

REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

Volumen 35 Número 2, Diciembre 2022

ISSN 0214-2708

Editora Principal
Nieves López González
Instituto Español de Oceanografía, CSIC



Sociedad
Geológica
de
España

Revista de la SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

Revista semestral editada por la Sociedad Geológica de España

<http://www.sociedadgeologica.org>

ISSN: 0214-2708 (versión impresa)

ISSN: 2255-1379 (Internet)

Depósito legal: S.421-2012

Es una revista que recoge los artículos originales e inéditos enviados para su publicación a la Sociedad Geológica de España y seleccionados por el Comité Editorial, con el asesoramiento del Comité Científico y especialistas en la materia. También se recogen las réplicas realizadas después de la publicación de un artículo. La Sociedad Geológica de España no se hace responsable de las opiniones vertidas por las personas autoras de los artículos firmados. La propiedad intelectual atribuye a los/las autores/as la plena disposición y explotación de la obra creada, de acuerdo con las leyes vigentes. La Revista no puede ser reproducida, almacenada o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio sin la autorización previa y escrita de la Sociedad Geológica de España. Su reproducción para fines docentes, de investigación o uso personal no requiere autorización previa.

EDITORIA PRINCIPAL / EDITOR-IN-CHIEF

Nieves López González

Instituto Español de Oceanografía, CSIC
Centro Oceanográfico de Málaga

Puerto pesquero s/n, 29640 Fuengirola, Málaga (España)
Tel: +34 952 197 124; e-mail: nieves.lopez@ieo.csic.es

EDITORES ADJUNTOS / ASSOCIATE EDITORS

Alberto Pérez López

Departamento de Estratigrafía y Paleontología
Facultad de Ciencias, Universidad de Granada
Campus Fuentenueva, 18002 Granada (España)
Tel: +34 958 243 334; e-mail: aperezl@ugr.es

Aitor Cambeses Torres

Departamento de Mineralogía y Petrología
Facultad de Ciencias, Universidad de Granada
Campus Fuentenueva, 18002 Granada (España)
Tel: +34 958 246 611; e-mail: aitorc@ugr.es

Sonia García de Madinabeitia

Departamento de Mineralogía y Petrología
Facultad de Ciencia y Tecnología, Campus de Bizkaia
Barrio de Sarriena s/n, 48940 Leioa, Bizkaia (España)
Tel: +34 946 015 455; e-mail: sonia.gdm@ehu.es

SEDE EDITORIAL / EDITORIAL OFFICE

Sociedad Geológica de España:

Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca,
Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca, España.
<http://www.sociedadgeologica.org>

COMITÉ CIENTÍFICO / SCIENTIFIC COMMITTEE

Alberto Pérez-López, Universidad de Granada (Spain)

Andrés Folguera, Universidad de Buenos Aires (Argentina)

Belén Oliva Urcia, Universidad Autónoma de Madrid (Spain)

Brendan Murphy, St. Francis Xavier University (Canada)

César Viseras Alarcón, Universidad de Granada (Spain)

David Gómez Gras, Universidad Autónoma de Barcelona (Spain)

Desirée Palomino Cantero, Instituto Español de Oceanografía (Spain)

Eduardo Zappettini, Servicio Geológico Minero de Argentina (Argentina)

Fco. Javier Hernández Molina, Royal Holloway. University of London (UK)

Francisco Pereira, Universidade de Évora (Portugal)

Francisco Serrano Lozano, Universidad de Málaga (Spain)

Graciela Delvene Ibarrola, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)

Jorge Rabassa, Centro Austral de Investigaciones Científicas (Argentina)

José Antonio Ortega Becerril, Universidad Autónoma de Madrid (Spain)

José Brilha, Universidade do Minho (Portugal)

José Miguel Molina Cámara, Universidad de Jaén (Spain)

Juana Vegas Salamanca, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)

Julia Cuevas Urionabarrenechea, Universidad del País Vasco (Spain)

Laura Domingo Martínez, Instituto de Geociencias (CSIC), Universidad Complutense de Madrid (Spain)

Luca Basilone, Università degli studi di Palermo (Italy)

Luis Vitor Duarte, Universidade de Coimbra (Portugal)

María José Huertas Coronel, Universidad Complutense de Madrid (Spain)

María Luisa Calvache Quesada, Universidad de Granada (Spain)

Mercedes Ferrer Gijón, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)

Pablo G. Silva Barroso, Universidad de Salamanca (Spain)

Paul Wright, National Museum of Wales (UK)

Sila Pla Pueyo, Universidad de Granada (Spain)

Stephen Johnston, University of Alberta (Canada)

Teresa Román Berdiel, Universidad de Zaragoza (Spain)

Teresa Sánchez García, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)

Imagen de portada:

Imagen de portada: Lava cordada (pahoehoe), Geoparque El Hierro, Islas Canarias

Foto cedida por: Santiago Mateos Paniagua

REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA



Vol. 35 (2) (2022)



ISIDRO PARGA PONDAL (1900-1986) Y EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. UNA HISTORIA DE ENCUENTROS Y DESENCUENTROS

Isidro Parga Pondal (1900-1986) and the Geological and Mining Institute of Spain. A story of agreements and disagreements

Francisco J. Leonardo-Docanto¹ e Isabel Rábano²

¹ Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT), Praza Museo Nacional de Ciencia 1, 15011 A Coruña.
francisco.leonardo.docanto@gmail.com

² Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España, CSIC, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. i.rabano@igme.es

Abstract: The Laboratorio Xeolóxico de Laxe, founded by the geochemist Isidro Parga Pondal in the 1940s, was a relevant center for the study of Galician geology. The activity carried out in it allowed him to collect in a few years a large amount of data. It was also a recognized research center beyond our borders, bringing together national and foreign geologists with a common goal. Its antecedents can be found in the Laboratorio de Xeoquímica da Universidade e do Seminario de Estudos Galegos (Geochemistry Laboratory of the University and the Seminary of Galician Studies) also created by Parga Pondal in the early 1930s at the University of Santiago. On that date he began his relationship with the Geological and Mining Institute of Spain through the mining engineer Primitivo Hernández-Sampelayo who, after the Civil War and the expulsion of Parga Pondal from the university, promoted the establishment in Galicia of a territorial office of the Institute, in which Parga Pondal would be in charge. This was not possible, but Parga's collaboration with the mapping plan was articulated through the making of 1:50,000 scale geological sheets of Galicia, as well as the publication of other maps at different scales. The problems detected by Parga Pondal in the design of the mapping plan of the IGME resulted in some disagreements that were difficult to overcome. They were aggravated by the impossibility of the participation of the Laboratorio Xeolóxico de Laxe, for administrative reasons, in the new IGME's geological mapping design at a scale 1:50,000, the MAGNA plan. In any case, the IGME incorporated into its maps the information obtained by Parga Pondal and by the geology schools that he coordinated from the Laboratorio Xeolóxico de Laxe, which allowed, among other achievements, for Galicia to be the first region in Spain to have a complete geological cartography at scale 1:50,000.

Keywords: geological mapping, Galicia, history of Geology, 20th century.

Resumen: El Laboratorio Xeolóxico de Laxe, fundado por el geoquímico Isidro Parga Pondal en los años 40 del siglo XX, fue un centro relevante para el estudio de la geología gallega, reuniendo a investigadores nacionales y extranjeros. Su antecedente se encuentra en el Laboratorio de Xeoquímica da Universidade e do Seminario de Estudos Galegos, creado también por Parga Pondal a comienzos de los años 30 en la Universidad de Santiago. En esa fecha comenzó su relación con el Instituto Geológico y Minero de España a través del ingeniero de minas Primitivo Hernández-Sampelayo quien, tras la Guerra Civil y la expulsión de Parga Pondal del ámbito universitario, promovió el establecimiento en Galicia de una sede territorial del IGME con don Isidro al frente. Esto no fue posible,



pero sí se llegó a articular la colaboración de Parga Pondal con el plan cartográfico a través de la realización de hojas a escala 1:50.000 de Galicia y de la edición de otros mapas. Los problemas detectados por Parga Pondal en el diseño del plan cartográfico general del IGME se tradujeron en unos desacuerdos difíciles de superar, que se agravaron ante la imposibilidad de la participación del Laboratorio Xeolóxico de Laxe, por motivos administrativos, en el nuevo plan cartográfico a escala 1:50.000 del IGME, el plan MAGNA.

Palabras clave: cartografía geológica, Galicia, historia de la Geología, siglo XX.

Leonardo-Docanto, F.J., Rábano, I., 2022. Isidro Parga Pondal (1900-1986) y el Instituto Geológico y Minero de España. Una historia de encuentros y desencuentros. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35 (2): 3-19.

Introducción

El conocimiento geológico de Galicia debe gran parte de sus avances en el siglo pasado al trabajo del científico Isidro Parga Pondal (1900-1986). Químico de formación, su vida profesional tuvo dos etapas bien diferenciadas. En primer lugar, y como profesor de la Universidad de Santiago, desarrolló entre 1923 y 1936 una excelente carrera de analista químico, aplicada a un campo novedoso en nuestro país: los estudios geoquímicos. Su precisión en los trabajos era tal, que fue considerado uno de los mejores analistas de Europa, llegando a dirigir el primer laboratorio de geoquímica de España, el Laboratorio de Xeoquímica da Universidade e do Seminario de Estudios Galegos. Este laboratorio fue subvencionado por la Fundación Nacional para Investigaciones Científicas y Ensayos de Reformas (FNICER), que fue creado en 1931 con el fin de conectar la investigación con sus aplicaciones empresariales. Desde él realizó importantes investigaciones, que hicieron que Parga Pondal fuese reconocido a nivel nacional. La segunda etapa se inició durante la Guerra Civil. El 25 de febrero de

1937 fue separado del servicio e inhabilitado para ejercer cargos públicos. Tras ser expulsado de la Universidad y tener que dejar atrás sus proyectos en el laboratorio e incluso abandonar Santiago ante el miedo a las represalias, se refugió en su pueblo natal, Laxe (A Coruña). Allí se implicó en una industria familiar, Kaolines de Lage, que diversificó en distintos proyectos empresariales que le permitieron disfrutar de una vida acomodada. Sin embargo, su inquietud por la ciencia le llevó a crear el Laboratorio Xeolóxico de Laxe (LXL), donde pudo desarrollar una fecunda actividad investigadora durante esta segunda etapa de su vida.

El objetivo del presente trabajo es abordar la participación de don Isidro en los diferentes proyectos de cartografía geológica del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), así como descifrar los acuerdos y desacuerdos que hubo entre el investigador gallego y dicha institución, para lo que nos hemos valido de los fondos del LXL conservados en el Centro de Documentación y Archivo (CEDAR) de la Universidad de A Coruña, así como de diferentes fuentes orales^(nota 1).

Breve biografía

Isidro Parga Pondal nació en Laxe (A Coruña) el 17 de diciembre de 1900. Se licenció en Ciencias Químicas en la Universidad Central y, recién finalizados los estudios, obtuvo una plaza de profesor auxiliar de Análisis Químico en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Santiago, cargo que desempeñó hasta su expulsión de la misma en 1937. Durante este periodo obtuvo dos importantes ayudas económicas, una de la Junta para la Ampliación de Estudios, que le permitió estudiar geoquímica y geología en Zurich entre 1930 y 1931; y una segunda, de la Asociación Española de Fabricantes de Cemento, disfrutada en Berlín entre 1932 y 1933. Gracias a ellas tuvo la oportunidad de aprender con los mejores geoquímicos y geólogos de aquellos años, como Paul Niggli, en Zurich, o Hans Kühl en Berlín, convirtiendo a Parga Pondal en el geoquímico más destacado de España en ese momento^(nota 2). Su expulsión de la Universidad Compostelana en 1937, acusado de galleguista y con ideario de izquierdas, estuvo promovida en parte por pertenecer al Seminario de Estudios Galegos y a su amistad con destacados galleguistas, como Alfonso Rodríguez Castelao (1886-1950). Retirado a Laxe, fundó allí el Laboratorio



Fig. 1.- Isidro Parga Pondal en el Laboratorio Xeolóxico de Laxe (1958). Fondo Laboratorio Xeolóxico de Laxe, Centro de Documentación e Archivo da Universidade da Coruña.

Xeolóxico de Laxe (Fig. 1), la única institución gallega dedicada a las investigaciones geológicas entre 1940 y 1965 (Parga Pondal, 1973; Vidal Romaní, 2009). En sus nuevos comienzos, Parga Pondal no contó con los medios con los que disponía en su Laboratorio de Xeoquímica da Universidade e do Seminario de Estudios Galegos^(nota 3), cuyas colecciones petrográficas no le fueron devueltas nunca, pero lo suplió con los conocimientos de geología y su gusto por las excursiones y trabajos de campo:

“Como no disponía de laboratorio, me dispuse a estudiar las tierras de Galicia desde un punto de vista geológico, porque para ello sólo necesitaba tener conocimientos, un martillo y una brújula. Y en realidad, por mi condición de geoquímico, sabía ya lo que era la Geología gallega, como materia imprescindible de mi trabajo” (recogido en Vázquez, 1982).

Desde el LXI llevó a cabo importantes trabajos, como la publicación, en colaboración con el IGME, de mapas geológicos de Galicia y del NO peninsular, en los que aportó gran cantidad de nuevos e importantes datos. Además, tuvo una actuación decisiva como promotor y coordinador de los trabajos que distintos grupos de geólogos extranjeros desarrollaron a lo largo de varias décadas en aquella región. Falleció en A Coruña, el 4 de mayo de 1986. Para ampliar datos sobre la biografía de Isidro Parga Pondal, ver Leonardo-Docanto (2011, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2014, 2017, 2020) y Gurriarán Rodríguez (2014).

