato común en la elaboración teórica. Puig-Samper explicó cuáles fueron las obras fundamentales



Figura 10. Miguel Ángel Puig-Samper durante su intervención.

para Darwin, como *A preliminary discourse on the study of natural philosophy*, de J. W. Herschel, o los principios de Lyell, que fueron sus libros de cabecera durante los cinco años (1831-1836) que duró el tan fructífero viaje abordo del Beagle. La obra de Lyell influyó de manera decisiva en el pensamiento de Darwin.

El director del Departamento de Publicaciones del CSIC desmenuzó las distintas paradas que hizo el Beagle en la

costa de Sudamérica (Montevideo, Buenos Aires, Tierra de Fuego, Chile) y las islas Galápagos, incidiendo en cómo Darwin se adentraba en tierra e incluso realizaba excavaciones para obtener fósiles que le recordaron a las especies actuales con modificaciones, lo que le hizo pensar en la posible convergencia de estas especies en un solo animal. En las islas Galápagos, tal y como expuso Puig-Samper en su intervención, Darwin se sorprendió con los pinzones, aves que presentan distintos



Figura 11. Francisco Pelayo durante su ponencia.



Figura 12. Diapositiva de la intervención de Francisco Pelayo.

picos según la función que les atribuían. Al regreso del viaje, el ornitólogo inglés Gould le explicó que pertenecían al mismo grupo, lo que hizo pensar a Darwin en adaptaciones evolutivas, que años después consideró como una posible “especiación”, consecuencia del aislamiento geográfico. El propio Darwin, como expuso Puig-Samper, afirmó que el viaje en el Beagle había cambiado su vida, ya que había supuesto su primera formación intelectual auténtica.

Para poner en contexto la carta que Darwin recibió de Alfred Wallace, que parecía un resumen de lo que él mismo estaba investigando y que supuso que Darwin tuviera que acelerar la publicación de sus teorías, el ponente explicó cómo llegó Wallace a sus conclusiones. Wallace era, al contrario que Darwin —naturalista concienzudo que examinaba cada espécimen minuciosamente para acumular pruebas a favor de su teoría, con una posición económica acomodada como científico victoriano—, un naturalista “cazador” que exploraba, colectaba, disecaba, anotaba, clasificaba, almacenaba y enviaba sus ejemplares a diferentes museos para ganarse la vida.

Críticas, debates y desarrollo posterior

Intervención de Francisco Pelayo

Francisco Pelayo (figura 11), doctor en Biología e investigador del CSIC, expuso en la segunda ponencia del día cómo las implicaciones de la teoría de la descendencia con modificación cuestionaban el relato bíblico de la creación, incluido el “origen del hombre” y la consiguiente reacción en contra de la teoría de Darwin por parte de los representantes de iglesias, sectas y congregaciones cristianas. El marco del debate se centró en un principio en la edad de la Tierra y la creación y fijismo de las especies. En medio de las teorías catastrofistas de Cuvier y la geología actualista de Lyell (figura 12), Darwin comenzó su lenta construcción de la teoría de la evolución, leyendo con avidez textos de William Paley —de los que posteriormente disintió—, quien afirmaba que había señales de diseño en la naturaleza que evidenciaban la existencia de una inteligencia superior.

El doctor Pelayo expuso en su intervención cómo Darwin, en 1844, había escrito un ensayo sobre su teoría de la evolución de 230 páginas, y su círculo lo animaba a

publicar sus ideas. Él quería ir más despacio en la elaboración de su teoría y, sin embargo, con motivo de la recepción de la carta de Wallace en junio de 1858, hubo de presentar su trabajo conjuntamente con él en la Linnean Society de Londres. La presentación de *El origen de las especies* supuso una gran polémica a finales del siglo XIX, en medio de un clima de tensión entre ciencia y religión que dio lugar en EE UU al fundamentalismo cristiano, el creacionismo y los movimientos antievolucionistas.

Pelayo explicó cómo 150 años después, el rechazo a la teoría de la evolución sigue siendo muy intenso entre grupos de poder religiosos, católicos incluidos, y políticos conservadores interesados en mantener una visión del mundo y su origen fundamentada en el creacionismo cristiano. En 2007, una resolución europea consideró necesaria la separación entre ciencia y religión, incidiendo en el peligro que supone considerar el creacionismo como una disciplina científica.

Intervención de Pedro M. Pruna

La ponencia impartida por Pedro M. Pruna, responsable del Área de Investigaciones



Figura 13. Pedro Pruna en un momento de su ponencia.

en el Museo Nacional de Historia de las Ciencias de la Academia de Ciencias de Cuba, profesor titular adjunto en la Facultad de Filosofía e Historia de la Universidad de La Habana y colaborador científico de la División de Historia Institucional de la Smithsonian Institution (Washington D.C.), abarcó algunos de los principales problemas teóricos abordados durante el periodo que va de la formulación de la teoría matemática de la selección natural a la estructuración de la teoría sintética (de mediados de los años veinte hasta finales de los cuarenta del siglo XX). El profesor Pruna (figura 13) destacó que, a veces, en los relatos sobre la historia de la teoría de la evolución que se incluyen en textos de biología, se encuentra una sucesión de acontecimientos que constituyen una visión lineal, un esbozo simplificado de lo que aconteció. A su juicio, son pocos los autores que prestan atención al proceso de estandarización de conceptos previos que cualquier nueva teoría conlleva (figura 14).

Pruna señaló que, durante la llamada “crisis del darwinismo”, muchas de las tendencias que adquirieron fuerza no eran sino derivaciones de corrientes anteriores y que ha existido una determinada inclinación a disminuir la importancia que tuvo, en estas circunstancias, la formulación de la “teoría matemática de la selección natural”. Ella implicó no sólo

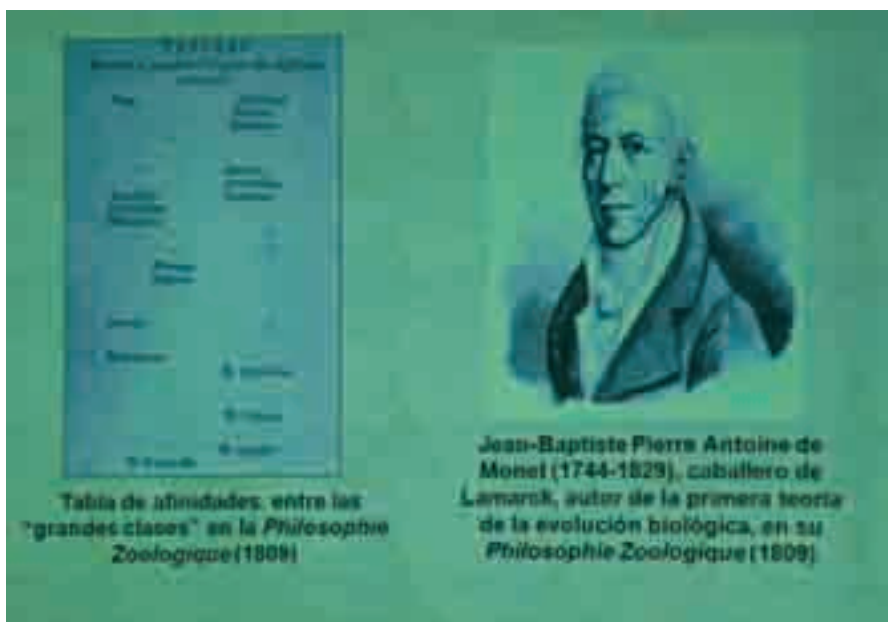


Figura 14. Diapositiva de la intervención de Pedro Pruna.

cierto grado de estandarización de conceptos antes prevalecientes, sino una nueva comprensión de la propia selección natural. Asimismo, afirmó que el Sexto Congreso Internacional de Genética, al cual asistieron los tres fundadores de la teoría matemática (Fisher, Wright y Haldane), tuvo lugar en un momento crucial en el periodo inmediatamente anterior a la formulación de la teoría sintética. Pruna concluyó su intervención apuntando que resulta difícil que la teoría de la evolución deje de ocupar un lugar central en cualquier variación que se produzca en la teoría sintética a partir de ahora.