Primeros contactos con el Instituto Geológico y Minero de España

Durante los años 20 del siglo pasado, Parga Pondal coincidió en el Seminario de Estudios Galegos (Fig. 2) con el ingeniero de minas Primitivo Hernández-Sampelayo (1880-1959), quien también le visitaba con frecuencia, tras la Guerra Civil, en su laboratorio de Laxe con el fin de compartir el interés mutuo por la geología gallega: “No trate Vd., amigo Parga, de buscar un orden en la confusa geología del occidente de Galicia. Sus esfuerzos serán vanos” (Parga Pondal, 1973). Este contacto resultó crucial para los trabajos geológicos que don Isidro desarrolló durante su segunda etapa profesional y constituyó el origen de una relación personal y profesional que se prolongó a lo largo de los años. Hernández-Sampelayo se había trasladado a Galicia a finales de 1906 para trabajar en distintas sociedades mineras: Sociedad Minera de Villaodrid, The Vivero Iron Ore Co. Ltd. o para la empresa inglesa Morris y Cía. En 1914 fijó su residencia en la capital de España, ingresando en el Instituto Geológico de España como Ingeniero Segundo, puesto del que fue ascendiendo hasta llegar a Inspector General del Cuerpo de Ingeniero de Minas y vicepresidente del Consejo de Minería en 1950. Los años en Galicia le permitieron a Hernández-Sampelayo adquirir grandes conocimientos de la geología de esa región, lo que animó al IGME a encomendarle la revisión del mapa geológico de Lugo y el estudio de sus criaderos de minerales. Estos trabajos fueron el origen de una de sus obras



Fig. 2.- Algunos miembros del Seminario de Estudios Galegos en 1928. Isidro Parga Pondal es el primero sentado por la izquierda. En la misma fila, en el centro, el director del Seminario, Salvador Cabeza de León. Fundación Otero Pedrayo.

más destacadas: *Hierros de Galicia* (1922-1935) (Rábano y Gutiérrez-Marco, 2022).

El interés y cariño que Hernández-Sampelayo tenía por Galicia fue el motivo por el que solicitó, el 5 de octubre de 1929, ingresar en el Seminario de Estudios Galegos. Fue presentado por el presidente del mismo, Salvador Cabeza de León (1864-1934), y por el periodista Francisco Lanza Álvarez (1892-1951). En la sesión de ese mismo día, Parga Pondal expuso, en colaboración con su alumno José Vázquez Garriga, un reciente estudio sobre minerales de wolframio en Galicia (Parga Pondal y Vázquez Garriga, 1929).

Desde los inicios de su carrera científica, y con el fin de difundir los resultados de sus investigaciones, el geoquímico gallego remitía sus publicaciones a investigadores españoles y extranjeros con un posible interés en las mismas. Con Hernández-Sampelayo no fue una excepción. Al poco tiempo de conocerse le hizo llegar varios de sus trabajos, quien le respondió desde la sede del IGME en Madrid, el 9 de diciembre de 1931, expresándole su agradecimiento:

“Muy distinguido Sr. mío y amigo: Agradezco a V. vivamente las separatas que me envía de sus interesantes estudios de mineralogía y química, de los cuales conocía los aparecidos en Madrid (magnetitas de las playas, wolfram y evansita), pero no los de geoquímica de los magmas y la diorita de Vares ni los publicados en Galicia; ya me los he leído todos y se pasa un rato muy agradable que pienso repetir más despacio; muchas gracias al Pr. Dr. Iglesias a quien estimaré haga V. llegar mi afectuoso saludo. ¿Tienen Vs. particularmente mis publicaciones de Galicia? Si V. o el Sr. Iglesias desean algunos de mis trabajos o de los publicados por este Instituto tendría mucho gusto en remitírselos.

Un saludo cariñoso a nuestro Presidente y disponga usted de su amigo y consocio”.

Así, se puede comprobar el excelente trato que Hernández-Sampelayo tenía tanto con el geoquímico gallego, como con el Seminario de Estudios Galegos. Entre los trabajos remitidos a Madrid por Parga Pondal se encontraban

Análisis da evansita de tres localidades galegas (1927), *Sobre la presencia de la magnetita y de la ilmenita en las arenas de las playas gallegas* (1930), *Datos para la geoquímica de los magmas gallegos* (1930) y *Estudio petroquímico de la diorita cuarcifera de la Estaca de Vares* (sic) (1931). Por su parte, otro de los científicos con los que Hernández-Sampelayo mantuvo un intercambio activo era con el entomólogo Luis Iglesias Iglesias (1895-1876), director de la sección de Ciencias del Seminario y compañero docente de Parga Pondal en la universidad. El envío e intercambio de publicaciones entre Hernández-Sampelayo y don Isidro se prolongó durante años, incluso cuando este último estaba ya fuera de la universidad e instalado en su LXL.

Isidro Parga Pondal, colaborador regional del IGME

La celebración en Madrid del XIV Congreso Geológico Internacional, en mayo de 1926, supuso un cambio importante en el tratamiento cartográfico del IGME. De una cartografía provincial a escala 1:400.000 realizada durante el siglo XIX, que culminó en 1889 con la finalización del mapa geológico de España a dicha escala, el IGME comenzó en 1927 un nuevo proyecto cartográfico del país a escala 1:50.000, con un interés especial hacia la minería (García Cortés, 2005; Pérez Estaún, 2005). Con el fin de avanzar en los trabajos que conducirían a la confección de las nuevas hojas geológicas, el IGME mantuvo una red de colaboradores en otras regiones, en especial con Cataluña (Rábano y Gutiérrez-Marco, 2022).

Para impulsar el conocimiento geológico de Galicia, el IGME proyectó en 1945 implantar allí una sede estable, al frente de la cual estaría Parga Pondal en reconocimiento a todos sus esfuerzos para conocer con más detalle el subsuelo gallego. La idea debió de partir de Hernández-Sampelayo, quien contó con el apoyo del director, Agustín Marín y Beltrán de Lis (1877-1963). El 3 de noviembre de 1945, Hernández-Sampelayo comunicó a don Isidro las últimas novedades sobre el asunto: “Estoy deseando dar a V. la buena noticia de que se puede empezar ahí la nueva organización geológica regional, pero D. Agustín Marín está esperando la aprobación de los presupuestos y mientras, no se decide; confío y deseo en conseguir nuestros deseos”. La carta animó en gran medida al geoquímico gallego, por vivirla como una cierta superación de aquellos años complicados en los que se había visto obligado a dejar su puesto en la universidad, así como la pérdida de sus libros, revistas, colecciones y material de investigación. Así lo manifestó en su respuesta del 11 de noviembre:

“Con gran satisfacción he leído su cariñosa carta del 3 del corriente, en la que comunica la buena noticia de la aprobación de nuestro gran deseo de una organización geológica regional, que se halla solamente pendiente de la aprobación de los presupuestos. Desde nuestra última entrevista en La Coruña estoy trabajando con gran entusiasmo reorganizando mis archivos y colecciones de rocas gallegas, así como haciendo nuevas y fructíferas excursiones. Cada vez estoy más convencido de la

gran labor que podemos desarrollar estudiando a fondo la gran variedad de rocas de esta región y sobre todo si contamos con el apoyo valiosísimo que usted nos viene prestando.”

Sin embargo, los presupuestos no fueron todo lo generosos que esperaban. A pesar de las intenciones iniciales de la dirección del IGME, y tras los problemas que tuvieron al recibir la asignación de fondos desde el ministerio, concluyeron que no debía avanzarse en la idea de la creación de la sede territorial en Galicia, pues podría ser el inicio de peticiones similares desde otras regiones. Así, el proyecto original fue reformulado y el IGME, a través de Hernández-Sampelayo, propuso a Parga Pondal, el 23 de noviembre de 1945, algo similar a lo que se estaba llevando a cabo con geólogos catalanes, como José Ramón Bataller (1890-1962), Maximino San Miguel de la Cámara (1887-1961), Noel Llopis Lladó (1911-1968), Lluís Solé Sabarís (1908-1985), Miquel Crusafont (1910-1983) o José Fernández de Villalta (1913-2003):

“Parece que nuestro presupuesto no viene aprobado con la brillantez que deseábamos [...] nuestro Director D. Agustín me propone una modificación de forma, que me parece aceptable, mientras no se pueda dar a la organización la forma que deseamos. Lo que contraría es la fijación de sede y de cantidad fija mensual para Galicia, pues tiene competencias de otras regiones que desean centros análogos y no podría satisfacerles. Hoy en realidad solo funciona Cataluña, pero sin sede, se abonan los estudios según el mérito y el esfuerzo [...] Pasando a Galicia en este régimen, y dado su temperamento tan independiente (¡que ya nos conocemos y apreciamos desde hace tiempo!) creo que lo mejor es que Vd. publicase tres estudios, por ejemplo, al año [...] al que se le pudiese asignar las 8.000 pts. que por lo visto puede destinarse D. Agustín para Vd. aunque no hayan aumentado el presupuesto.

Naturalmente espero que los análisis que usted haga se abonarán aparte, pero la recogida de muestras creo tendrían que realizarla nuestros ayudantes, aunque se le abonase el jornal a su colector en los días que con ellos funcionase. Sus estudios se publicarán en el Boletín o en las Memorias o en Notas, pero además si quisiese usted colaborar en las Hojas eso sería magnífico.

¡Ya es mucha lata, dígame algo y seguiremos esta conversación hacia el bien de Galicia!”

Parga Pondal aceptó de buen grado a través de una carta fechada el 1 de diciembre de 1945, “trataré de colaborar con todo mi entusiasmo”, lamentando la imposibilidad de llevar a cabo la organización regional que hubiera permitido abordar con más facilidad los estudios geológicos y petrográficos en Galicia. Así, estuvo de acuerdo tanto en enviar sus trabajos para que fueran publicados por el IGME, como en colaborar con los mapas geológicos de Galicia, una tarea que le permitió retomar sus investigaciones sobre la geología gallega, “abandonada hace ya casi diez años”. A la solicitud de ayuda por parte de don Isidro, pues no dis-

ponía de los medios de los que había disfrutado en su Laboratorio de Xeoquímica, Hernández-Sampelayo contestó el 6 del mismo mes, ofreciéndole las facilidades del IGME para ayudarle en su futura tarea, invitándole a visitar las instalaciones, biblioteca y laboratorios del Instituto.

La relación de Parga Pondal con el IGME se oficializó en 1951 con el nombramiento de colaborador regional de la institución (Sos Baynat, 1953). Además, se formó un equipo de trabajo para la realización de las hojas geológicas de Galicia a escala 1:50.000 en el que el geoquímico gallego estuvo acompañado por un catedrático con conocimientos de geología y por un ingeniero del IGME. En el primer caso, el catedrático designado por el IGME fue Gabriel Martín Cardoso (1896-1954) y, tras su fallecimiento, el catedrático de Ciencias Naturales en el Instituto de Enseñanza Media de A Coruña Eugenio Torre Enciso (1908-1996). Por parte del Instituto, la colaboración la prestó el ingeniero de minas Juan Manuel López de Azcona (1907-1995).

El encargo del IGME supuso para el geoquímico gallego un intenso trabajo y un compromiso estricto a la hora de cumplir los plazos establecidos. Así se puso de manifiesto tanto en las publicaciones de los mapas geológicos, como en la extensa correspondencia conservada entre los distintos colaboradores. A modo de ejemplo, el 18/08/1952, Martín Cardoso escribió a Parga Pondal: “Creo que debemos de insistir, para que trasladen nuestras razones al Consejo Superior Geográfico, que en lo sucesivo no nos agobien con plazos perentorios. Aunque los señores que lo componen no se den cuenta, va en su propio prestigio y en el nuestro, como tú bien sabes y Azcona también”. En la correspondencia entre López de Azcona y Parga Pondal también se encuentran varias referencias con los apremios y las exigencias del IGME. El 24/08/1956, el ingeniero de minas escribió a don Isidro: “Le recuerdo la urgencia de las Memorias de La Guardia y Camariñas”. El 15/11/1957, nuevos requerimientos a Parga Pondal: “Mucho le agradecería empiece a remitirme las cosas que tenemos pendientes, como la Memoria de Camariñas y Santa Comba, Mapa geológico provincial de Coruña y los bosquejos que tiene preparado de las tres provincias restantes”.

Tras el fallecimiento de Martín Cardoso, a partir de enero de 1954 continuó el intenso trabajo cartográfico con Torre Enciso. Así, en una carta enviada por Parga Pondal a López de Azcona el 12 de julio de 1954, le comunicaba el plan de trabajo del año en curso:

“El Sr. Torre Enciso y yo estamos actualmente ocupados en la redacción de las hojas de Tuy, Oya y Camariñas y que deseamos tenerlas entregadas antes de 1º de septiembre.

Respecto del plan para este año, por nuestra parte podemos ocuparnos tanto de la hoja de Mugía como la de Santa Comba. La de Mugía, Torre Enciso y yo la tenemos casi terminada, pendientes solo de dos excursiones. La de Santa Comba podría necesitar unas 8 o 10 excursiones. Tan pronto Vd. llegue a Coruña, le ruego me avise para entrevistarnos y concretar lo que es conveniente según el tiempo del que dispongamos.”

Torre Enciso no sólo colaboraba con Parga Pondal en los trabajos cartográficos; también revisaba algunas de sus investigaciones a petición del geoquímico, como en el caso de la publicada en colaboración con Josefina Pérez Mateos^(nota 4):

“He leído con detenimiento su trabajo sobre la costa de Finisterre del que desea saber mi opinión. No veo nada que añadir o modificar. Todo él está bien, y muy bien las consideraciones finales y conclusiones. Sólo encuentro dos cuestiones discutibles que en realidad carecen de importancia. La primera se refiere al lugar en que aparecen descritas las playas secundarias dentro del temario. ¿No sería mejor describirlas en último lugar? Ya sé que lo que usted intenta es ir de lo menos importante a lo más importante, lo que es también un criterio aceptable.

La segunda posible objeción se refiere al empleo del término “palingénico”. Un granito palingénico resulta de refusión total de otras rocas en las zonas más profundas del metamorfismo, con posterior solidificación del magma así formado. Es, por decirlo así, el grado más alto de la anatexia. ¿Coincide exactamente este concepto con las características de ese granito? Si es así, el término está bien aplicado.

En resumen, este trabajo me parece más completo y de mayor alcance que el que dedicó a los arenales de Lage, y señala un buen nivel para las publicaciones de ese Laboratorio.” (Carta de Eugenio Torre Enciso a Isidro Parga Pondal, 09/10/1955).

Sin embargo, el geoquímico gallego tenía la última palabra en lo relativo a los trabajos cartográficos. El 26/06/1963, Torre Enciso le decía: “Por correo certificado le remití ayer la hoja de Tomiño. No la envié a Madrid porque considero que antes debe revisarla usted para dar su aprobación o introducir, en su caso, las modificaciones que juzgue convenientes”.

La satisfacción del IGME por los trabajos de cartografía geológica hechos por el equipo no tardó en manifestarse desde los primeros momentos. En una carta de Cardoso (07/12/1951), el mineralogista madrileño le informó, refiriéndose a la hoja de Lage, que “le ha parecido muy bien a López de Azcona en conjunto y en detalle todo cuanto hemos redactado y cree que con la revisión que hagamos para pulir y aclarar las cosas que se han escrito muy deprisa, va a resultar una memoria excelente”. Estas alabanzas se repitieron en otra comunicación de Cardoso (21/12/1952) al referirse nuevamente a la hoja de Lage: “les ha gustado mucho [a Alvarado y López de Azcona] el trabajo redactado y Alvarado me dijo que quedaban muy contentos de nuestra labor”.

El pago del trabajo se realizaba previa presentación de un presupuesto, que venía desglosado por el número de “expediciones”. Tomando como ejemplo la hoja de Camariñas, que no llegó a publicarse, el científico gallego presentó dos presupuestos para sendas campañas de campo, ambos de 3.000 pesetas, cantidad similar al de las demás hojas geológicas.

El resultado de esta primera colaboración con el IGME fueron quince hojas geológicas a escala 1:50.000, publicadas entre 1953 y 1963 (ver Tabla 1). A través de los presupuestos enviados por Parga Pondal a Madrid, así como de la información que plasmó Vicente Sos Baynat (1895-1992) tras una visita a Laxe en 1953, conocemos que otras hojas, como las de Vigo, Cíes o Santiago^(nota 5), estaban también en vías de realización, aunque se quedaron sin publicar. Sus colaboradores habituales en los trabajos de campo fueron Martín Cardoso [en las hojas de Lage (Figs. 3 y 4), Carballo, Tomiño-Caminha y Tuy-Valença]; y Torre Enciso, en las de Oya, Camariñas, Mugía, La Guardia-Moledo, Santa Comba, Outes, Finisterre, Betanzos, Órdenes, Oza de los Ríos y Puentedeume. Juan Manuel López de Azcona, como representante del IGME, participó en la supervisión de todas ellas. En relación con las memorias que acompañaban a estos mapas geológicos, solo fueron redactadas las de seis hojas (43, 261, 44, 260, 67 y 298). A partir de 1957, don Isidro comenzó con sus dudas y críticas hacia la forma de trabajar impuesta por el IGME (Parga Pondal, 1958) y no volvió a entregar ninguna más. En relación con la hoja nº 45 (Betanzos), el mapa realizado por Parga Pondal, Torre Enciso y López de Azcona en 1960 se trató de una segunda edición del que había hecho Primitivo Hernández-Sampelayo en 1950. Por su parte, aunque no nos ha sido posible consultar la hoja de Camariñas, sí que aparece como finalizada en la relación de sus trabajos (Parga Pondal, 1973; Capdevila, 1978).

Año	Título	Escala
1953	Mapa Geológico de España. Hoja nº 43, Lage	1:50.000
1953	Mapa Geológico de España. Hoja nº 261, Tuy-Valença	1:50.000
1953	Mapa Geológico de España. Hoja nº 44, Carballo	1:50.000
1954	Mapa Geológico de España. Hoja nº 260, Oya	1:50.000
1954	Mapa Geológico de España. Hoja nº 68, Camariñas	1:50.000
1955	Mapa Geológico de España. Hoja nº 67, Mugía	1:50.000
1956	Mapa Geológico de España. Hoja nº 298, La Guardia-Moledo	1:50.000
1957	Mapa Geológico de España. Hoja nº 69, Santa Comba	1:50.000
1958	Mapa Geológico de España. Hoja nº 93, Outes	1:50.000
1959	Mapa Geológico de España. Hoja nº 92, Finisterre	1:50.000
1960	Mapa Geológico de España. Hoja nº 45, Betanzos	1:50.000
1961	Mapa Geológico de España. Hoja nº 70, Órdenes	1:50.000
1962	Mapa Geológico de España. Hoja nº 46, Oza de los Ríos*	1:50.000
1963	Mapa Geológico de España. Hoja nº 299, Tomiño-Caminha	1:50.000
1963	Mapa Geológico de España. Hoja nº 22, Puentedeume	1:50.000
1963	Mapa petrográfico estructural de Galicia	1:400.000
1964	Mapa geológico de la provincia de La Coruña	1:200.000
1970	Mapa Geológico de España y Portugal. 5 ^a edición. Hoja 1-2: La Coruña, Lugo, Oviedo	1:400.000
1970	Mapa Geológico de España y Portugal. 5 ^a edición. Hoja 9-10: Orense, La Coruña, Lugo, Portugal, Pontevedra, Oviedo, León	1:400.000
1970	Mapa Geológico de España y Portugal. 5 ^a edición. Hoja 17-18: Portugal, Pontevedra, Orense, Salamanca, Zamora	1:400.000

Tabla 1. Cartografía geológica realizada por Isidro Parga Pondal y publicada por el IGME entre 1953 y 1970. *El nombre de la hoja se modificó a Guitiriz en la Segunda Serie 1:50.000 (plan MAGNA).

A pesar de que el encargo del IGME resultó ser de gran apoyo para el LXL, la exigencia del geólogo gallego consigo mismo era tan grande que le llevó a denunciar las dificultades con las que se estaba encontrando durante los trabajos de cartografía geológica, que calificó de prematuros al no disponer de una visión general previa sobre

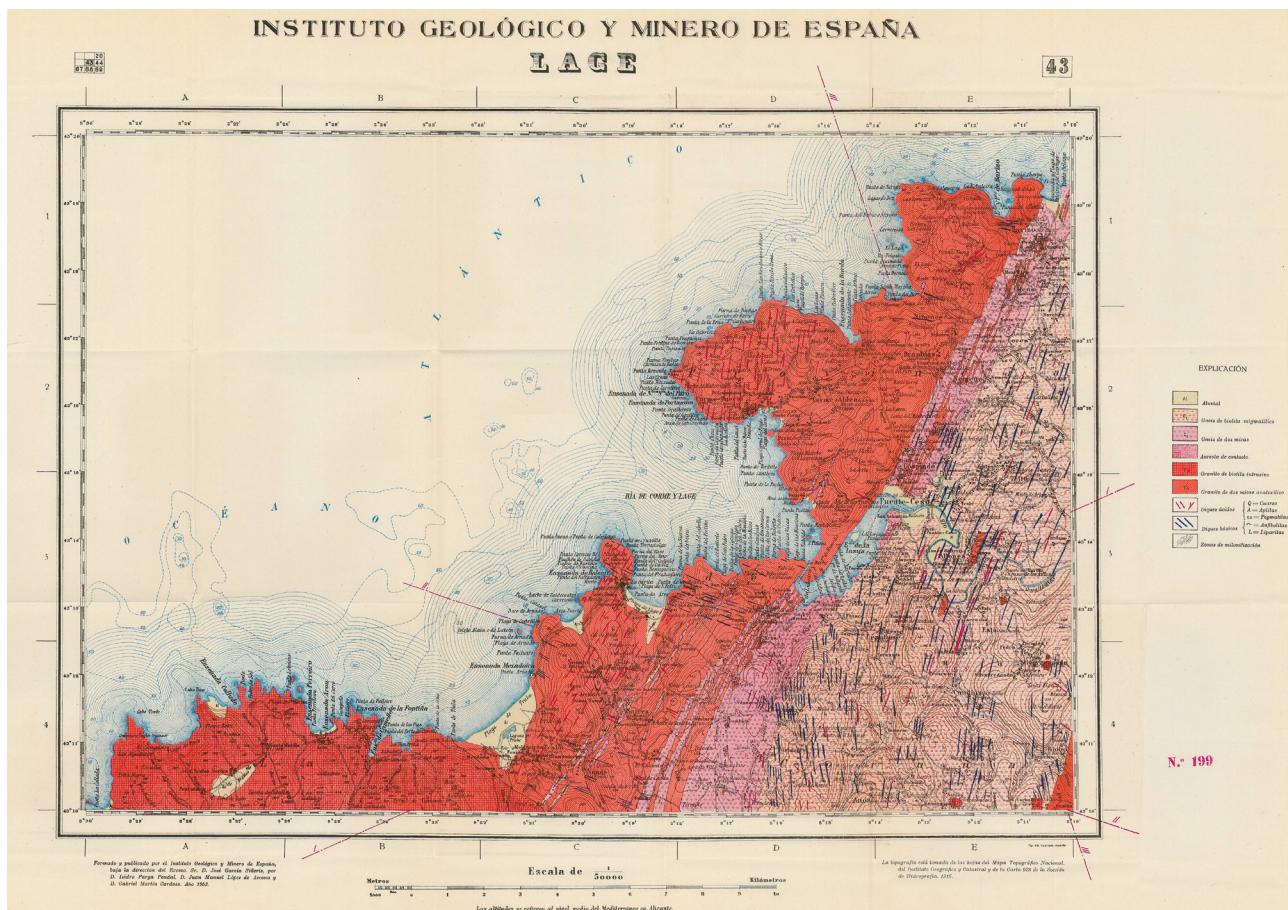


Fig. 3.- Hoja geológica de Lage a escala 1:50.000, confeccionada por Isidro Parga Pondal, Juan Manuel López de Azcona y Gabriel Martín Cardoso, y publicada por el Instituto Geológico y Minero de España en 1953. Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (CSIC).

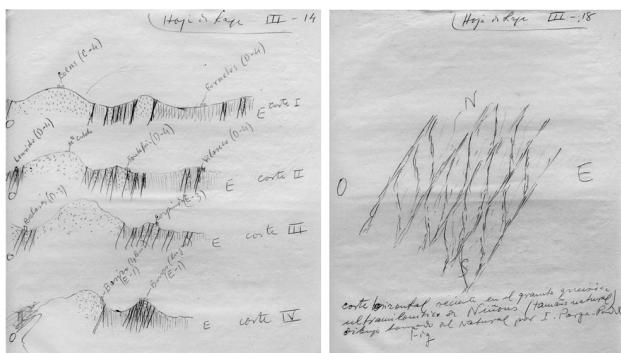


Fig. 4.- Dibujos originales de Isidro Parga Pondal, realizados para la memoria de la hoja geológica de Lage a escala 1:50.000. Izquierda, “contacto del granito de dos micas con los esquistos” (Parga Pondal *et al.*, 1953, fig. 5). Derecha, “corte horizontal en el granito gnéisico ultramylonítico de Niñones” (Parga Pondal *et al.*, 1953, fig. 6). Fondo Laboratorio Xeolóxico de Laxe, Centro de Documentación e Arquivo da Universidade da Coruña.

la geología gallega (Parga Pondal, 1958). Fue cuando se mostró muy crítico con los escasos medios económicos que el IGME destinaba para la elaboración de esta cartografía, y con la planificación incorrecta realizada desde Madrid. En su opinión, debería contarse previamente con un mapa geológico actualizado de Galicia, pues según él estaban trabajando sobre el realizado por Guillermo Schulz (1805-1877) en 1834, evidentemente desactualizado. Según Parga Pondal, el poder contar con un mapa de Galicia con una información más próxima a la realidad, permitiría homogeneizar criterios y simplificar el trabajo de los mapas 1:50.000. Señaló también que, para la realización del mapa geológico de Galicia, sería necesario abordar un plan sistemático previo, del que parecía carecer el IGME, similar al que él había iniciado desde su Laboratorio de Xeoquímica en los años previos a la Guerra Civil (Leonardo-Docanto, 2017).

Siendo consecuente con estas manifestaciones, Parga Pondal optó por abandonar los trabajos de cartografía geológica a escala 1:50.000 de las regiones gallegas, labor que no se retomó hasta la década de los setenta. De esta forma, el geólogo gallego cortó sus relaciones con el IGME, al menos de forma temporal^(nota 6). Así, tanto sus mapas como otras investigaciones que estaba realizando y que veían la luz en la revista de dicha institución (trabajos ya contemplados en los “estudios” que Hernández Sampelayo le propuso cuando comenzó su colaboración con el IGME), dejaron de ser publicados por el Instituto. No se trató, sin embargo, de una ruptura definitiva, como se verá a continuación.

La “Segunda Serie” del Mapa Geológico de España (plan MAGNA) e Isidro Parga Pondal

La última hoja de la primera serie del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 se imprimió en 1971, quedando sin confeccionar más de la mitad del territorio español, 442 hojas de un total de 1.180. En el caso de Galicia, Parga Pondal participó en hojas correspondientes a diversas áreas de la parte occidental del territorio gallego (Tabla 1). Pero, lógicamente, quedaba mucho por hacer para conocer con detalle la

geología gallega y, por extensión, la española. Y es que los mapas geológicos, como bien apuntó Pérez-Estaún (2005), se pueden considerar siempre como obras no finalizadas, en continua evolución. Por esta razón, el IGME dio comienzo a la segunda serie de la cartografía geológica a escala 1:50.000, el denominado plan MAGNA, que fue diseñado entre 1968 y 1970, años de bonanza económica en los que el Instituto recibió importantes fondos del Plan Nacional de Investigación Minera (Rodríguez Fernández, 2000, 2005; García Cortés, 2005; Pérez-Estaún, 2005). El objetivo del IGME con el plan MAGNA, que se prolongó a lo largo de 33 años, era producir mapas de calidad, con formatos, normas y metodología homogéneas, introduciendo además procedimientos de control de calidad. El primer paso fue la realización de síntesis a escala 1:200.000 de la cartografía geológica disponible, que pusiera de manifiesto los déficits existentes, algo que ya había apuntado don Isidro cuando se desvinculó de su colaboración con el IGME (Parga Pondal, 1958).

En 1969, el Instituto contactó nuevamente con Parga Pondal para recabar su colaboración y sus datos geológicos de Galicia para las hojas 1:200.000 de la región. Así, el propio director de la institución, Juan Antonio Gómez Angulo (1924-1989), escribió a don Isidro el 31 de octubre de aquel año:

“Como usted sabrá, este Instituto está confeccionando síntesis geológicas 1:200.000 de todo el país, que reflejen el estado actual de nuestra geología. Como ha de ser una labor rápida, para la zona de Galicia pensamos basarnos fundamentalmente en el mapa 1:500.000 últimamente publicado por el Servicio Geológico de Portugal. No obstante, sabiendo que Vd. posee en el laboratorio de Lage numerosos datos sobre la región, le agradecería que permitiera consultarlos a nuestros geólogos. Evidentemente en la publicación correspondiente daríamos el debido crédito a su aportación en la forma que Vd. considere más conveniente.