Intervención de Nicolás Jouve de la Barreda

Como colofón al repaso del desarrollo posterior de la teoría de la evolución, Nicolás Jouve de la Barreda, catedrático de Genética de la Universidad de Alcalá y colaborador de la Cátedra UNESCO de Bioética y Biojurídica, expuso la importancia de la teoría de la evolución en la era de la genómica, desde las unidades de herencia —unidades discretas de información— introducidas por Mendel, hasta el desarrollo del proyecto Genoma Humano, pasando por el descubrimiento del ADN. Jouve (figura 15) abrió su exposición con una frase del genetista ucraniano Theodosius Dobzhansky (1900-1975) que decía que “todo en



Figura 15. Nicolás Jouve durante su ponencia.

biología tiene sentido a la luz de la evolución”. Destacó que el ensayo de *El origen de las especies*, fruto de una larga experiencia de observación y análisis de la naturaleza, exponía la teoría de Darwin sobre las causas de la diversificación y las extraordinarias modificaciones a lo largo del tiempo de los seres vivos. La teoría de la evolución por selección natural es algo que si bien lo explicó Darwin en el siglo XIX, habría de esperar al siglo XX para adquirir la confirmación científica y la consistencia necesaria para su aceptación definitiva. Es de admirar la intuición y el coraje de Darwin, que hubo de defender su descubrimiento en un mundo en cierta medida convencido de la inmutabilidad de las especies. El profesor Jouve afirmó que el



Figura 16. De izquierda a derecha: Nicolás Jouve, José Luis Barrera y Antonio González Bueno.



Figura 17. Margarita Hernández durante su ponencia.

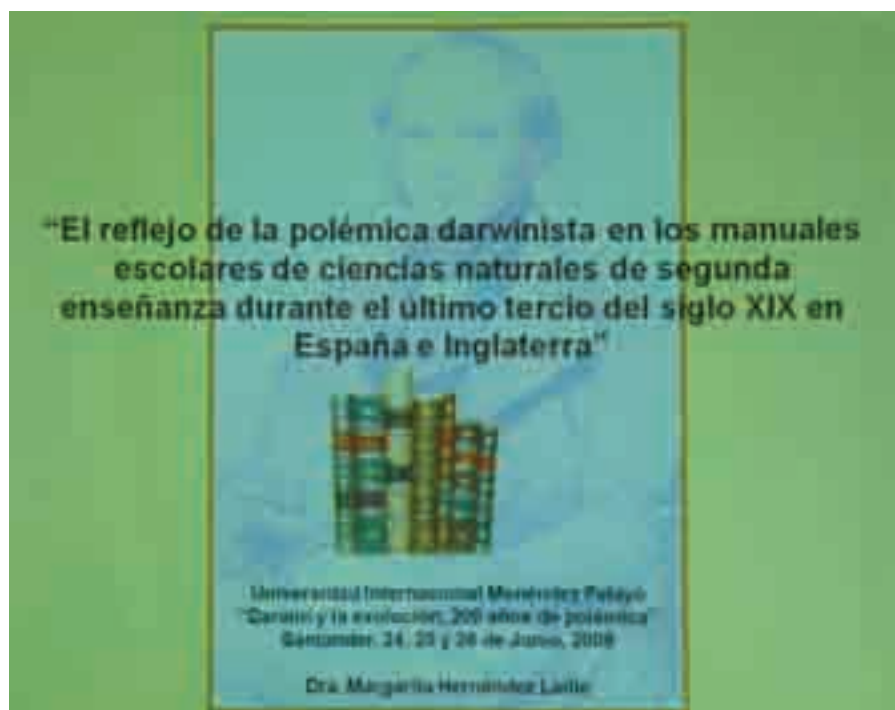


Figura 18. Diapositiva de la intervención de Margarita Hernández.

desarrollo de la biología a lo largo del siglo XX, y en particular la genética y la biología molecular, desembocó en el estudio de los genomas; en el ADN está registrada la historia evolutiva de cada especie y, de este modo, el conocimiento de los genomas ha abierto una perspectiva impresionante al análisis de la evolución. El catedrático señaló que al entrar en la

era de la genómica, las pruebas de la evolución se han trasladado al nivel molecular y, dado que todas las especies proceden de un ancestro común, se puede practicar una auténtica "arqueología molecular". Nicolás Jouve terminó su sesión explicando que el análisis comparado del ADN genómico nos puede deparar grandes sorpresas y, tal y como comenzó, cerró su

intervención citando a un gran científico, Francis Collins, responsable del proyecto Genoma Humano, quien sostiene que "las similitudes de los genes humanos con los de otros mamíferos, gusanos y hasta bacterias, son impresionantes. Si Darwin hubiera tratado de imaginar una forma de probar su teoría no podría haber encontrado nada mejor, salvo una máquina del tiempo".

Mesa redonda

La mesa redonda correspondiente a esta segunda jornada, moderada por José Luis Barrera, estuvo formada por Antonio González Bueno y Nicolás Jouve de la Barrera y versó sobre el ayer y el hoy de la teoría de la evolución (figura 16). Estaba prevista también la asistencia del catedrático de Botánica de la Universidad de Córdoba, Eugenio Domínguez, pero a causa de una enfermedad no pudo viajar a Santander. Se trataron asuntos como el mito y la industria creada alrededor de la figura de Charles Darwin, la confusión entre los términos Darwin, darwinista y darwinismo y los hechos que han demostrado la veracidad de la teoría de la evolución. Asimismo, se planteó un debate acerca de los límites de la genética y el esfuerzo que exige conseguir hacer llegar esta ciencia tan compleja al público general mediante la divulgación o la comunicación.

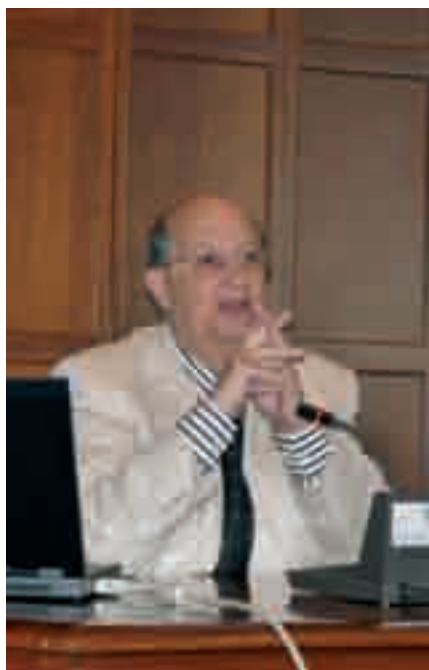


Figura 19. José Luis Barrera durante su ponencia.



Figura 20. Vista de parte de la audiencia.

Los libros de enseñanza y Darwin geólogo

Intervención de Margarita Hernández Laille

La última jornada comenzó con una exposición a cargo de Margarita Hernández Laille, del Departamento de Historia de la Educación y Educación Comparada de la Universidad Nacional de Educación a Distancia. En su presentación (*figuras 17 y 18*) muestra cómo y con qué valores se introdujo la teoría de la evolución de Darwin en los manuales escolares de ciencias naturales de segunda enseñanza en España e Inglaterra, teniendo en cuenta las resistencias políticas, sociales y religiosas que se opusieron a la introducción del darwinismo en ambos países y la situación del marco educativo español e inglés respecto de la enseñanza de la ciencia en el último tercio del siglo XIX.

La profesora explicó la presencia u omisión de las teorías de Darwin en los textos, diferenciando, entre los manuales creacionistas, aquellos en los que se presentaba un rechazo abierto de aquellos en los que se omitían sus teorías, además de especificar que en algunos textos se mencionaban las teorías de Darwin sin hacer alusión a él, mientras que en otros libros de texto, tanto en España como en Inglaterra,

se incluían las citas del propio Darwin. En los textos que hacían alusión a las teorías de Darwin se encontraban aquellos que se manifestaban a favor y otros en los que se presentaban las distintas teorías como posibles (concordistas).

Intervención de José Luis Barrera

Las ponencias se cerraron con la intervención de José Luis Barrera (*figura 19*) para destacar la importancia de la geología en el pensamiento de Darwin, explicando cómo éste aplicó conceptos derivados del pensamiento evolucionista de la geología, como el “tiempo geológico profundo” del geólogo escocés Hutton y el uniformismo (gradualismo) de Hutton y Lyell, a su teoría sobre el origen de las especies. En el siglo XVIII el debate geológico presente en la comunidad científica era el diluvio bíblico frente a los datos científicos, que presentaban tres hipótesis: la teoría neptunista de Werner, que propugnaba que todos los materiales terrestres se habían formado en el mar; la teoría plutonista del geólogo escocés Hutton, que defendía que el fuego interior de la Tierra era otro agente causante de algunas rocas. Por último, y como causa principal de la dinámica terrestre, estaba la teoría catastrofista de Cuvier, que afirmaba que la Tierra modificaba su estructura por impulsos catastróficos.

En este contexto histórico, Barrera continuó afirmando que James Hutton, al observar la discordancia en el promontorio marino de Siccar Point, al sur de Edimburgo, dedujo que el lapso de tiempo para explicar la formación de aquella estructura geológica había tenido que ser enorme (el llamado *DeepTime*), desarrollando su teoría del uniformismo y actualismo (los procesos que actúan hoy son los que han actuado siempre y han formado lo que vemos). Además, en 1796, William Smith propuso su principio de sucesión geológica, mediante el que exponía que cada período de la historia de la Tierra tiene su particular registro fósil, lo que supuso el comienzo de la paleontología estratigráfica. Aparte de estos conceptos, las lecturas de las obras de Humboldt tuvieron decisiva influencia en la formación del espíritu de Darwin y le inspiraron un vivísimo deseo de visitar lejanos países y convertirse en naturalista. El sueño de Darwin era convertirse en un nuevo Humboldt y contribuir a la geología. Barrera explicó cómo la influencia del geólogo Charles Lyell fue decisiva para que Darwin se interesase por la geología. Darwin extendió los conceptos *lyellanos* locales de levantamiento (elevación) y hundimiento (subsistencia) de la corteza terrestre a todo el planeta. Así explicó el ascenso de la Patagonia, de los Andes y,



Figura 21. De izquierda a derecha: José Luis Barrera, Luis Suárez, José Blázquez, Juan Riera y Alberto Gomis.



Figura 22. Entrega de los diplomas a los alumnos asistentes.

como compensación, la subsistencia del Pacífico, que fue la base de su teoría sobre el origen y evolución de los arrecifes coralinos. Su excesiva generalización de la teoría del levantamiento le llevó a equivocarse en la cuestión de las marcas glaciares en el norte de Escocia, lo que le produjo una gran inseguridad y retrasó, según algunos autores, la publicación de *El origen de las especies*.

Barrera detalló cómo en su autobiografía Darwin reconoce que en el viaje del Beagle

la investigación de la geología fue mucho más importante que las demás observaciones, pues es en ella donde se pone en juego el razonamiento. A la vuelta de este viaje hace su debut científico, en 1838, con un trabajo de geología. En unos de sus cuadernos de notas expresa: "Yo, un geólogo, poseo una noción mal definida de la tierra cubierta por océanos, de animales primitivos, de las lentas fuerzas que fraccionan la superficie, etc." Barrera insistió en que, en la mayor parte de los

trabajos de geología que Darwin publicó en las revistas de la Geological Society de Londres, siempre se identificó como miembro de ella, a la vez que en su correspondencia oficial como secretario se autocalificaba como geólogo. El vicepresidente del ICOG finalizó su ponencia manifestando que existe un hilo continuo en el pensamiento de Darwin, que se inicia con la observación de fenómenos puramente geológicos, sigue con la interpretación de los hallazgos paleontológicos, principalmente los sudamericanos, continúa con la biogeografía —tanto la actual como la del pasado—, para desembocar, finalmente, en conceptos claramente evolutivos.

Acto de clausura

En la ceremonia de clausura, y ante parte de la audiencia (figura 20), estuvieron presentes el presidente del ICOG, Luis Suárez, el vicepresidente del ICOG y codirector del curso, José Luis Barrera, el secretario general de la UIMP, José Blázquez, el presidente de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, Juan Bautista Riera, y el profesor titular de Historia de la Ciencia de la Universidad de Alcalá de Henares y codirector del curso, Alberto Gomis (figura 21).

El presidente del ICOG destacó el esfuerzo de los directores del curso para comunicar brillantemente el saber biológico y geológico de Charles Darwin y así contribuir al esfuerzo que se está llevando a cabo desde el ICOG para divulgar la ciencia y, en particular, la geología.

Juan Bautista Riera expuso cómo el paradigma científico, desde la muerte de Darwin, ha ido ensanchando y enriqueciendo el conocimiento de las ciencias biológicas. Mencionó que la teoría tuvo un impacto revolucionario mucho mayor que el que pudo tener en su día Galileo Galilei, dejando una huella profunda y duradera en muchos campos de la naturaleza y, por tanto, confirmando que el interés pedagógico de una reflexión histórica como la planteada con este encuentro está fuera de cualquier duda.

Terminados los discursos, se procedió a la lectura de las conclusiones y a la entrega de diplomas (figura 22).

Se celebra en Puertollano la jornada sobre captura y almacenamiento de CO₂ organizada por el ICOG

El pasado 29 de mayo tuvo lugar en Puertollano (Ciudad Real), la jornada científica “Tecnologías de captura y almacenamiento geológico de CO₂. Frente al cambio climático”, organizada por el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG), en colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y las empresas Elcogas, Encasur, Endesa, E.ON España y Geoprin.

TEXTO Y FOTOS | Gara Mora, ICOG, comunicacion@icog.es

Palabras clave

Almacenamiento geológico, CO₂, cambio climático, Puertollano

Puertollano es una ciudad con enormes implicaciones energéticas donde se están llevando a cabo nuevos proyectos para desarrollar energías limpias de futuro. En la jornada se ha pretendido explicar a la población los nuevos proyectos y las ventajas de cara al desarrollo sostenible que pueden tener en un futuro inmediato las tecnologías de captura y almacenamiento geológico de CO₂ en las centrales termoeléctricas (figura 1).

Presentación

El acto fue presentado por el presidente del ICOG, Luis Suárez, el director general del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), José Pedro Calvo, la consejera de Industria, Energía y Medio Ambiente del Gobierno de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha, Paula Fernández, y el concejal delegado de Medio Ambiente, Sostenibilidad y Recogida Selectiva de Residuos, Manuel Martín Grande (figura 2).

El presidente del ICOG hizo hincapié en su presentación en los esfuerzos realizados por el Colegio en estos últimos años en el campo de la captura y almacenamiento de CO₂, impulsando y organizando jornadas sobre este tema tan importante. Suárez insistió en la firme creencia del ICOG de que estas tecnologías permiten



Figura 1. Programa de la jornada.

luchar contra el cambio climático y serán utilizadas tanto en centrales térmicas de emisión cero como en el resto de sectores afectados por las emisiones de CO₂, como son la siderurgia, las refinerías de petróleo, las cementeras, etc.



Figura 2. Mesa de la inauguración. De izquierda a derecha: el concejal delegado de Medio Ambiente, Sostenibilidad y Recogida Selectiva de Residuos del Gobierno del Ayuntamiento de Puertollano, Manuel Martín Grande Anguita; el presidente del ICOG, Luis Suárez Ordóñez; la consejera de Industria, Energía y Medio Ambiente de la JCCLM, Paula Fernández Pareja; el director general del IGME, José Pedro Calvo Sorando, y el vocal de Recursos Minerales del ICOG y organizador de la jornada, Rafael Varea Nieto.