Cualquier autorización que Vd. juzgara conveniente pedirla a los autores correspondientes, nosotros nos encargaríamos de obtenerla de acuerdo con sus indicaciones.

Desearía que este principio de colaboración se extendiera en el futuro, cuando acometamos la ejecución del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, que tenemos el propósito de llevar a cabo.”

Esta comunicación confirmó, una vez más, la importancia de la tarea que Parga Pondal llevaba años realizando con sus estudios geológicos: el IGME solicitaba sus datos, y los obtenidos por aquellos investigadores europeos que él coordinaba. En el caso de Galicia, se vieron obligados, además, a recurrir al mapa 1:500.000 del que la institución se había desentendido^(nota 7). La respuesta del gallego (07/11/1968) fue la solicitud de una reunión con Gómez Angulo para tratar los detalles de esta colaboración entre el IGME y el LXL: “Como Vd. sabe este Laboratorio de Lage viene colaborando con ese Instituto Geológico desde el año 1952, por iniciativa de D. Agustín Marín y Beltrán de Lis y esta colaboración ha continuado sin interrupción hasta el

presente". Parga Pondal aceptó participar en el nuevo proyecto, aunque durante la negociación no debieron quedar claros los términos de la cooperación inicial con los mapas 1:200.000:

“En lo que se refiere a la zona NO. del país, que Vd. tan bien conoce, ha habido un mal entendimiento, que quizás haya sido culpa nuestra y que soy el primero en lamentar. Lo cierto es que, por una parte, respondiendo a un ofrecimiento suyo, nuestros geólogos estuvieron en Lage y no pudieron obtener la información que deseaban, y, por otra, la carrera contra reloj a que estamos sometidos, nos impidió entablar posteriores conversaciones, y hemos resuelto la zona gallega a base del mapa 1:500.000 existente, realizado por Vds. en colaboración con los portugueses.” (Carta de Gómez Angulo a Parga Pondal, 29/01/1970).

A pesar de estas palabras, la carta finalizó con un tono claramente conciliador, señalando que desde el IGME valoraban “profundamente su labor geológica efectuada por Vd. en Galicia”. También confirmaron que, si finalmente se consiguen los fondos necesarios para llegar a cabo el nuevo proyecto cartográfico, desde el Instituto se sentirían “muy honrados de encargar a los equipos que usted dirige o controla, tanto nacionales como extranjeros” la realización de las hojas de Galicia, pues de esta forma se conseguirían mapas de “gran profundidad científica y técnica”.

La respuesta de Parga Pondal (19/02/1970) fue una extensa carta en la que resumió las actividades del LXL en el último año, su labor de coordinación de las distintas escuelas de Geología que se dedicaban al estudio del “hercíniano y antehercíniano del NW de la Península Ibérica”, así como las reuniones para discutir sobre los últimos resultados de las investigaciones que habían realizado en 1965, 1967 y 1969. Volvió a recordar que el mapa 1:500.000 del noroeste de la Península había tenido que ser publicado por los Servicios Geológicos de Portugal y no por el IGME, “por las deficiencias en las impresiones que se venían haciendo”. También mencionó las negociaciones llevadas a cabo con el Consejo Económico Sindical Interprovincial del NW, entidad que reunía a los Consejos Económicos Sindicales de las cuatro provincias gallegas. Al parecer, el entonces ministro de Industria, Gregorio López-Bravo (1923-1985), recomendó que el IGME apoyase económicamente al LXL, para lo que habían tenido lugar varias reuniones entre el entonces director del Instituto Geológico, Félix Aranguren Sabas (1903-1984), y Parga Pondal. Así, se habían llegado a acuerdos verbales según los cuales las cartografías del IGME relativas al noroeste peninsular, a cualquier escala, debían estar “bajo el control directo del Laboratorio Geológico de Lage”. Los fines perseguidos por don Isidro eran la “unificación de criterios en representación e interpretación; realización por todos los autores que mejor conocieran la zona a cartografiar, publicación de solo aquellas cartografías que representaran mayor veracidad frente a la realidad y retención de las zonas que fueran aun insuficientemente conocidas”. El IGME propuso un periodo inicial de prueba, en el que el LXL entregó cuatro hojas 1:50.000, y la formalización del contrato se

pospuso hasta la consecución de un marco económico realista, ya que Parga Pondal consideró que la primera propuesta había resultado insuficiente.

En la misma carta de febrero de 1970, el gallego estableció un plazo aproximado de 15 años para finalizar las 165 hojas geológicas del noroeste de España, además de aclarar las causas del desencuentro que se produjo con las personas enviadas por el IGME a Laxe para consultar la información geológica con vistas a la realización de los mapas 1:200.000:

“Con mucho gusto hubiéramos colaborado con ese Instituto en la realización del mapa de recopilación que ahora se intenta realizar [...]. Sin embargo, las cartas recibidas (fechas 31 Octubre y 13 Noviembre 1969), así como las conversaciones celebradas aquí en Lage, más bien manifestaban el deseo del Instituto Geológico y Minero de España de que permitiéramos a sus equipos de geólogos realizar esta labor con nuestros datos inéditos. Esto no es agradable, pero aun así lo hubiéramos permitido si de este modo se hubiera hecho una mejor labor, pero usted se dará perfecta cuenta que el gran cúmulo de datos inéditos que posee este Laboratorio o las distintas Escuelas que colaboran con él, no pueden ser reordenados ni uniformizados de manera correcta más que por los autores de los mismos, los mejores conocedores de cada zona y los especialistas de estos temas de geología”.

A pesar de ello, Parga Pondal se mostró totalmente dispuesto a colaborar en el nuevo proyecto de cartografía geológica, sin dejar de señalar algunas deficiencias. Entre ellas, consideró que la síntesis que se estaba llevando a cabo, con mapas 1:200.000, no era correcta, ya que deberían usarse escalas todavía más pequeñas, como 1:400.000 o 1:500.000, así como la constatable ausencia de uniformidad en los criterios de interpretación y representación, subsanable con la participación de expertos que tuvieran una visión de conjunto y conocimientos actualizados. Finalmente, Parga Pondal manifestó su total interés y adhesión al proyecto, tanto por parte del LXL como de los equipos nacionales y Escuelas extranjeras colaboradoras de su laboratorio, estando en condiciones de responsabilizarse de la “ejecución de las Hojas Geológicas de toda Galicia y de las partes colindantes de Asturias, León y Zamora”, a realizar en el plazo de doce años, a partir de 1972.

La respuesta del IGME se demoró bastante. El 9 de noviembre de 1971, José Ignacio Izaguirre Rimmel (?-1991), el nuevo director del IGME, informó al LXL que, de cara a las posibles contrataciones que el Instituto tendrá que llevar a cabo para la realización del plan MAGNA, necesitaba conocer el nombre y número de las hojas 1:50.000 que tuvieran ya finalizadas, pero no publicadas, el grado de detalle de dicha cartografía y el objetivo que se persiguió con dicho trabajo. Una carta con idéntico contenido fue remitida a Parga Pondal nueve días después, en este caso por Manuel Alvarado Arrillaga (1929-2013), jefe de la División de Geología del IGME.

Diez días después, don Isidro respondió al IGME mostrando una cierta hostilidad:

“1. Este Laboratorio actualmente tiene cartografías, con datos en parte no publicados, todas las hojas de Galicia, Asturias, León y Zamora, comprendidas en las Unidades Geológicas de contratación 1 y 2 del proyecto MAGNA.

Aunque ese Instituto tiene publicadas varias hojas 1:50.000 de estas zonas, es evidente que, en gran parte de ellas, la cartografía y la interpretación han sido ampliamente superadas.

2. El grado de detalle de la cartografía es, a nuestro juicio, adecuado a la escala del proyecto y es grande la homogeneidad de interpretación lograda para toda la región.

3. El objetivo de nuestra cartografía ha sido siempre la investigación geológica pura, en las siguientes especialidades: Petrografía, Metamorfismo, Tectónica, Estratigrafía y Paleontología; y en menor grado se han realizado investigaciones mineralógicas.”

A pesar de ello, volvió a expresar el interés del LXL por participar en el proyecto, manifestando estar dispuesto a poner a disposición del IGME “todos nuestros datos y conocimientos”. Sin embargo, sus esperanzas se vieron truncadas con la nueva carta de Alvarado. El jefe de la División de Geología del IGME, además de agradecer la información remitida sobre los trabajos que el LXL estaba llevando a cabo en la región gallega (en la que el Instituto tenía un especial interés por su potencial minero), explicó la forma en la que el Instituto tenía previsto realizar las contrataciones externas para el plan MAGNA:

“Desgraciadamente y en virtud de las leyes vigentes, este Instituto sólo puede contratar con las sociedades particulares inscritas en el Registro de Empresas Consultoras del Ministerio de Industria. No obstante, y como con buena voluntad se pueden resolver todos los problemas, la empresa Geotehic, encargada de ayudarnos a confeccionar durante el año 72 las Hojas 154, 155, 187 y 188 y la sociedad Ibergesa, encargada de ayudarnos a confeccionar durante el año 72 las Hojas 225, 226, 263, 264, 301, 302 y 336, se pondrán en breve en contacto con Vd. para llegar a una fórmula de colaboración eficaz y provechosa para todos.”

La legislación a la que se refería Alvarado, por la que el LXL no podía concurrir a las contrataciones al no ser una empresa, obligaba a Parga Pondal a pasar de ser coordinador de las investigaciones geológicas de algunas de las Escuelas de geología más importantes de Europa, a un simple colaborador o técnico de una empresa privada. Esto, junto con la dificultad para llegar a acuerdos económicos aceptables, debió de ser el motivo por el que el LXL finalmente no participó en las nuevas hojas 1:50.000 del noroeste de España. Sin embargo, y como es perceptivo, sus trabajos sí se tuvieron en cuenta, incluso algunos de ellos inéditos, como en la hoja de Camariñas, en la que se citó una memoria que Parga Pondal tenía finalizada para la “primera serie” 1:50.000, pero que no se llegó a publicar.

Las hojas a escala 1:50.000 en las que don Isidro con-

sideraba que debería haber colaborado fueron finalmente subcontratadas a diferentes empresas, debido al plazo de realización del nuevo plan cartográfico, estimado en 16 años, y a que el IGME no disponía de un equipo humano suficiente para llevarlo a cabo. Fueron empresas como Adaro, Iminsa o Ibergesa las que realizaron estas hojas geológicas, que contaron además con asesores externos, geólogos españoles y extranjeros que habían desarrollado investigaciones o realizado sus tesis doctorales en las zonas cartografiadas. Muchos de estos expertos españoles constituyeron la denominada “generación MAGNA”, surgiendo también durante esos años numerosas empresas bajo la cobertura de dicho plan (Pérez-Estaún, 2005).

A pesar de este desencuentro, no se puede dejar de mencionar el importante papel que desempeñó Parga Pondal para que el plan MAGNA en Galicia saliera adelante, pues había sentado las bases para los estudios posteriores, sin las cuales hubiera sido difícil que Galicia fuese la primera región de España que dispuso de las nuevas hojas 1:50.000 (Ferrero, 2013).

En cambio, el IGME sí utilizó los datos del LXL para varios mapas 1:200.000, las síntesis de las cartografías existentes, como en las hojas 1 (La Coruña), 2 (Avilés), 7 (Santiago de Compostela), 8 (Lugo), 16/26 (Pontevedra-La Guardia), 17 (Ourense), 27 (Verín), 28 (Alcañices, Zamora) y 46 (Cuenca y Guadalajara), todas ellas publicadas en 1970. Además, y siguiendo las recomendaciones de Parga en su carta del 17/10/1967, el IGME publicó en 1970 las nuevas ediciones, a escala 1:400.000, de las hojas que afectaban a terrenos gallegos del Mapa Geológico de España y Portugal, las 1-2, 9-10 y 17-18 (ver Tabla 1), realizadas por Isidro Parga Pondal y Juan Manuel López de Azcona.

La internacionalización del Laboratorio Xeolóxico de Laxe y su relevancia en la cartografía geológica gallega

El primer mapa geológico elaborado por Parga Pondal, y no publicado por el IGME, fue el de la parte noroccidental de la provincia de A Coruña (a escala 1:400.000). Fue editado por la revista holandesa *Leidse Geologische Mededelingen* en 1956 con su correspondiente memoria explicativa. La razón por la que este mapa se imprimió ahí fue la excelente relación que don Isidro había establecido con distintos grupos de geólogos de otros países. Entre ellos los holandeses Lamoraal Ulbo de Sitter (1902-1980), con cuya esposa don Isidro había coincidido durante una estancia en Zurich becado por la JAE, Willem Paul de Roever (1917-2000) y Emile den Tex (1918-2012); también los franceses Philippe Matte y Ramon Capdevila, de la Universidad de Montpellier; o los profesores René Coppens (1911-1996), de la Universidad de Nancy, y Henri Nonn (1929-2017), de Estrasburgo; además de Robert Shakleton (1909-2011), de la Universidad de Liverpool. Estos investigadores incidieron de una forma importante en el LXL, colaborando en el avance de los conocimientos geológicos de la región y confiriéndole una destacada relevancia internacional.

El interés de estas escuelas extranjeras por la geología de la península Ibérica se inició en el Congreso Geológico Internacional celebrado en Madrid en 1926. Aunque

geólogos extranjeros ya habían realizado con anterioridad diversos estudios en España, es a partir de este congreso cuando estas investigaciones experimentaron un nuevo impulso (Ayala-Carcedo *et al.*, 2005). Además, la importancia minera del noroeste de España propició la diversidad de centros de investigación que se involucraron en la geología gallega. La mayoría de estos grupos de geólogos trabajaron de forma independiente y sin relación con investigadores españoles, pero la eficaz relación establecida por Parga Pondal con varias de estas escuelas fue novedosa y digna de destacar (Pérez-Estaún, 2005). El geólogo Peter Floor, de la Universidad de Leiden, lo recuerda así: “Tenía un espíritu excepcionalmente abierto hacia los extranjeros, sorprendente en un español de esa época” (Martínez Delgado, 2009).