El presidente del ICOG mencionó también durante su intervención cómo el desarrollo de estas tecnologías es fundamental para cumplir los objetivos marcados por la Unión Europea para 2020 —que dispongamos de un 20% de energías renovables con un 20% de reducción de gases de efecto invernadero—, así como para concienciar a la sociedad de la seguridad y fiabilidad de estos métodos.

Tras la inauguración de las jornadas comenzaron las ponencias científicas, en las que intervinieron expertos de diferentes instituciones y empresas implicadas en estas tecnologías

José Pedro Calvo, director general del IGME, habló de las implicaciones de distintas instituciones oficiales (Ministerios de Ciencia e Innovación, Medio Ambiente y Medio Rural y Marino e Industria) mediante la creación de programas de ayuda y proyectos. Esta implicación provoca que los Organismos Públicos de Investigación (OPIS) —como el propio IGME— y universidades respondan ante la oportunidad del desarrollo de estas tecnologías como medio de conocimiento e investigación. De acuerdo con esto, el IGME está desarrollando un *Plan de Selección de Estructuras para el Almacenamiento Geológico de CO₂* con el que pretende elaborar un atlas de estructuras favorables para presentar ante las instituciones y la sociedad en general.

La consejera de Industria, Energía y Medio Ambiente del Gobierno de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Paula Fernández, destacó la importancia de seguir investigando en la aplicación de esta tecnología, para hacer más efectiva la lucha mundial por el desarrollo sostenible y contra el cambio climático. A este respecto explicó que para lograrlo es imprescindible hacer coincidir el nuevo modelo energético con la innovación tecnológica y expresó que, a través de este encuentro, profesionales técnicos y científicos del sector pueden hacer entender a la ciudadanía que mediante esta tecnología se puede gestionar de forma limpia y segura el dióxido de carbono.



Figura 3. Miguel Colomo durante su intervención.



Figura 4. Juan Carlos Ballesteros en un momento de su intervención.

Tras la inauguración de las jornadas comenzaron las ponencias científicas, en las que intervinieron expertos de diferentes instituciones y empresas implicadas en estas tecnologías.

Primera parte: el futuro del carbón en Puertollano

La primera parte del desarrollo científico del evento versó sobre el futuro del carbón

en Puertollano. Miguel Colomo (*figura 3*), director de Minería de ENDESA Generación (Encasur), explicó la evolución de Puertollano como cuenca minera, desde el descubrimiento del carbón en su territorio, en 1873, hasta la actualidad, así como la visión para el futuro y la conveniencia de mantener el carbón como fuente de energía, procurando que la producción de energía eléctrica mediante este recurso se realice de forma sostenible.



Figura 5. José Luis Gacía Lobón durante su intervención.

En cuanto al almacenamiento, J. C. Ballesteros expuso la necesidad de localizar, caracterizar y confirmar las formaciones geológicas adecuadas, mediante unos criterios de selección tanto científico-técnicos como socioeconómicos

La segunda conferencia de esta parte corrió a cargo de Joaquín Fernández, de E.ON Generación, quien expuso los retos del nuevo escenario energético para la central térmica de Puertollano.

Segunda parte: métodos de captura de CO₂

El subdirector de I+D de Endesa Generación, Juan Carlos Ballesteros (figura 4), abrió la segunda parte de las jornadas, dedicada a los métodos de captura de CO₂, mencionando la participación clave del carbón como fuente primaria en la generación de energía eléctrica en el futuro y la necesidad, por tanto, de desarrollar una tecnología que permita reducir la cantidad de CO₂ emitida a la atmósfera. Ballesteros explicó las distintas etapas del ciclo: captura, transporte y almacenamiento geológico. La dificultad de la captura estriba principalmente en ser capaces de separar y concentrar el CO₂ para conseguir unas condiciones físicas idóneas para su transporte. En esta segunda etapa —el transporte— el método que se perfila con menor coste es el continuo, a través de tuberías, seguido por el transporte marítimo. En el mundo existen ya aproximadamente 3.300 km de tuberías destinadas a este uso, siendo Estados Unidos el país que

más utiliza este medio. En cuanto al almacenamiento, el ponente expuso la necesidad de localizar, caracterizar y confirmar las formaciones geológicas adecuadas, mediante unos criterios de selección tanto científico-técnicos como socioeconómicos. Ballesteros finalizó su intervención incidiendo sobre la importancia de conseguir que los tres eslabones de la cadena —captura, transporte y almacenamiento— funcionen eficientemente de forma concatenada.

Posteriormente, Pedro Casero, jefe de proyecto de la planta GICC-Elcogas de Puertollano explicó los métodos y técnicas empleados en esta planta para la producción de H₂ con captura de CO₂, a partir de carbón, y sus beneficios frente a las otras técnicas existentes para la su obtención.

Tercera parte: almacenamiento geológico de CO₂

En la tercera y última parte de las ponencias científicas, el tema fue el almacenamiento geológico de CO₂. Comenzó la sesión José Luis García Lobón (figura 5), jefe del Área de Investigación Geológica del Subsuelo y Almacenamiento Geológico del IGME, quien explicó los avances y objetivos del *Plan de Selección de Estructuras para el*

Almacenamiento Geológico de CO₂ desarrollado por este OPI, profundizando en las características físicas de las estructuras buscadas —extensión, espesor, inyectividad, existencia de un sello (roca en la parte superior de la estructura que impida el escape del fluido una vez inyectado), profundidad, porosidad y permeabilidad—, concluyendo que los lugares propicios son aquéllos donde existan rocas sedimentarias porosas y permeables, condición que cumplen grandes zonas de la mitad este de la península Ibérica.

Para cerrar este tercer bloque de intervenciones, Rafael Varea (figura 6), director de la jornada, eurogeólogo, vocal de recursos minerales del ICOG y recientemente elegido representante de este Colegio en el Consejo Rector de la Plataforma Española de CO₂, intervino para destacar algunas formaciones sedimentarias de interés para el almacenamiento geológico de CO₂ y sus características. Varea habló de las condiciones ideales en las que se encuentran estas formaciones —800 metros de profundidad, con presencia de un acuífero salino, porosidad alta, etc.—. Los tipos de almacenes que se barajan son almacenes agotados de gas y petróleo, formaciones que constituyen acuíferos salinos profundos y la



Figura 6. Rafael Varea Nieto durante su intervención.

Joaquín Hermoso agradeció al ICOG su empeño y dedicación para conseguir celebrar este evento en Puertollano, dada la importancia para esta ciudad minera de divulgar el desarrollo de estas nuevas tecnologías



Figura 7. Acto de la clausura. De izquierda a derecha: el vocal de Recursos Minerales del ICOG, Rafael Varea Nieto; el alcalde de Puertollano, Joaquín Hermoso Murillo; el jefe del Área de Investigación Geológica del Subsuelo y Almacenamiento del IGME, José Luis García Lobón, y el director de Minería de ENDESA Generación (ENCASUR), Miguel Colomo Gómez.

y que no existan riesgos de procesos geológicos que lo modifiquen, como podría ser el vulcanismo o la sismicidad. Al contrario que el gas natural, Varea indicó que el CO₂, en caso de producirse una fuga, no resultaría tóxico ni existiría riesgo de explosión. Sin embargo, de ocurrir un escape el CO₂, tras cientos de años, se filtraría a la atmósfera y se habría fracasado en el intento de combatir eficazmente el cambio climático. Concluyó que la geología proporcionará soluciones mediante la exploración del subsuelo y la búsqueda de almacenes subterráneos profundos y seguros, para evitar las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Mesa redonda y clausura

La jornada científica se cerró con una mesa redonda donde hubo un turno de preguntas, para pasar posteriormente a la clausura (figura 7) con la presencia del alcalde de Puertollano, Joaquín Hermoso, quien agradeció al ICOG su empeño y dedicación para conseguir celebrar este evento en Puertollano, dada la importancia para esta ciudad minera de divulgar el desarrollo de estas nuevas tecnologías. El alcalde incidió en que Puertollano es una ciudad minera, lo ha sido y pretende seguir siéndolo.

utilización del CO₂ en la mejora de la recuperación de gas y petróleo o de gas metano a partir de capas de carbón. En este contexto, explicó los distintos tipos de medios sedimentarios con posibles sistemas de depósito favorables —fluviales, deltas lacustres, costas y plataformas carbonatadas—, así como la metodología y herramientas para su

análisis. El ponente insistió en las formas de retención del CO₂ una vez inyectado, como parte imprescindible del proceso —retención física, geoquímica o estructural—, que requiere que el posible almacén cumpla unas determinadas características, tales como que carezca de estructuras que favorezcan fugas o pozos que impidan la estanqueidad

XXV aniversario de la promoción 1979-1984 de la Universidad de Barcelona

Veinticinco años como veinticinco minutos

Texto | Ester Boixereu i Vila, e.boixereu@igme.es

En 1984 terminé Geológicas en la Universidad de Barcelona y salí de la facultad en la que había permanecido los cinco años más fundamentales de mi vida. El pasado sábado 25 de abril, convocados por los compañeros que continúan en la facultad, convertidos ahora en profesores, nos reunimos en un hotel de Barcelona para celebrar los 25 años de finalización de la carrera. Aunque veo con relativa frecuencia a un buen grupo de ellos, con los que mantengo una sólida amistad, y que ya nos habíamos encontrado en dos ocasiones anteriores (a los diez y a los veinte años), hay que reconocer que da un poco de reparo reencontrarte con cuarenta y muchos años cumplidos a quienes dejaste de ver con *veintipocos*.

Pero resultó ser muy divertido. Fuimos llegando poco a poco, nos reunimos tomando un aperitivo en un espacioso salón, para romper un hielo inexistente. Los canapés eran deliciosos y de un depurado diseño, ¿estamos en Barcelona! Alguien trajo una cerveza casera, que todos elogiaron, pero que no conseguí catar. Acudieron casi todos (*figura 1*), aunque algunos, muy pocos, y a su pesar, no pudieron venir. Por supuesto, Joan Montserrat y Anna Bachs, que aunque han fallecido, siguen estando presentes en nuestro recuerdo. Incluso vino Nuria Marcos, que llegó al final de la fiesta desde Helsinki, donde reside y a la que no habíamos vuelto a ver desde aquellos tiempos (*figura 2*). En apariencia nuestras vidas han cambiado, nos hemos establecido y la mayoría ejercemos la geología como profesión. Incluso un compañero, que tras leer la tesis, había abandonado la geología para dedicarse a una tarea totalmente ajena pero más



Figura 1. Asistentes a la celebración. En primera fila, de izquierda a derecha: Xavier Serra, Dolors Vallés, Joaquín Mormeneo, Joan Figueres, Joan Escuer (actual presidente del Col.legi de Geòlegs de Catalunya), Francesc Domingo, Rosa Urilla, Carles Balasch y Teresa Calvet. De pie, en primera fila y de izquierda a derecha: Lluís Domènech, Xavier Castella, Joan Grau, Jordi Pifarré, Joan Cantarell, Jordi Cirés, Ester Boixereu, Àngels Canals, Imma Llord, Concep Bertrons, Eloïsa Anglada, Francisco Garrido. Detrás: Carles Roca, Juanjo Redondo, Joan August van Eeckout, Maite García-Vallès, Ramón Suau, Marta Sanmartí, Carles Martín, Antonio Teixell, Lluís Torrentó, Jaume Bordonau y Marcel Barberà (Eduard Roca Xavier Castelltort y Josep M^a Huguet aunque asistieron a la celebración no salen en la fotografía). Fotografía de Eloïsa Anglada.

rentable, nos comunicó su intención de volver a ejercer como geólogo. ¡Ánimo!

La organización del evento fue impecable, la elección del hotel Alimara, muy acertada, y desde aquí doy las gracias a Maite García-Vallés y a Àngels Canals, que se encargaron de todo. La nota simpática la dio Carles Balasch, quien nos sorprendió a todos al obsequiarnos con una caricatura alegórica, realizada por su hermano, Jordi Joan Balasch, popular humorista gráfico ilerdense (*figura 3*). Después de la comida, Carles Martín proyectó su colección de diapositivas de las salidas de campo.



Figura 2. Llegada de Nuria Marcos, procedente de Helsinki, donde reside, acompañada de Verónica de Monteys, que fue compañera nuestra durante los primeros cursos. Fotografía de Àngels Canals.

Nosotros tuvimos mucho, pero que mucho campo durante la carrera. De ahí que nos conociéramos tanto... Fueron cinco años de gran convivencia. Nuestro plan de estudios estaba muy enfocado al trabajo de campo. A partir de los primeros días ya teníamos salidas de Geología General la mayoría de los fines de semana (figura 4). Recuerdo con afecto a los primeros profesores de prácticas que tuvimos: Pedro Enrique, Laura Rossell, Juan José Pueyo y Lluís Cabrera, recién salidos del horno, que con toda la energía que les proporcionaba su juventud nos enseñaron a utilizar nuestro primer "Bellota", que habría de durar toda la carrera, y a medir con una brújula "Silva", que todavía conservo, a pesar de la gran burbuja que tiene. Las excursiones debían ser algo duras, quizá la oscura intención de quienes las organizaban era la de realizar pruebas iniciáticas, porque se convirtieron en una criba y muchos de los que



Figura 3. Caricatura alegórica realizada para la ocasión por el humorista gráfico Jordi Joan Balasch.

Estoy segura de que el campamento que más nos ha marcado es el de Bronchales, dirigido por el Dr. Oriol Riba Arderiu, más que por sus contenidos didácticos, que los tuvo, por las experiencias que vivimos

inicialmente se habían matriculado no volvieron a aparecer nunca más. Según comentan los que ahora son profesores, las cosas han cambiado mucho, y el plan actualmente vigente no tiene nada que ver con el nuestro. Teníamos campamentos en prácticamente todas las asignaturas, trabajos de campo individuales y viajes de estudios. De todos ellos, estoy segura de que el campamento que más nos ha marcado es el de Bronchales, en tercero de carrera, dirigido por el Dr. Oriol Riba Arderiu, más que por sus contenidos didácticos, que los tuvo, por las experiencias que vivimos. Lo más sorprendente de esa excursión es que las anécdotas que recordamos cada uno no coinciden, es un misterio. Me gustaría que algún día lográramos recopilar todas

las historias individuales para intentar esclarecer lo que allí sucedió, incluso deberíamos preguntar a los que fueron nuestros profesores. De todas formas, esos años fueron más que un conjunto de salidas de campo, fueron largas conversaciones con compañeros de otros cursos en el patio de ciencias o en el bar, clases en aulas desportilladas del siglo XIX y en los dispersos departamentos, carnavales, fiestas desmadradas como la *Geofarra*, ratos de estudio en la sala de alumnos y, a partir de cuarto, en la biblioteca.

Quisiera recordar a todos los profesores que nos dieron clase, pobrecitos. Con la perspectiva que dan los años transcurridos, he de reconocer que la mayoría de ellos fueron excelentes, que se preparaban los cursos con dedicación y se esforzaban por transmitirnos sus conocimientos, un verdadero lujo. Algunos de los profesores empezaron su andadura profesional con nosotros; otros eran profesores ya consagrados, catedráticos procedentes de otras universidades (Granada, Oviedo, Zaragoza...) que habían retornado a sus orígenes, y el resto de profesores estaban en plena efervescencia, unos realizando y otros dirigiendo ya tesis doctorales, publicando en revistas nacionales e internacionales, formando parte de equipos de investigación, asumiendo cargos de responsabilidad en departamentos o en la facultad.