La escuela holandesa, la primera en iniciar sus trabajos en el noroeste peninsular, se interesó por que sus alumnos realizaran estudios geológicos detallados en la región para completar su periodo de formación (Floor y Arps, 2003). Los tutores de estos alumnos solicitaron a don Isidro poder disponer de un mapa geológico del noroeste de Galicia, que sirviera de base para estudios posteriores. El resultado fue el trabajo de Parga Pondal (1956) *Nota explicativa del Mapa Geológico de la parte N.O. de la Provincia de La Coruña (con un mapa geológico en colores a escala 1:400.000)*.

Cuatro años más tarde, Parga Pondal (1963) finalizó el *Mapa petrográfico estructural de Galicia*, a escala 1:400.000 (Fig. 5), publicado por el IGME en 1963 (Tabla 1). Fue el resultado del empeño de don Isidro por disponer de un mapa geológico de la región con una representación “uniforme y coordinada”, para lo que se decidió “a recorrer toda Galicia recogiendo y clasificando la máxima información posible, que resumí en mi Mapa Petrográfico y Estructural de Galicia. [En él] se dio por primera vez una visión conjunta y real de la estructura geológica de Galicia” (Parga Pondal, 1973).

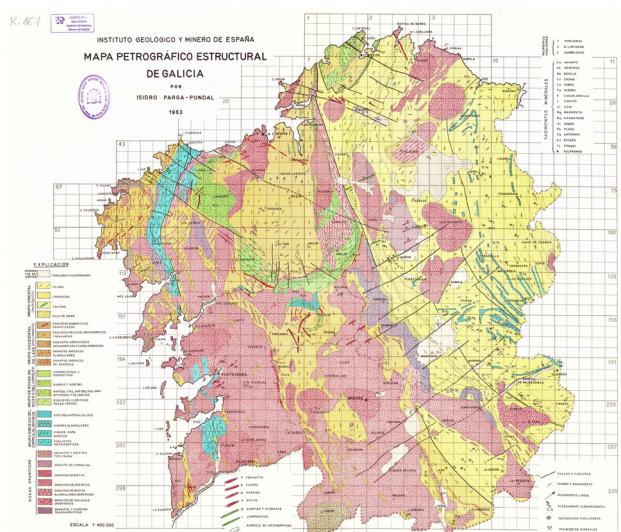


Fig. 5.- *Mapa petrográfico estructural de Galicia*, a escala 1:400.000 (Parga Pondal, 1963). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (CSIC).

También de 1963 es el *Mapa geológico de Galicia* a escala 1:2.000.000 y, un año después, el IGME publicó, con la colaboración de la Diputación de A Coruña, el *Mapa geológico de la Provincia de La Coruña* a escala 1:200.000 (Fig. 6). En 1966, el IGME imprimió el *Mapa sismoestructural de la Península Ibérica, Baleares y Canarias*, a escala 1:1.000.000, en el que Parga Pondal figuró entre sus numerosos coautores. Ese mismo año se editó también el *Mapa geológico de la provincia de La Coruña* a escala 1.000.000, acompañado por el trabajo *Datos geológico-petrográficos de la provincia de La Coruña*, en el que don Isidro resumió gran parte de sus conocimientos sobre la geología gallega (Parga Pondal, 1966a).

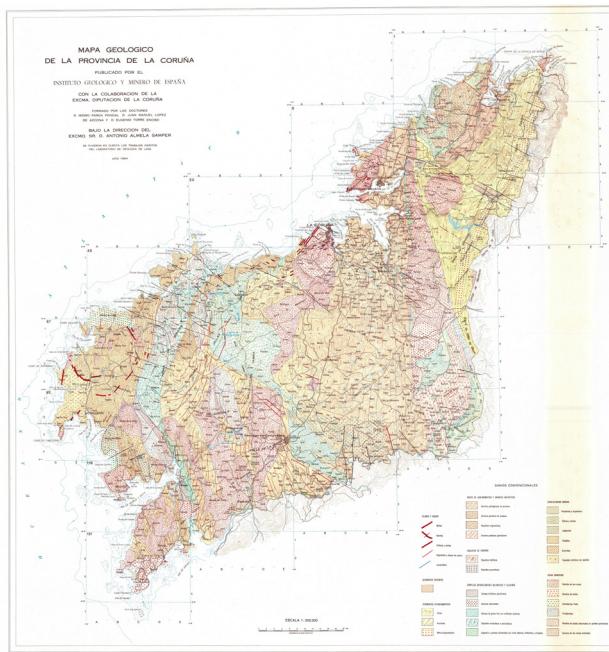


Fig. 6.- *Mapa geológico de la Provincia de La Coruña*, a escala 1:200.000 (Parga Pondal, López de Azcona y Torre Enciso, 1964). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (CSIC).

En 1967 se publicó, bajo la dirección de Parga Pondal, la *Carte géologique du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique (Hercynien et Ante-Hercynien)* a escala 1:500.000 (Fig. 7), promovida desde el LXL (Parga Pondal, 1967). El título del mapa se redactó en francés siguiendo la tradición geológica que se remontaba al siglo XIX. La edición fue el resultado de la cooperación entre el LXL y los grupos de geólogos portugueses y holandeses: el mapa se dibujó en la Universidad de Leiden bajo la supervisión de Peter Floor, y fue publicado por los Servicios Geológicos de Portugal. Por tratarse de un mapa transfronterizo, estos últimos contaban con la autonomía administrativa de incluir cartografías del país vecino en sus ediciones, sin que fuera necesaria la intervención del IGME.

Las reuniones del “Grupo de Geólogos del Noroeste Peninsular”

Las redes de colaboración que se crearon desde el LXL, bajo el impulso firme y constante de don Isidro, fruc-

tificaron en el denominado “grupo de geólogos del NW” (Teixeira, 1969; Parga Pondal, 1973; Leonardo-Docanto, 2013b) que, como ya se ha apuntado anteriormente, aglutinó a investigadores interesados por el Hercínico^(nota 8) de las universidades de Oviedo, Santiago, Lisboa, Coimbra, Leiden, Erlangen, Münster, Zurich, Montpellier, Burdeos y

Poitiers. En 1962, Llopis Lladó organizó en la Universidad de Oviedo la “Primera Reunión Nacional de Geología”, con el objetivo de reunir a los estudiosos del Hercínico español. Se trató sin duda del antecedente de las reuniones que Parga Pondal promovería desde el LXL en 1965, 1967 y 1969, conjuntamente con los geólogos portugueses.

La “Primera Reunión sobre Geología de Galicia y Norte de Portugal” fue proyectada por Isidro Parga Pondal, Carlos Teixeira (1910-1982), Emile den Tex y Luis Carlos García de Figuerola (1922-2007) con el objetivo “de coordinar los presentes y futuros estudios y trabajos sobre geología del NW peninsular, incluyendo en esta denominación Galicia, el Norte de Portugal y la parte paleozoica de las provincias de Asturias, León y Zamora” (Parga Pondal, 1966b). La reunión tuvo lugar entre el 6 y el 13 de septiembre de 1965, con sesiones en Santiago de Compostela y excursiones por Galicia y el norte de Portugal. Las actas se publicaron en el volumen 36 (1966) de la revista holandesa *Leidse Geologische Mededelingen*. A consecuencia de la reunión se constituyó formalmente el “Grupo de Geólogos del Noroeste Peninsular” y se acordó la confección del mapa geológico a escala 1:500.000 de Galicia, norte de Portugal y la zona astur-leonesa, ya mencionado anteriormente, con los datos que tenía ya reunidos el grupo.

La segunda reunión se celebró entre el 4 y el 11 de septiembre de 1967. Las sesiones tuvieron lugar en Santiago (Fig. 8) y en la localidad portuguesa de Chaves, y las excursiones discurrieron por Galicia y la región portuguesa de Trás-os-Montes. Los Servicios Geológicos de Portugal editaron las actas (Teixeira, 1969). Por último, el tercer encuentro tuvo lugar también en Galicia (Santiago) y Portugal (Braga), entre el 1 y el 7 de septiembre de 1969, con excursiones en ambos países. En esta ocasión, el IGME se brindó a la publicación de las actas en su revista, el *Boletín Geológico y Minero* (1970, nº 2-3). Podemos pensar que esta institución, con la que Parga Pondal había tenido sus diferencias en tiempos pasados, no pudo dejar de reconocer los buenos resultados del LXL y los éxitos cosechados en las reuniones anteriores. Así, esta colaboración podría haber estado enmarcada en un nuevo acercamiento del IGME al laboratorio gallego en unos momentos en que se estaba preparando el nuevo proyecto de cartografía geológica a escala 1:50.000.

En una segunda etapa, y tras el traslado del LXL a las instalaciones del Seminario de Estudios Cerámicos de Saraguelos en O Castro (Sada, A Coruña), entre 1979 y 1994 se organizaron diecisésis reuniones anuales sobre la geología y la minería del noroeste peninsular (Vidal Romaní, 2009). Se recuperó así el espíritu innovador de las convocatorias

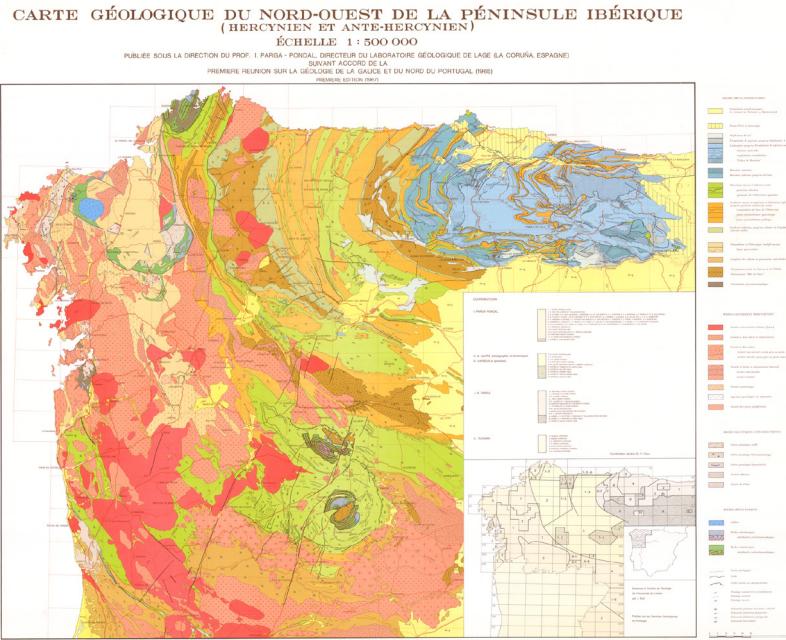


Fig. 7.- *Carte géologique du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique (Hercynien et Ante-Hercynien)*, a escala 1:500.000 (Parga Pondal, 1967). Instituto Universitario de Xeoloxía “Isidro Parga Pondal” [https://www.iux.es/pdf/Descargas_Parga_Pondal_1965.pdf].



Fig. 8.- Grupo de participantes en la segunda reunión sobre la geología del noroeste peninsular, celebrada en septiembre de 1967 (en Teixeira, 1969). La fotografía está realizada en el Instituto de Investigaciones Geológicas, Edafológicas y Agrobiológicas de Galicia del CSIC (actual Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia), en Santiago de Compostela, que fue la sede española de la reunión. Isidro Parga Pondal (primera fila, quinto por la derecha) se encuentra flanqueado por Manuel Julivert, a su derecha, y por Emile den Tex a su izquierda. En la fotografía ha sido posible reconocer también a otros profesores e investigadores que, junto a don Isidro, fundaron el grupo de geólogos del noroeste peninsular. Entre ellos los portugueses Carlos Teixeira y Carlos Fernando Torre Assunçao, los holandeses Peter Floor y Dick Hilgen, los franceses Ramón Capdevila y Phillippe Matte, y los españoles Luis Carlos García de Figuerola y Jaime Truyols.

de los años 60, incorporándose al “Grupo de Geólogos del Noroeste peninsular” inspirado por Parga Pondal, la nueva generación de investigadores que trabajaban en el Varisco de Galicia y de otras regiones peninsulares (Fig. 9).



Fig. 9.- Isidro Parga Pondal en el Laboratorio Xeolóxico de Laxe junto al modelo en relieve del *Mapa petrográfico estructural de Galicia*, acompañado por geólogos de la Universidad de Oviedo (ca. 1980). De izquierda a derecha, Fernando Bastida Ibáñez, Jorge Marquínez García, Francisco Javier Álvarez Pulgar, Alberto Marcos Vallaure, Isidro Parga Pondal, Andrés Pérez-Estaún y Enrique Ortega Gironés. Fondo Laboratorio Xeolóxico de Laxe, Centro de Documentación e Arquivo da Universidade da Coruña.

El último gran proyecto: el mapa geológico del Macizo Hespérico peninsular a escala 1:500.000

El proyecto de realizar un mapa actualizado del Macizo Hespérico^(nota 9), con criterios unificados, surgió en la sesión de clausura de la I Reunión sobre la Geología del SO peninsular, celebrada en Badajoz en agosto de 1970. José Ramón Parga Peinador (1936-1978), hijo menor de Isidro Parga Pondal y geólogo, recibió el encargo de coordinar el proyecto. En 1978, con el mapa sin acabar, José Ramón falleció. La importancia del proyecto y el interés del padre en que dicho mapa constituyera la obra póstuma del trabajo que estaba realizando su hijo, le llevó a tratar de finalizarlo. Esto fue posible gracias a la colaboración de los profesores Ramón Vegas Martínez, de la Universidad Complutense de Madrid, y Alberto Marcos Vallaure (1944-2022), de la Universidad de Oviedo, ambos compañeros del hijo de don Isidro. El trabajo continuo, consensuado desde el LXL, permitió que la obra se acabase. El borrador del mapa se presentó en la 2^a Reunión de Geología y Minería del Noroeste Peninsular, celebrada en diciembre de 1980 en O Castro (Sada, A Coruña), a donde se había trasladado el LXL el año anterior^(nota 10).