Y ahora esos alumnos ya hemos crecido, aunque de todas maneras unos kilos de más en un cuerpo antes flaco, unas entradas allá donde había una rizada melena, unas canas que sustituyen un frondoso pelo negro o ese aire de adulto no consiguen disfrazar al estudiante de geológicas adolescente que volvimos a ser al cabo de un momento. En la celebración creo que nos daba igual lo que hubiera sido de nuestras vidas, lo importante era reencontrarnos todos, como si no hubiera pasado el tiempo. Las conversaciones no giraron acerca de temas familiares ni profesionales, sino que fueron continuación de las que teníamos entonces. El milagro se obró y la escala del tiempo fue geológica, como si estos veinticinco años hubieran sido tan sólo veinticinco minutos.



Figura 4. Campamento de Geología de España en mayo de 1984. De pie, y de izquierda a derecha: Chechu Calvo, el conductor, Dolors Vallés, Carles Balasch, Jordi Cirés, Francesc Domingo, Carles Roca, Josep M^a Parés, Isabel Llop, Joan Montserrat, Joan Escuer, Josep M^a Escrivà, Eduard Roca, Josep M^a Fontboté (profesor), Eloísa Anglada, Xue-xin Song (investigador de la Academia China de Ciencias Geológicas, invitado a la excursión), Jordi Pifarré, Antonio Teixell y Jaume Bordonau. En primera fila, agachados: Carles Martín, Xavi Castella, Xavier Castelltort, Rosa Utrilla, Ester Boixereu, Imma Llor, Àngels Canals, Francisco Garrido, Maite García-Vallés y Xavier Paniello.

Divulgación geológica en la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona

Texto | Miquel Àngel Cuevas. Decano de la Facultad de Geología. Universidad de Barcelona

La Geología toma cada vez mayor importancia en la comprensión y gestión del medio ambiente y en la planificación y construcción de las obras civiles. Las grandes infraestructuras como el metro, el tren de alta velocidad y otras grandes actuaciones, nos muestran día a día la necesidad de un buen conocimiento del terreno, tanto en la superficie como en el subsuelo. Los estudios geológicos se han traducido en un amplio abanico de posibilidades profesionales y en normativas específicas de las Administraciones. Ante estos hechos, la divulgación y la aproximación al gran público de los temas geológicos se hace más necesaria, si cabe.

La Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona trabaja en esta línea en proyectos como la preservación de lugares de interés geológico y en la edición de guías de la ciudad y su entorno, en colaboración con otras instituciones. En la página web de la Facultad puede accederse a la filmación: "Una mirada de futuro. Facultad de Geología" en versión catalana, castellana e inglesa, realizada por el Servicio de Audiovisuales de la Universidad de Barcelona, que pretende divulgar las actividades de la Facultad y atraer estudiantes motivados por la Geología.

El 'Jardín Geológico'

Aprovechando la remodelación urbanística del Campus Portal del Conocimiento Diagonal Sur, la Facultad lidera un nuevo proyecto que llamamos *Jardín Geológico*. El proyecto consiste en un museo geológico al aire libre situado en el entorno de la Facultad, que pretende ser un elemento de identificación de la actividad que se realiza en el centro, una herramienta pedagógica



Panorámica del Jardín Geológico.

al servicio de escuelas y un paseo cultural para los vecinos de la ciudad. La iniciativa ha recibido el apoyo de la Universidad y la aprobación por parte del Ayuntamiento. En el proyecto, elaborado por un equipo de la Facultad, liderado por el profesor Pere Busquets, colaboran otras instituciones relacionadas con la Geología: Instituto "Jaime Almera" del CSIC, Instituto Geológico de Cataluña, Instituto Geológico y Minero (IGME), Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona y Instituto de Estudios Catalanes. El proyecto incluye tres ejes de actuación:

- Un eje geográfico: el jardín de rocas de la Península.
- Un eje temporal: dimensión fundamental en Geología.
- Un eje dinámico: perfiles geológicos que incluyan diversos procesos geológicos.

Itinerarios geológicos por las líneas de metro

Otro proyecto en marcha, gracias a la decidida actuación del Consejero de Obras Públicas de la Generalitat, de Joaquim Nadal y de la empresa GISA, consiste en el diseño y realización de un itinerario geológico por algunas estaciones de la líneas de metro en construcción. Pretende mostrar la diversidad geológica del



Panorámica del Jardín Geológico.

subsuelo de Barcelona y su entorno, preservando, en algunos casos, muestras significativas y reconstruyendo en otros las estructuras existentes en estaciones y túneles. El proyecto se elabora en base a una exposición central en una de las nuevas estaciones en construcción que deberá explicar las bases generales y el conjunto del itinerario, desde dónde se dirigirá al ciudadano a estaciones concretas en las que podrá visualizar aspectos relevantes del subsuelo: muestras representativas, cortes geológicos, testimonios de sondeos, fotografías, etc. En este proyecto participan también los institutos "Jaume Almera" y el de Medio Ambiente del CSIC, el Instituto Geológico de Cataluña, la Universidad Autónoma de Barcelona, el Departamento de Obras Públicas de la Generalitat y la empresa GISA.

La Facultad se siente comprometida en dar a conocer su actividad de formación e investigación trabajando conjuntamente con nuestro entorno.

Una nueva aportación de la geología a la minería asturiana



Manuel Gutiérrez Claverol, Carlos Luque Cabal, Luis Miguel Rodríguez Terente y José Ramón García Álvarez

Editorial Eujoa Artes Gráficas

568 páginas

ISBN: 978-84-613-2585-6

Precio de venta al público en librerías: 75 euros

Precio de venta directa para colegiados: 50 euros

(más gastos de envío si los hubiera)

Recientemente ha salido al mercado un nuevo libro que lleva por título: *La Fluorita. Un siglo de minería en Asturias*. Su realización y edición corrió a cargo de los doctores en Geología ligados a la Universidad de Oviedo, Manuel Gutiérrez Claverol, Carlos Luque Cabal y Luis Miguel Rodríguez Terente, conjuntamente con el químico José Ramón García Álvarez, que posee una llamativa colección de este emblemático mineral.

Impreso en gran formato y a todo color, consta de 568 páginas que incorporan un gran número de ilustraciones, en las que se aborda una amplísima temática sobre las circunstancias relativas al descubrimiento, prospección geológica, explotación, concentración y comercialización del espato flúor.

La importancia concreta que para la región presenta esta minería se basa en que el Principado de Asturias llegó a situarse como la más destacada zona minera para este producto de Europa, contribuyendo

asimismo, de manera decisiva, a que España alcanzase un muy estimable sexto puesto en el mercado mundial.

Después de encuadrar el sector industrial y minero de la fluorita en los ámbitos internacionales y del país, la obra aborda, con precisión y amenidad, la evolución histórica de la extracción del mineral en el territorio astur, con específica mención de sus principales promotores y las vicisitudes de las compañías mineras que colaboraron en su aprovechamiento. Se destaca igualmente la participación de los más importantes técnicos que aportaron sus conocimientos a la exploración de los yacimientos y su posterior desarrollo minero, entre los que figuran un buen número de colegas, tanto nacionales como extranjeros.

Un tercer capítulo describe las particularidades geológicas (estratigráficas, litológicas y tectónicas) que condicionaron la tipología de los yacimientos, además de las características paragenéticas de las menas. En este sentido, se hace hincapié en los aspectos cristalocímicos que fueron responsables de las perfectas y bellísimas morfologías, al tiempo de las espectaculares gamas de color de la fluorita autóctona por las que son internacionalmente conocidas y valoradas. Se ponen de relieve, por otra parte, las hipótesis argumentadas sobre el modelo de formación que dio lugar a los diferentes depósitos repartidos por el subsuelo regional.