Quedaba por encontrar una institución que se hiciera cargo de su impresión. Parga Pondal estimó que el IGME podría hacerlo, teniendo en cuenta las colaboraciones que habían mantenido en épocas anteriores. Al parecer, durante una reunión posterior en O Castro, tras conocer el borrador del mapa, algunos miembros del IGME se habían ofreci-

do a intentar que sus superiores decidiesen colaborar en el proyecto. Con esta intención, Parga Pondal escribió a Mariano Ricardo Echevarría Caballero, director general del IGME entre 1980 y 1983^(nota 11). Tras exponer en su carta la importancia de la obra, que recogía “el trabajo de muchos investigadores del Hercínico peninsular a lo largo de casi 40 años”, así como la recopilación de miles de datos de decenas de investigadores y muchas instituciones científicas, entre las que destacaba de forma notable el IGME:

“Dado que uno de los puntos más importantes en este tipo de trabajos es conocer con antelación, el número mínimo de ejemplares de la tirada, la intención por parte del Laboratorio Geológico de Laxe sería en principio dedicar íntegramente la ayuda que el IGME estuviese dispuesto a conceder a esta entidad, para adquirir un número determinado de ejemplares, según la cuantía de la misma, lo que permitiría asegurar un determinado éxito de la edición.”

La respuesta del IGME enfrió en gran medida las expectativas de Parga Pondal. El 14 de abril de 1982, Juan Ramón Vidal Romaní^(nota 12), secretario del LXL, recibió la siguiente contestación de la dirección de la institución:

“En primer lugar, quiero dejar constancia que el IGME, como institución, no se ha planteado la necesidad de intervenir en la realización o financiación de este mapa y únicamente se suscitó tal eventualidad ante la pública petición de colaboración hecha por el Laboratorio Xeolóxico de Laxe en la III Reunión sobre Xeoxoxía e Minería do NO.”

A pesar de ello, desde el IGME se mostraron dispuestos a la colaboración a través de su servicio de Publicaciones:

“El Instituto que dirijo recibe con agrado la invitación a colaborar en la edición de dicho mapa, para lo cual ruego que los técnicos que se están ocupando de dicha edición, se pongan en contacto con nuestro ingeniero Francisco Herrera Ortiz, para concretar la forma de nuestra colaboración y hacerla efectiva a continuación.” (Carta del director del IGME al LXL, 07/10/1982)

Vidal Romaní contactó, pues, con Francisco Herrera, jefe de la División de Informática, Documentación y Difusión del IGME, el 2 de noviembre de 1982, con los datos sobre el estado actual del mapa y lo necesario para su impresión: ya se habían realizado las planchas, se había comprado el papel, la tirada prevista era de 2.000 ejemplares y la impresión la iba a realizar el Instituto Geográfico Nacional. Los gastos ascendían a 1.100.000 pesetas, y consideraban que esa sería la cantidad definitiva. Desde el LXL solicitaron que el IGME ayudase “en la cuantía que considerara usual en estos casos a los gastos antes aludidos”, mostrándose dispuestos a dejar en depósito “el número que el IGME considere conveniente para sus necesidades e intereses”.

La última carta que se conserva de esta serie (02/12/1982) es la respuesta del IGME. Herrera comunicó al LXL las condiciones para que el Instituto colaborase económicamente en la edición del trabajo. Entre ellas, que se deberían imprimir 2.500 ejemplares, de los que 1.500 serían entregados al LXL y 1.000 al IGME “para sus necesidades e intereses”, la modificación de la cabecera del mapa, con los autores, el IGME como editor, los colaboradores, las áreas cubiertas por cada uno de ellos o las publicaciones consultadas, debiéndose resaltar las que pertenecieran a dicho instituto.

A pesar de lo avanzadas que parecían las negociaciones, se produjo un último desencuentro: el Instituto Geológico no sufragó finalmente los gastos de impresión del mapa. De forma similar a lo que había sucedido en las negociaciones para que Parga Pondal colaborase con las hojas 1:50.000 del plan MAGNA, la correspondencia entre don Isidro y el IGME no desvela los motivos de tal ruptura. Tampoco los Servicios Geológicos de Portugal, que en 1967 habían editado la *Carte géologique du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique (Hercynien et Ante-Hercynien)* a escala 1:500.000, mapa que se puede considerar el antecedente del que entonces se trataba de publicar, sufragó la publicación de esta importante obra.

El *Mapa geológico del Macizo Hespérico* a escala 1:500.000 (Parga Pondal *et al.*, 1982) fue finalmente financiado en su totalidad por Isaac Díaz Pardo (1920-2012), intelectual gallego con el que Parga Pondal tenía una gran amistad, e impreso en los talleres del Instituto Geográfico Nacional (Fig. 10). Constituyó, según Vidal Romaní (comunicación personal, 21/04/2022) “una especie de magnífico regalo de Isaac Díaz Pardo” y recogió el ingente trabajo de muchas universidades y geólogos, principalmente europeos, permitiendo disponer de una visión unitaria y homogénea del Hercínico peninsular. En palabras del propio don Isidro, se trató de

“una obra colosal. Este mapa estaba dirigido por mi hijo José Ramón, y hoy día está dirigido por los compañeros de él, que son los que lo han terminado. Es una obra, como digo, colosal, y que ha sido ya utilizada por la Comisión del Mapa de Europa, para ser acoplado al mapa de Europa, que se está haciendo. Este mapa será utilizado en todos los trabajos ulteriores que se hagan, en los estudios múltiples en que son utilizados, las cartografías geológicas de más categoría y de

más responsabilidad.” (Entrevista de Radio Coruña a Isidro Parga Pondal, 07/12/1980).

Conclusiones

El carácter meticuloso de Isidro Parga Pondal, propio del excelente analista químico que fue, también se puso de manifiesto a la hora de conservar la documentación relativa a sus trabajos o investigaciones. Esto ha permitido profundizar con cierto detalle en la relación de Parga Pondal con el IGME, con sus éxitos conjuntos y con los que, por diferentes vicisitudes, no pudieron llegar a tales.

La correspondencia entre el geoquímico gallego y dicha institución, núcleo del presente trabajo, ha puesto de manifiesto que don Isidro estuvo a la altura de los mejores geólogos de España, sin haber cursado dicha carrera. Aunque el comienzo de sus colaboraciones con el IGME fue fruto de la circunstancia de haber coincidido con el ingeniero de minas Primitivo Hernández-Sampelayo en el Seminario de Estudios Galegos, la valía de Parga Pondal queda fuera de toda duda si tenemos en cuenta que fueron varios directores del IGME (Agustín Marín, Félix Aranguren, Juan Antonio Gómez Angulo y José Ignacio Izaguirre)

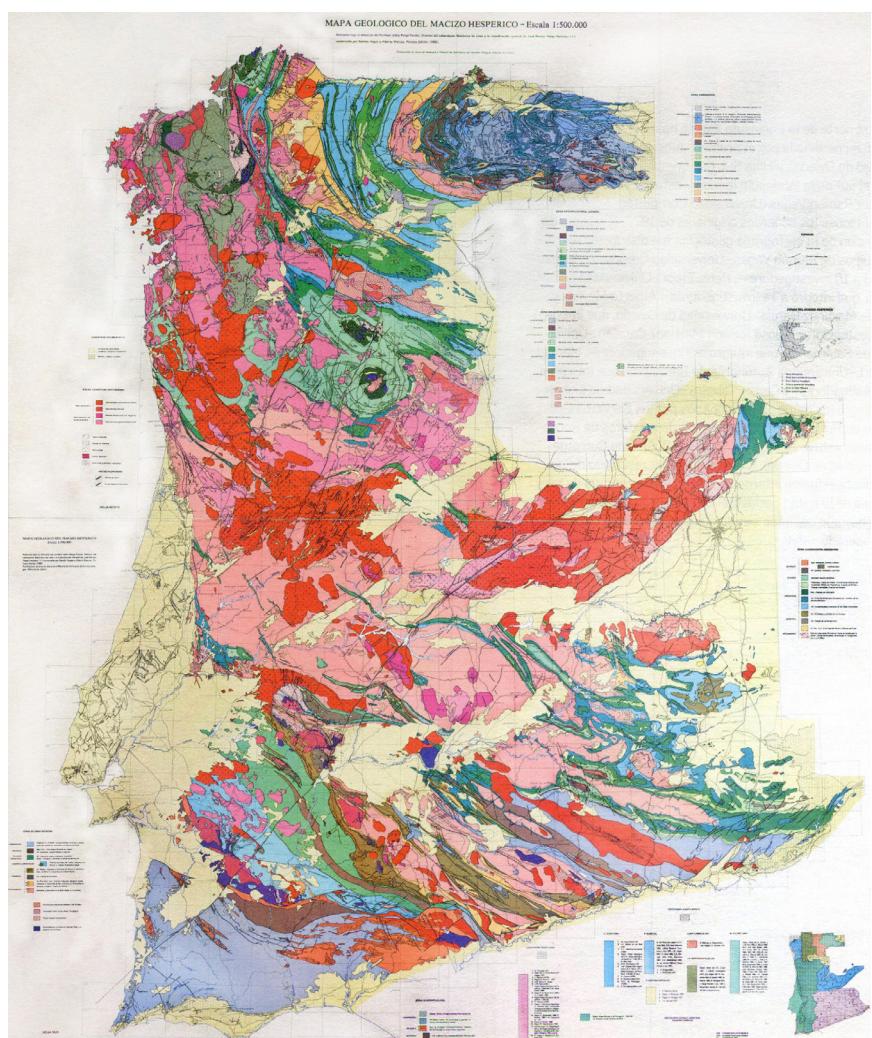


Fig. 10.- *Mapa geológico del Macizo Hespérico* a escala 1:500.000 (Parga Pondal *et al.*, 1982). Imagen cedida por Juan Carlos Gutiérrez-Marco (IGEO, CSIC-UCM).

los que solicitaron su colaboración, los datos de sus trabajos de campo o los de los equipos internacionales para los que representó un nexo de unión, fomentando debates sobre los estudios geológicos realizados por las diferentes escuelas, que permitieron el destacado avance en el conocimiento de la geología del NO peninsular.

El perfeccionismo de Parga Pondal le condujo a ser exigente consigo mismo y a tener unas polémicas con la institución geológica más importante de España. Fue crítico con la planificación del proyecto de cartografía geológica del IGME, a la vez que ofreció soluciones y alternativas. La desconfianza de don Isidro hacia el IGME y a todo lo “oficial”, revelada en su epistolario, fue probablemente fruto de su experiencia vital: su expulsión de la Universidad, el proceso de depuración al que fue sometido, las colecciones o investigaciones de su época universitaria que nunca llegó a recuperar, así como las consecuencias que ello le acarreó a nivel personal y profesional. Las reticencias para ceder los datos de sus trabajos o de sus colecciones al IGME son un recuerdo de lo que tuvo que abandonar, a la fuerza, de su época universitaria.

Cuestiones principalmente burocráticas impidieron que algunos proyectos de Parga Pondal con el IGME no pudieran llegar a ver la luz. Destaca la imposibilidad de participación del gallego en el plan MAGNA; es muy probable que, si su hijo José Ramón Parga Peinador no hubiese fallecido, el LXL se hubiera convertido en una entidad colaboradora de dicho plan. Otro punto de desencuentro fue el desinterés del IGME por colaborar con el mapa geológico del Macizo Hespérico peninsular, obra que tuvo un gran componente emotivo para don Isidro.

La relación de Isidro Parga Pondal con el IGME se puede definir como de una necesidad mutua, de interdependencia. El gallego requería de los medios e instalaciones del Instituto para poder realizar sus investigaciones y publicar sus trabajos, demostrando, en cierta forma, tanto a la comunidad científica como a la Universidad que, aún sin medios, podía convertirse en un científico de primer orden. El IGME, por su parte, necesitaba de él para poder desentrañar los secretos de la complicada geología gallega. Para ello constituyó un equipo de trabajo muy especial formado por un profesor universitario expulsado de su puesto académico (y nunca repuesto), como Parga Pondal, junto a un catedrático depurado, aunque luego “perdonado” (Gabriel Martín Cardoso) y un ingeniero del IGME como supervisor, Juan Manuel López de Azcona. La necesidad del Instituto por disponer de los datos del LXL fue tal, que trataron incluso de conseguirlos sin contar con la aquiescencia del geoquímico gallego. En cualquier caso, el IGME incorporó en sus mapas la información obtenida por Parga Pondal y por las escuelas de geología que él coordinó desde el Laboratorio Xeolóxico de Laxe, lo que permitió, entre otros logros, que fuese Galicia la primera región de España en tener completa la cartografía geológica a escala 1:50.000.

Notas

¹ Fondo Laboratorio Xeolóxico de Laxe. Centro de Documentación e Arquivo (CEDAR) da Universidade da

Coruña. Carpeta IGME: correspondencias con Manuel Alvarado Arrillaga, Mariano Ricardo Echevarría Caballero, Juan Antonio Gómez Angulo, José Ignacio Izaguirre Rimmel; presupuestos de la primera serie de las hojas geológicas 1:50.000. Carpeta: correspondencia con Primitivo Hernández-Sampelayo. Carpeta: correspondencia con Francisco Herrera Ortiz. Carpeta: correspondencia con Juan Manuel López Azcona. Carpeta: correspondencia con Gabriel Martín Cardoso. Carpeta: correspondencia con Eugenio Torre Enciso. Carpeta: páginas sueltas y traducción de cartas de Suiza.

Juan Ramón Vidal Romaní (2019), “Parga Pondal, científico, empresario y minero”. Disponible en <https://minariasostible.gal/es/parga-pondal-cientifico-galeguista-y-minero-2/>

Entrevista grabada por Francisco J. Leonardo Docanto a Jorge Parga Peinador, 16/08/2010. Archivo del autor.

² Correspondencia entre Conrad Burri y el mineralogista madrileño Gabriel Martín Cardoso, 07/06/1935. Una carta similar, esta vez de Paul Niggli, confirmó el excelente analista que era Parga Pondal. Archivo LXL, CEDAR, Universidad de A Coruña.

Gabriel Martín Cardoso (1896-1954), fue catedrático de Historia Natural en los Institutos de Castellón y de Teruel. Fue becario de la JAE en Múnich, donde estudió bajo la dirección de Paul von Groth, y en Leipzig, con Friedrich Rinne. En 1927 regresó a Leipzig con una ayuda de la Fundación Humboldt. En 1932 obtuvo la cátedra de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad Central y fue nombrado jefe de la sección de Mineralogía del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Al finalizar la Guerra Civil fue separado de su cátedra universitaria, en la que fue repuesto en 1947. Paul Niggli (1888-1953) obtuvo en 1911 el doctorado y completó su formación en el Instituto de Física y Química de la Technische Hochschule de Karlsruhe y en el Laboratorio Geofísico de la Carnegie Institution en Washington. Entre 1913 y 1920 fue *privatdozent* de Mineralogía y Petrografía en la ETH (Eidgenössische Technische Hochschule, Zurich), y en 1920 fue nombrado catedrático de dicha institución, de la que fue rector entre 1928 y 1931. Conrad Burri (1900-1987) fue ayudante de Paul Niggli desde 1925. Su tesis versó sobre la química de rocas volcánicas del océano Pacífico. Entre 1930 y 1932 fue *privatdozent* de Mineralogía y Petrografía en la ETH, y entre 1932 y 1954 fue profesor asociado de las mismas enseñanzas, de las que fue catedrático entre 1954 y 1970. La ETH es una importante institución relacionada con el desarrollo industrial y tecnológico de Suiza, en la que importantes investigadores fueron alumnos o docentes. Abrió sus puertas en el otoño de 1855 y, desde el momento de su fundación, trató de combinar la docencia teórica con la instrucción de clases prácticas. Parga Pondal fue becado en dicha institución entre 1930 y 1931 para completar sus conocimientos de geología y geoquímica.

³ Esta doble nomenclatura se debió a que el laboratorio había sido creado fruto de la colaboración entre la Universidad y el Seminario de Estudios Galegos (institución

cultural que trabajaba por el progreso del conocimiento científico de Galicia y de la que Parga Pondal era miembro desde 1926), que aportaron el local y los medios necesarios para los trabajos de investigación.

⁴ Los arenales costeros de Galicia II. La costa de Finisterre (Parga Pondal y Pérez Mateos, 1955). Entre 1952 y 1957, Parga Pondal publicó cuatro estudios sobre minerales densos de las playas gallegas, continuando así una línea de investigación comenzada durante sus años como profesor universitario. Estos nuevos trabajos fueron realizados con Josefina Pérez Mateos (1905-1995), experta en petrografía sedimentaria y una de las primeras mujeres científicas del CSIC. La investigadora era discípula de Gabriel Martín Cardoso, con quien colaboró en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (Leonardo-Docanto, 2013b).

⁵ La publicación de la hoja de Santiago se quiso hacer coincidir con el Año Santo Compostelano de 1954, pero finalmente no fue posible. Parga Pondal contó con la colaboración de Alfredo Llecha Ferrer (1916-2009), catedrático de Ciencias Naturales del Instituto de Enseñanza Media Rosalía de Castro de Santiago de Compostela (Fondo Llecha. Archivo del Museo de Historia Natural de la Universidad de Santiago de Compostela). Ver Leonardo-Docanto (2017).

⁶ Algunos miembros de la familia recuerdan el descontento de don Isidro con el IGME. Las palabras de Amalia Menéndez Manjón, viuda de José Ramón Parga Peinador, resultan bastante elocuentes: “Venían [a Laxe] muchos ingenieros de minas de la especialidad de la geología, del Instituto Geológico de España, en Madrid, a visitarle, le pedían información y no se la daba. Se molestaba” [recogido en Martínez Delgado (2009)]; o bien: “[los mapas] ¿Se los publicaba el Instituto Geológico? Pues no se llevaba nada bien con ellos. Ni con los ingenieros de minas tampoco. Con la parte oficial no se llevaba nada bien” (Leonardo-Docanto, 2017). Otro testimonio, esta vez del hijo del geoquímico gallego, Jorge Parga Peinador: “Mi padre decía: los ingenieros trabajan con lo que descubren los geólogos, y lo utilizan para hacer minas, la rentabilidad. Pero la investigación la realizan los geólogos” (Leonardo-Docanto, 2017).

⁷ Se trata de la *Carte géologique du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique (Hercynien et Ante-Hercynien)*, a escala 1:500.000, realizada desde el LXL bajo la dirección de Parga Pondal, con la participación en su edición de Peter Floor y colaboradores de la Universidad de Leiden, y publicada por los Servicios Geológicos de Portugal en 1967 (Fig. 7).

⁸ En tiempos de Parga Pondal y mayoritariamente a lo largo de casi todo el siglo XX, el Orógeno Varisco era conocido como Orógeno Hercínico, o abreviadamente “el Hercínico”.

⁹ El mapa abarcó finalmente el Macizo Ibérico, que en aquel momento se consideraba un sinónimo *de facto* del

Macizo Hespérico. Sin embargo, este último comprende en realidad toda el área en la que se continúa el basamento varisco en el subsuelo de las cuencas del Duero y Tajo, y que vuelve a aflorar hacia el este en la Sierra de la Demanda, las Cadenas Ibéricas de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, así como en los distintos núcleos paleozoicos de los grandes anticlinorios alpinos de Albarracín y la Serranía de Cuenca, en la Rama Castellana.

¹⁰ Tras el fallecimiento, en 1976, de su esposa, Avelina Peinador Porrúa, y el de su hijo José Ramón en 1978, don Isidro dispuso que el trabajo de toda su vida fuese donado a alguna institución para su conservación y la continuación de los trabajos de investigación geológica. Se barajaron varias posibilidades, entre las que se contaron la Universidad de Santiago, una sede del CSIC en la capital de Galicia o la Real Academia Galega, en la que Parga Pondal era académico desde 1960. Finalmente, y debido en gran parte a la amistad del geólogo con el intelectual y empresario galleguista Isaac Díaz Pardo (1920-2012), el archivo y las colecciones del LXL se ubicaron en la sede del grupo Saraguelos, en O Castro (Sada, A Coruña). En los últimos años se ha producido su traslado a diferentes dependencias de la Universidad de A Coruña.

Díaz Pardo y Parga Pondal se conocían desde antes de la Guerra Civil, cuando Camilo Díaz Valiño, padre del primero, frecuentaba el Seminario de Estudios Galegos, donde llevaba a cabo distintas actividades artísticas. Testigo de esta amistad son las palabras del nieto de Parga Pondal, Isidro Parga Manjón: “Con Isaac se llevaba muy bien. Tenía una amistad de juventud, no era una relación profesional. Se llevaban bien sentados en una habitación sin hablar durante cuatro horas. La mera presencia, la compañía ya bastaba. Tenían personalidades parecidas, porque los dos eran inquietos, siempre tenían que estar en actividad, haciendo algo, inventando algo”. Entrevista grabada en Laxe (A Coruña), 16/08/2010. Archivo de Francisco J. Leonardo-Docanto.

¹¹ La carta no está fechada, pero sí las respuestas, lo que permite establecer una fecha anterior al 14/04/1982.

¹² El Prof. Juan Ramón Vidal Romaní es catedrático emérito de la Universidad de A Coruña. Conoció a Isidro Parga Pondal en 1969, siendo estudiante de Ciencias Geológicas en Madrid. Diez años después, y por encargo, entre otros, de Isaac Díaz Pardo, fue requerido para colaborar con el Laboratorio Xeológico de Laxe. Tras el fallecimiento de Parga Pondal en 1986, asumió la dirección del Laboratorio, que transformó en el Instituto Universitario de Geología “Isidro Parga Pondal” asociado a la Universidad de A Coruña, que dirige desde su creación.

Agradecimientos y financiación

Agradecemos a José Luis Mínguez Goyanes, jefe del Servicio de Registro, Documentación y Archivo de la Universidade da Coruña y a los técnicos del mismo, Eva Balbina Barreiro Figueira y José Felipe Fernández López, por

las facilidades prestadas para la consulta de la documentación en la que se ha basado el presente artículo. A los Dres. Juan Ramón Vidal Romaní (Universidad de A Coruña), Luis Roberto Rodríguez Fernández (IGME, CSIC) y Ramón Capdevila (Lézignan-la-Cèbe), por haber compartido con nosotros sus recuerdos y experiencias personales de Isidro Parga Pondal. Al Dr. Juan Carlos Gutiérrez-Marco (IGEO, CSIC-UCM), por la lectura crítica del manuscrito y por la ayuda en la preparación de las figuras. A Rafael Rodríguez Rodríguez, de la Biblioteca del IGME (CSIC), por su siempre eficaz asistencia en la búsqueda de información. Finalmente, a los revisores científicos, Dres. Francisco González Lodeiro (Universidad de Granada) y José Ramón Martínez Catalán (Universidad de Salamanca), por sus sugerencias, que han contribuido a la mejora del manuscrito. El trabajo constituye una contribución al Grupo Español de la Comisión Internacional para la Historia de las Ciencias Geológicas (INHIGEO-IUGS). La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Contribución de autores/as

Ambos autores han contribuido en la misma medida a la concepción, diseño y redacción del trabajo.

Referencias

- Ayala-Carcedo, F.J., Perejón, A., Puche, O., Jordá, L., 2005. El XIV Congreso Geológico Internacional de 1926 en España. *Boletín Geológico y Minero*, 116 (2): 173-184.
- Capdevila, R., 1978. La obra científica de D. Isidro Parga Pondal, su importancia en el desarrollo de la geoquímica en España y en la investigación geológica de Galicia. En: *Geología de la parte norte del Macizo Ibérico: edición homenaje a Isidro Parga Pondal*. Cuadernos del Seminario de Estudios Cerámicos de Sargadelos, 27. Edicións do Castro, Sada (A Coruña), 7-21.
- Ferrero, A., 2013. Atlanterra. *Tierra y Tecnología*, 44. [www.icog.es/TyT/index.php/2014/09/atlanterra/]
- Floor, P., Arps, Ch., 2003. La aportación del Departamento de Petrología de la Universidad de Leiden en las investigaciones geológicas de Galicia (1955-1977). *Tierra y Tecnología*, 25: 37-45.
- García Cortés, A., 2005. La cartografía geológica en España desde Guillermo Schulz hasta la actualidad. En: *Misclánea Guillermo Schulz (1805-1877)* (I. Rábano, J. Truyols, Eds.). Cuadernos del Museo Geominero, 5. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 153-177.
- Gurriarán Rodríguez, R., 2014. *Galicia ten un referente: Isidro Parga Pondal*. Deputación da Coruña, A Coruña, 169 p.
- Leonardo-Docanto, F.J., 2011. Los mapas de Galicia en relieve de Isidro Parga Pondal. *Tierra y Tecnología*, 39: 62-66.
- Leonardo-Docanto, F.J., 2012a. Isidro Parga Pondal, o Seminario de Estudios Galegos e o Laboratorio de Xeoquímica da Universidade de Santiago. *Asclepio*, 64 (1): 37-64. <https://doi.org/10.3989/asclepio.2012.v64.i1.512>
- Leonardo-Docanto, F.J., 2012b. A correspondencia entre Isidro Parga Pondal e Conrad Burri. *Revista da Real Academia Galega de Ciencias*, 31: 27-44.
- Leonardo-Docanto, F.J., 2013a. Isidro Parga Pondal, Doutor en Cencias. Itinerario investigador. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, 351 p.
- Leonardo-Docanto, F.J., 2013b. Los colaboradores del geoquímico gallego Isidro Parga Pondal. *Tierra y Tecnología*, 43: 54-58.
- Leonardo-Docanto, F.J., 2014. Las colecciones petrológicas de Isidro Parga Pondal en la Universidad de Santiago. *Macla*, 14: 29-31.
- Leonardo-Docanto, F.J., 2017. O labor de cartografiado xeolóxico de Isidro Parga Pondal. *Boletín das Ciencias*, 83: 83-93.
- Leonardo-Docanto, F.J., 2020. Itinerarios de Isidro Parga Pondal para o cartografiado xeolóxico de Laxe. *Boletín das Ciencias*, 89: 67-87. <https://doi.org/10.54954/202089067>
- Martínez Delgado, V., 2009. Isidro Parga Pondal: as redes de coñecemento científico. Diploma de Estudios Avanzados, Programa Interuniversitario de Doctorado “Historia de las Ciencias y de las Técnicas”, Universidad de Santiago de Compostela.
- Parga Pondal, I., 1956. Nota explicativa del Mapa Geológico de la parte N.O. de la Provincia de La Coruña (con un mapa geológico en colores a escala 1:400.000). *Leidse Geologische Mededelingen*, 21: 467-484.
- Parga Pondal, I., 1958. *El conocimiento geológico de Galicia*. Editorial Cittania, Buenos Aires, 19 p.
- Parga Pondal, I., 1963. *Mapa petrográfico estructural de Galicia, escala 1:400.000*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Parga Pondal, I., 1966a. Datos geológico-petrográficos de la provincia de La Coruña. En: *Estudio agrobiológico de la provincia de La Coruña*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Edafológicas y Agrobiológicas de Galicia, Santiago de Compostela, 5-46.
- Parga Pondal, I., 1966b. La investigación geológica en Galicia. *Leidse Geologische Mededelingen*, 36: 207-210.
- Parga Pondal, I. (Dir.), 1967. *Carte géologique du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique (Hercynien et Ante-Hercynien), escala 1:50.000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Parga Pondal, I., 1973. El estado actual de los conocimientos geológicos de Galicia y la labor del Laboratorio Geológico de Lage. *Revista del Instituto “José Cornide” de Estudios Coruñeses*, 8-9: 299-307.
- Parga Pondal, I., Pérez Mateos, J., 1955. Los arenales costeros de Galicia II. La costa de Finisterre. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 7-8: 501-550.
- Parga Pondal, I., Vázquez Garriga, J., 1929. Contribución al estudio de los minerales de wolframio de Galicia (I): análisis de las wolframitas de La Brea, Corpíño y Carboeiro (Lalín) Pontevedra. *Arquivos do Seminario de Estudos Galegos*, 3: 99-103.
- Parga Pondal, I., López de Azcona, J.M., Cardoso, G.M., 1953. *Mapa geológico de España, escala 1:50.000. Explicación de la hoja nº 43 (Lage)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Parga Pondal, I., Parga Peinador, J.R., Vegas, R., Marcos, A., 1982. *Mapa Geológico del Macizo Hespérico, escala 1:500.000*. Notas explicativas por Parga Pondal, I., Vegas, R. y Marcos, A. (1983). *Publicacións da Área de Xeoloxía e Minería do Seminario de Estudios Galegos*, A Coruña, 19 p.
- Pérez-Estaún, A., 2005. El Plan MAGNA, movilizador de la investigación geológica en España durante las décadas de los setenta y ochenta del siglo XX: la experiencia del Noroeste de España. *Boletín Geológico y Minero*, 116 (4): 307-323.
- Rábano, I., Gutiérrez-Marco, J.C., 2022. Primitivo Hernández-Sampelayo (1880-1959): hierros y fósiles paleozoicos. *Boletín Geológico y Minero*, 133 (2): 7-43. <https://doi.org/10.54954/202213302>

[org/10.21701/bolgeomin/133.2/001](https://doi.org/10.21701/bolgeomin/133.2/001)

- Rodríguez Fernández, L.R., 2000. Los mapas geológicos producidos por el ITGE: evolución, actualidad y futuro. *Boletín Geológico y Minero*, nº especial: 15-36.
- Rodríguez Fernández, L.R., 2005. El Plan MAGNA: evolución histórica y perspectivas futuras. *Boletín Geológico y Minero*, 116 (4): 281-289.
- Sos Baynat, V., 1953. Noticia sobre un Laboratorio de Geología de Galicia. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Geológica*, 51: 147-152.
- Teixeira, C., 1969. II^{ème} Réunion sur la Geología du NW de la

Péninsula Ibérica. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 53: 7-20.