Los cuatro siguientes capítulos abordan, según una secuencia temporal, la descripción de la metodología e incidencias del laboreo (tanto de interior como de cielo abierto) y las peculiaridades técnicas de los procesos mineralúrgicos en las distintas plantas de concentración mineral. Se complementan con los más curiosos aspectos humanos y lúdicos que han condicionado el contexto sociolaboral del sector.

Con minuciosidad, se van dando a conocer los variados distritos mineros establecidos: La Collada (capítulo 4), Caravia-Berbes

(capítulo 5), Villabona-Arlós (capítulo 6) y el zócalo paleozoico (capítulo 7). Un vasto desarrollo descriptivo dirige su atención sobre aquellas minas de interior tan significadas y productivas como pueden ser las de Aurora, Obdulia y Jaimina (Caravia), Emilio (Colunga), Ana (Ribadesella), La Collada (Siero), Minas de Villabona y Cucona (Llanera) o Moscona (Corvera). De manera similar se aborda la problemática del cielo abierto en explotaciones como Aurora Norte, Valnegro y San Lino (Caravia), Cuetu l'Aspa (Ribadesella), Veneros Sur (Siero) o Arlós (Llanera), con detenimiento de alguno de los efectos medioambientales generados.

Los contenidos de este volumen mantienen un ajustado equilibrio entre la materia descriptiva y escrita frente a la ilustración gráfica que visibiliza pormenorizadamente lo que fue y es una actividad minera y un patrimonio industrial de particular valor, aunque en alguna medida no suficientemente bien conservado. De forma complementaria y destacada se recogen múltiples reproducciones de bellísimos ejemplares de fluorita pertenecientes a notables coleccionistas o museos, así como de otros minerales acompañantes fotografiados todos ellos con gran esmero y óptima calidad por algunos de los mejores especialistas nacionales o del extranjero.

La obra se completa con una extensa bibliografía que, en parte, ha servido de base documental, así como con un amplio glosario explicativo de los términos geológico-mineros utilizados.

No se debe desdeñar la frecuente incorporación de anécdotas o narraciones aportadas por las múltiples personas consultadas para la elaboración de este trabajo, que le agregan, por lo general, una pincelada de amenidad y humanidad.

Consideramos que se trata de una obra cuya contemplación y lectura enciende los más profundos sentimientos de todo aquel que se ve cautivado por el conocimiento y valoración de los recursos geológicos asturianos.

Manual práctico de mantenimiento de plantas de áridos



José Francisco Lara Leal

Fueyo Editores, S.L.

436 páginas

ISBN: 978-84-935273-3-8

Precio: 40 euros

Este libro es el resultado de muchas horas de trabajo en el mundo de los áridos, así como la aportación técnica personal fruto de una larga experiencia profesional de más de cuarenta años.

Se ha perseguido el objetivo de diferenciarse de los demás manuales de mantenimiento actualmente existentes en el mercado, que redundan en conceptos teóricos y sobredimensionados con infinidad de datos, fórmulas, gráficos y tablas carentes de practicidad. Éstos son útiles a la hora de ser utilizados por los profesionales, para programar un estudio de mantenimiento de una instalación de áridos, fábrica de cemento, etc., pero no profundizan en el carácter práctico que resuelve con eficacia las dificultades del día a día.

Con este *Manual práctico de mantenimiento* se ha pretendido englobar, entre otros

asuntos, todas las tecnologías relacionadas con los equipos mecánicos y eléctricos que se utilizan en las instalaciones fijas de áridos, plantas dosificadoras de hormigón, plantas de aglomerado asfáltico, dosificadoras de grava y suelo cemento, así como instalaciones de reciclado de residuos, tuneladoras, fábricas de cerámicas, cementeras, etc.

En conclusión, esta obra está recomendada a todos los técnicos que se dedican a esta noble y difícil tarea de mantenimiento de todo tipo de instalaciones, y significará en el futuro una herramienta imprescindible para los profesionales, ingenieros, encargados de plantas y estudiantes de Ingeniería, siendo, para estos últimos, una guía práctica y técnica muy útil en sus comienzos profesionales en esta materia.

Steno & Cutler, S.L.



Alan Cutler

Traducción: Eduardo Hojman

RBA Libros, S.A.

Año 2007

No es una corporación industrial dedicada a la fabricación de cuchillas de afeitar, ni una compañía de armadores. Es una sociedad que ha formado el segundo gracias al primero. Alan Cutler, geólogo y heredero conceptual de esta sociedad, ha escrito una extraordinaria biografía, que bien podría ser oficial, sobre un beato del siglo XVII, llamado Niels Stensen, a quien también se le conoce como Nicolaus Steno o Nicolai Stenonis. Steno, danés de nacimiento, fue uno de los principales científicos experimentales del siglo XVII, destacando en las facetas médica y geológica, ciencia esta última que comienza como tal gracias a sus estudios mineralógicos, cristalográficos, estratigráficos y paleontológicos. Steno fue un portento de la ciencia, como bien nos lo descubre Cutler: dominaba el latín (muy habitual en aquella época), pero también el francés y el italiano, dio nombre al Conducto de Stensen o Ductus Stenonianus (conducto de la glándula parótida, que descubrió cuando era un

adelantado alumno en Medicina), y fue quien sentó las bases de lo que es actualmente la paleontología y la estratigrafía. En Italia, según él mismo pensaba, estaba su cuna científica, la Cimento, donde los Médicos venían sufragando los gastos derivados del arte con mayúsculas y de las investigaciones de la filosofía natural (que Steno convertiría en experimental). Sólo un experimentador, como demostró ser Steno, podría ser capaz de desentrañar los hasta entonces escondidos conceptos del tiempo y del espacio terrestres, tal y como los entendemos hoy en día. Si bien las ataduras morales de la época habían mantenido a raya las inquietudes de muchos (a través del proceso a Galileo), otros trazaban ya con exquisito equilibrio los argumentos compatibles con la fe cristiana para no tener problemas mayores con la Iglesia (por ejemplo, René Descartes). Eso hizo también Steno con sus meditados textos, bien documentados, con láminas ilustradas y argumentos sutilmente

hilados. Los más famosos fueron *De solido* (sobre los sólidos) y *Tratado sobre la anatomía del cerebro*. También escribió *De thermis* (sobre las aguas termales), *Observaciones anatómicas de las glándulas* o su inédito diario de estudios, denominado por él mismo *Caos*. En *De solido* establece tres de los principios fundamentales en geología (el de la superposición de los estratos o *stratum super stratum*, el de la horizontalidad original y el de su continuidad lateral), que son la base de cualquier trabajo geológico (paleoestratigráfico) de campo. En *De solido* también estaban los argumentos que muchos investigadores comprobarían en el laboratorio y que definirían como Ley de Steno o de constancia de los ángulos diedros, fundamental en cristalografía y mineralogía.

Además de su profunda fe, que le lleva en sus últimos años a apartar la ciencia a favor de la filosofía y a renegar del protestantismo a favor del catolicismo, Steno fue lo que Newton un siglo más tarde: una persona dedicada casi en exclusividad al conocimiento científico, con la particularidad de que en la época renacentista la razón cartesiana apenas comenzaba a hacerse un hueco en muchos aspectos de la vida misma. El obispo anglicano James Ussher calculó la fecha exacta de la Creación: el 23 de octubre del año 4004 a.C. Tal día como ése, pero en 1988, casualidades de la vida, fue beatificado Steno. ¿Qué casualidad puede haber entre religión y ciencia? La respuesta sería el propio Steno, un científico destacado para su época, quizá por su profunda religiosidad y virtuosidad.

Para Steno la ciencia no era una finalidad por sí misma. Esa concepción, relacionada con el trabajo constante, el cuestionamiento continuo de las ideas (heredado del método de la duda, de Descartes), la obtención pormenorizada de los datos, mejor si son constatados científicamente o mediante su deducción directa del estudio in situ, es lo que hoy conocemos como metodología científica o, al menos, parte de la misma. Para él, y esto resume la idea, una adhesión terca a la tradición era el obstáculo principal para el progreso de la ciencia: la deducción no sirve de nada si no va pareja a la obtención de datos que la confirmen. Hoy en día, el sistema es similar en cuanto a ese emparejamiento, pero en sentido inverso: se consiguen los datos y se deducen las tesis. La virtud de Steno fue seguir este orden inverso. Gracias a ello desmontaba con absoluta facilidad las teorías consideradas dogmáticas en su tiempo, pues su destreza como anatomista, principalmente, le permitía conseguir información muy detallada de las disecciones que realizaba. Si bien diseccionaba cadáveres (famosa fue su disección de la cabeza de un tiburón blanco), también realizaba disecciones de rocas: es lo que hoy denominaríamos "trabajo geológico", pues no deja de sorprender la capacidad que tenía de conseguir información de los objetos vivientes, una vez inanimados. Steno prepararía el escenario geológico de lo que estaba por venir de la mano de Werner, Hutton, Darwin y Lyell.

Si los editores hubieran decidido una traducción literal del original (la concha

en lo alto de la montaña), cualquier conocedor de los principios básicos de las ciencias geológicas hubiera pensado inmediatamente en fósiles y en cadenas montañosas. El título dado en la versión castellana (*Una nueva historia de la Tierra*) no es el apropiado, pero no debe hacer desmerecer ni el contenido ni la traducción, muy loables. Como señala el autor, este libro va dirigido al público en general y eso es de agradecer por el lenguaje llano que utiliza y el carácter divulgativo que consigue. Ha preferido no ser grandilocuente ni colmar de notas científicas el texto, que lo hubiera convertido, sin duda, en una biografía más, basada en otros textos sobre Steno. Como contemporáneo de Athanasius Kircher, Thomas Bartholin, Francesco Redi, John Ray, Robert Hooke, Gottfried Wilhelm von Leibniz, John Woodward y Baruch Spinoza, entre otros, Steno disfrutó de las delicias académicas del Renacimiento, pero era un ilustrado. Sus ojos y sus manos le permitieron desvelar un mundo desconocido hasta entonces. Y cuando decidió hacerse sacerdote católico, como Kircher, es evidente que abandonó la ciencia como sacrificio ante Dios, lo que debería de haberlo convertido en un mito. Para los geólogos, sencillamente, es el padre de la estratigrafía moderna.

"Hermoso es lo que vemos.
Más hermoso es lo que entendemos.
Más hermoso aún es lo que no
comprendemos."
(Aforismo. N. Steno, *Copenhague*,
1673)

Cambio climático y agua subterránea. Visión para los próximos decenios



José M^º Pernia Llera, Juan María Fornés
Azcoiti

Editorial IGME

80 páginas

ISBN: 978-84-7840-756-9

Encuadernación: rústica

Precio: 6 euros

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) acaba de publicar un libro divulgativo titulado *Cambio climático y agua subterránea. Visión para los próximos decenios*, en el que se exponen, de un modo institucional, algunas líneas de investigación que se consideran de interés para conocer mejor los efectos que el cambio climático puede producir en las aguas subterráneas y, así, poder mitigar las consecuencias negativas que se prevén en un futuro próximo, particularmente en la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos.

El texto es breve y está escrito en un lenguaje preciso y sencillo, asequible al no especialista interesado en el tema. Aborda aspectos básicos y aplicados, así como cuestiones candentes del momento. Los datos referentes al cambio climático son los más recientes que ha publicado el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

El libro presenta dos partes claramente diferenciadas. La primera, que sirve de marco general, trata del cambio climático (causas naturales, existencia a lo largo del tiempo geológico, variaciones de los gases de efecto invernadero) y de las evidencias que se están manifestando, principalmente desde el siglo pasado, en la temperatura, precipitación, nivel del mar, extensión de nieve y polos, desastres naturales y, por último, en el permafrost.

En la segunda parte se abordan los efectos que el cambio climático puede producir en la fase subterránea del ciclo hidrológico y en los ecosistemas naturales que dependen de ella, teniendo en cuenta los escenarios climáticos proyectados para finales del siglo XXI en España. Se destacan, asimismo, algunos de los trabajos desarrollados por el IGME relacionados, de muy variadas formas, con este tema y que se pueden agrupar en las siguientes líneas de investigación: conocimiento de los recursos hídricos subterráneos, estudio de acuíferos costeros, estimación de la recarga natural según diferentes métodos, estudio de ecosistemas acuáticos relacionados con las aguas subterráneas, actuaciones contra las sequías, estudios polares, estudios paleoclimáticos, almacenamiento geológico profundo de CO₂ y actuaciones dirigidas a mitigar los efectos del cambio climático.

La experiencia del IGME y su conocimiento sobre los recursos hídricos subterráneos y los acuíferos, unida a la descripción realizada sobre los efectos del cambio climático en las aguas subterráneas, lleva a proponer en el último capítulo del libro una serie de líneas de estudio para los próximos decenios, encaminadas a garantizar la existencia de recursos hídricos necesarios para la vida humana y para la conservación de la naturaleza.

La cuenta **más despierta** para su bolsillo

BS Cuenta Profesional

BS Cuenta Profesional es una cuenta personal o profesional, sin ningún tipo de comisiones ni gastos de administración ⁽¹⁾, que le permitirá gestionar su economía y acceder a un conjunto de productos y servicios en condiciones preferentes, sólo por pertenecer al Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.



0 euros

- Comisión de mantenimiento⁽¹⁾
- Comisión de administración⁽¹⁾
- Comisión por ingreso de cheque
- Comisión por emisión de tarjeta Visa Classic

SabadellAtlántico le dejará un buen sabor de boca

Llévese esta exprimidor Kenwood de regalo⁽²⁾ al hacerse cliente de SabadellAtlántico

Regalo exclusivo para nuevos clientes.



Infórmese en cualquier oficina SabadellAtlántico llamando al **902 323 555** o bien en **sabadellatlantico.com**

⁽¹⁾ Excepto cuentas inoperantes en un periodo igual o superior a un año y con un saldo igual o inferior a 150 euros.

⁽²⁾ Promoción válida hasta finalizar existencias (500 unidades) por la apertura de una BS Cuenta Profesional con un saldo mínimo de 300 euros.

Normas de publicación

Principios generales

- Los artículos deberán ser originales, estar escritos en castellano y no estar publicados en ninguna otra revista.
- El comité editorial revisará los manuscritos y decidirá su publicación o devolución.

Texto

- Se entregará en un archivo Word, en cualquier tipo y tamaño de letra.
- Para calcular la extensión se informa de que 600 palabras son una página editada de la revista.
- Todas las ilustraciones (mapas, esquemas, fotos o figuras) y tablas serán referenciadas en el texto como (figura...) o (tabla...).
- Las referencias bibliográficas dentro del texto se harán siempre en minúscula.

Tablas

Toda información tabulada será denominada "tabla" y nunca "cuadro".

Figuras

- Todas las ilustraciones se considerarán figuras.
- Las figuras se reseñarán dentro del texto como (figura...).
- Es recomendable una o dos figuras por cada 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 del título por un punto.

Los titulares de artículos no se pondrán entre comillas ni en cursiva. Los nombres de las revistas y los títulos de libros se pondrán en cursiva.

Envío

Los manuscritos se remitirán por correo en un CD con una copia en papel, tanto del texto como de las ilustraciones, a la redacción de la revista *Tierra & Tecnología*, Colegio Oficial de Geólogos: C/ Raquel Meller, 7, 28027 Madrid. Tel.: + 34 915 532 403

Separatas y originales

Los autores recibirán un PDF 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 • Jornadas técnicas •
Tertulias • Revista Tierra y tecnología**

www.icog.es



BARCELONA BILBAO MADRID OVIEDO ZARAGOZA

icog@icog.es - + 34 915 532 403



Es miembro de:

Federación Europea de Geólogos • Unión Profesional • Unión Interprofesional de Madrid •
Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra • Confederación Empresarial de Madrid