Vázquez, B., 1982. Isidro Parga Pondal. Pionero de la moderna geología gallega. *Outeiro*, 7: 25-30.

Vidal Romaní, J.R., 2009. El Laboratorio Geológico de Lage. *Tierra y Tecnología*, 35: 73-80.

MANUSCRITO RECIBIDO: 29-05-2022

REVISIÓN RECIBIDA: 22-09-2022

MANUSCRITO ACEPTADO: 30-09-2022



IDEAS PARA COMBATIR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Ideas for blocking the climate change

Wenceslao Martínez del Olmo

San Ramón Nonato 1, 2ºA, 28046 Madrid. wmartinezo@ya.com

Abstract: *There is no doubt that we are suffering another of the many climate changes that from the information provided by sedimentary records, we know that our planet has suffered; but we also recognize that the current change is attributed to the burning of fossil fuels: coal, oil and natural gas. In view of this evidence, it is worth asking whether our institutions and governments are acting in the right direction and without a cynicism, because in the face of the need for these fuels, they accept that they are produced from countries that, among other things, have led to a high level, the hydraulic fracturing. EEUU case, and thanks to it provide us with the natural gas that Europe needs, when foreign circumstances, the Ukraine war, show our needs and dependence on fossil fuels. The term cynicism qualification comes to mind because it means accepting that not here, but externally yes, because what happens outside Spain and Europe does not contribute to climate change. It is well known that our energy resources are considered valid when they come only from renewable energies, but it is equally obvious that if the wind, sun and rain fail, we would have serious problems, not only to develop, but also to maintain the well-being that our societies demand. From the geological knowledge of the Spain and Europe regions, we know that if we allowed exploration and in particular hydraulic fracturing, our natural gas imports could be significantly reduced.*

Keywords: *Climatic change, energy dependency.*

Resumen: *Es indudable que vivimos uno más de los muchos cambios climáticos, que desde los registros sedimentarios, sabemos, que ha sufrido nuestro planeta. También conocemos que este es atribuido a la quema de los combustibles fósiles. Ante estas evidencias, cabe preguntarse si nuestras Instituciones y Gobiernos están actuando en la dirección correcta y sin cinismo, pues aceptan que el gas provenga de países que han desarrollado la denostada fracturación hidráulica, caso de EEUU, y gracias a ella nos proporcionan el gas natural que Europa necesita, porque la guerra en Ucrania, evidencia nuestras necesidades y dependencia de los combustibles fósiles, vengan desde donde vengan, y sean obtenidos, incluso, por la fracturación hidráulica. El cinismo se justifica porque significa aceptar que aquí no, pero fuera sí, porque lo que ocurra fuera, se considera que no contribuye al cambio climático. Es notorio que nuestros recursos energéticos son considerados válidos cuando provengan de las renovables, pero también es evidente que si el viento, el sol y la lluvia fallan, tendríamos graves problemas, no ya para ampliar, sino para mantener el bienestar que nuestras sociedades demandan. Desde el conocimiento geológico del área España y de Europa sabemos que, si permitiésemos la exploración convencional y en especial la fracturación hidráulica, nuestras necesarias importaciones de gas natural podrían ser sustancialmente reducidas.*

Palabras clave: *Cambio climático, necesidades y dependencia energética.*



Martínez del Olmo, W., 2022. Ideas para combatir el cambio climático. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35 (2): 20-27.

Introducción

Hace mucho tiempo que estamos concienciados de que nuestro planeta está sometido a una crisis climática producida por la quema de los combustibles fósiles, crisis que fue iniciada en la llamada revolución industrial de principios del pasado siglo (Keeling, 1978; Etheridge *et al.*, 1996; Luthi *et al.*, 2008). A la vez, sabemos que un elevadísimo porcentaje de la emisión de los gases que producen el efecto invernadero provienen de la quema del carbón, motivo por el que nos felicitamos por las iniciativas tomadas para reducirla; pero también conocemos que ellas no son suficientes porque muchos países no pueden suprimirla por su gran dependencia del mismo para generar la electricidad que necesitan y no poner en grave riesgo el estado del bienestar y el desarrollo de sus economías. Motivo por el que, sin duda, nos solidarizamos con la mayoría de ellos, como son todos los que están en vías de desarrollo. Pero esta solidaridad no impide que fijemos nuestra atención en las recientes noticias de prensa que hablan de que países como Alemania y Austria están ahora considerando volver a la quema del carbón, para así, suplir sus necesidades, provocadas por la guerra en Ucrania, pero ello no impide que solicitemos que reconsideren su postura, y traten de reducir o aminorar los efectos del cambio climático que vivimos. Y ello, por el simple hecho de que sabemos, que si no es globalmente, y no se suman al esfuerzo iniciado por China, EEUU, Rusia e India, cuyas emisiones alcanzan las $17-18 \times 10^9 \text{ Tm de CO}_2$ por año (50-55 % del total emitido) no habrá forma o medio de aminorar los efectos del ya, muy avanzado, efecto invernadero que origina el cambio climático.

No es la primera vez que, usando conocimientos de la Geología de España, se ha tratado de colaborar en la lucha contra el cambio climático, que fueron sustancialmente cifrados en el secuestro del CO_2 (Martínez del Olmo, 2007a y b, 2008, 2019a y b, 2021, Zapatero y Martínez del Olmo, 2008). En cambio, sí que es la primera en la que estos datos pasan a un segundo plano, pues ahora se enfatiza en la responsabilidad que recae en nuestros Gobiernos e Instituciones y en las Leyes que promulgan.

A diferencia de prestigiosas instituciones que nos anuncian que ya es tarde para detener el cambio climático, creemos que aún se puede detener o aminorar, si, en primer lugar, nuestros gobiernos, y en segundo lugar, nuestros ciudadanos, propician:

- Todas las políticas que contribuyan a concienciar a unos y otros en la necesidad de ahorrar energía.
- Incentivar, mediante legislación adecuada, el desarrollo de las energías renovables.
- La producción, uso, distribución y almacenamiento del hidrógeno verde o gris.
- La exploración para el gas natural.
- Los conocimientos geológicos que permitirían una fracturación hidráulica, tan poco nociva para el medioambiente, tal y como se demuestra que ha ocurrido en EEUU.

- Replantearnos, si podemos olvidar Fukushima y Chernóbil y aceptar la energía nuclear, como una más de las posibilidades a tener en cuenta.

Necesidad del ahorro en energía e incremento de la autogeneración

No nos caben dudas de que nuestras sociedades han vivido épocas de despilfarro energético que fueron promovidas por los eventuales bajos precios del petróleo y del gas, el desarrollo del transporte marítimo del gas licuado y la exploración-producción en las aguas profundas del planeta, tecnología que hasta hace pocos años era prácticamente inexistente. Pero todas estas posibilidades tienen problemas de desarrollo sostenible, si es que olvidamos que:

- Los recursos y reservas de los mismos también tienen sus límites, incluso en esas aguas profundas, porque hoy ya están prácticamente exploradas en la mayor parte del planeta.

- La guerra en Ucrania y las altas tasas de inflación, que castigan las economías, han venido a persuadirnos de que el ahorro energético es absolutamente necesario, a todos los niveles: doméstico, industrial y de país.

- Y si, persistimos en culpar, en exclusiva, del Cambio Climático a los combustibles fósiles, porque por el conocimiento geológico de los registros sedimentarios, conocemos muchos anteriores a la llamada revolución industrial, tales como:

- a. Volcanismo durante el Triásico en Siberia que acabó con 99 % de las especies que poblaban el planeta, y en la meseta del Decan en la India (Cretácico Superior) que algunos geocientíficos interpretan que colaboró en la extinción de los dinosaurios.
- b. Impacto del Yucatán que, al final del exuberante Cretácico, por eso llamado la green house, provocó la extinción de los dinosaurios y el desarrollo, de nosotros, los mamíferos.
- c. La creación, en el Eocene-Pleistoceno, de los puentes intercontinentales, y con ellos, la expansión de nuestra especie, cuya responsabilidad en el cambio climático, es evidente.

Historia, que demuestra que, a pesar de todo, por suerte, las ramas del árbol de la vida siguen su curso; pero ello no implica que tratemos de evadir nuestra responsabilidad y posibilitar que su devenir, no sufra saltos o catástrofes de las que seamos responsables. Y es indudable que existe un primer y simple modo de hacerlo, y este no es otro, que agilizar y promover la autogeneración mediante placas solares y aerogeneradores domésticos, en millones de viviendas de aquellos países, caso de España, con condiciones climáticas favorables en la mayor parte de su territorio y otros, Europa del Norte, solo en sus costas porque en ellas la falta de sol es suplida por el viento y las fuertes brisas que diariamente se suceden.

Incentivar las renovables

Si las líneas anteriores ya muestran una solución en millones de viviendas, y quizás miles de comunidades, no cabe duda de que nuestros Gobiernos e Instituciones deberían prestar mayor atención, y más recursos económicos, al desarrollo de las renovables, de las que España, en solar y eólica posee muchas posibilidades de incremento, aunque su crecimiento no parece posible que llegase a asegurar que solo con ellas pudiésemos atender todas nuestras necesidades inmediatas y en especial futuras (Fig. 1) porque se puede anticipar que estas, lo que es deseable, no dejaran de crecer; deseable porque ello significa que damos pasos

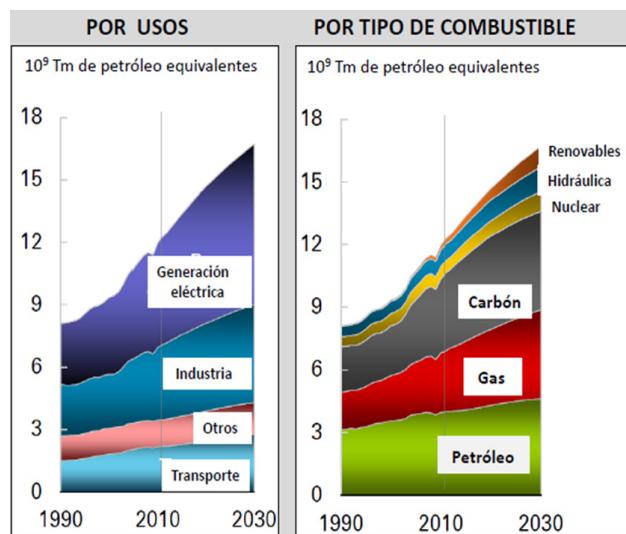


Fig. 1.- Estimaciones de la demanda de energía como consecuencia del crecimiento de la población y del mantenimiento del estado del bienestar. Nótese que, si como es deseable, carbón y petróleo reducen su quema, el gas natural, la hidráulica, las renovables y quizás la nuclear, podrían compensar la generación de energía (según los datos de British Petroleum 2020 y 2021).

adelante para mantener el estado del bienestar, y a la vez, tratamos de detener o aminorar el cambio climático.

Es decir, sea cual sea la causa del actual cambio climático, no cabe duda de que las renovables, constituyen una inmejorable oportunidad tecnológica para combatirlo, y para ello, solo es necesario dedicar más recursos económicos para su desarrollo exponencial: termo solar en países soleados, mini saltos hidráulicos allí donde la orografía y el clima lo permitan y eólica, última con enormes posibilidades de desarrollo en cientos de miles de kilómetros costeros de la Europa falta de sol.

Hidrógeno verde o gris

El llamado hidrógeno verde, así

nombrado porque su producción, mediante hidrólisis, emanaría de la electricidad procedente de las renovables, se perfila como el combustible del futuro, porque al no generar gases de efecto invernadero (CO y CO₂) es inocuo con el medioambiente. Pero el llamado gris porque la hidrólisis se realizaría con el gas natural, no es un proyecto a invernar, porque entre el gris y el verde hay una notable diferencia de costes y lo que es evidente, el verde, supone la merma de las renovables para otros usos, también necesarios.

Es así por lo que, no es nada evidente que podamos renunciar al hidrógeno gris (Martínez del Olmo, 2021) y ello implica que necesitamos gas natural y un mejor conocimiento geológico de las trampas para almacenarlo, estudio que necesita de una mejor definición de las que se consideran trampas mejor conocidas, y este solo podrá ser ultimado con nuevos sondeos y líneas sísmicas, cuya realización podría chocar con las restricciones que podría imponer la Ley de Transición Energética y Cambio Climático (2021) porque ella quizás entendería que realizar sondeos y líneas sísmicas para ultimar su estanqueidad y capacidad de almacenamiento, son trabajos que podrían ser considerados como relativos a la prohibida exploración pura y dura. Es deseable y necesario que esto no ocurra, pero nada nos asegura que no suceda o que las autorizaciones necesarias tarden en conseguirse más tiempo del deseado.

En conclusión, al día de hoy, no es seguro que podamos conseguir aprobación para perforar sondeos y adquirir nuevas líneas sísmicas, pues sin ellas, solo contaría como almacenes completamente fiables para el hidrógeno, los bien conocidos de Gaviota (Mar Cantábrico), Serrablo (Pirineo), Yela (Madrid) y Marismas-Poseidón (Golfo de Cádiz), con capacidades respectivas de 1.600, 1.100, 2.000 y 120 millones de m³, que a todas luces son insuficientes (Fig. 2) porque su uso para el hidrógeno verde o gris limitaría su capacidad de almacenamiento y ello mermaría su actual utilización como almacenes de gas natural, que sin duda,

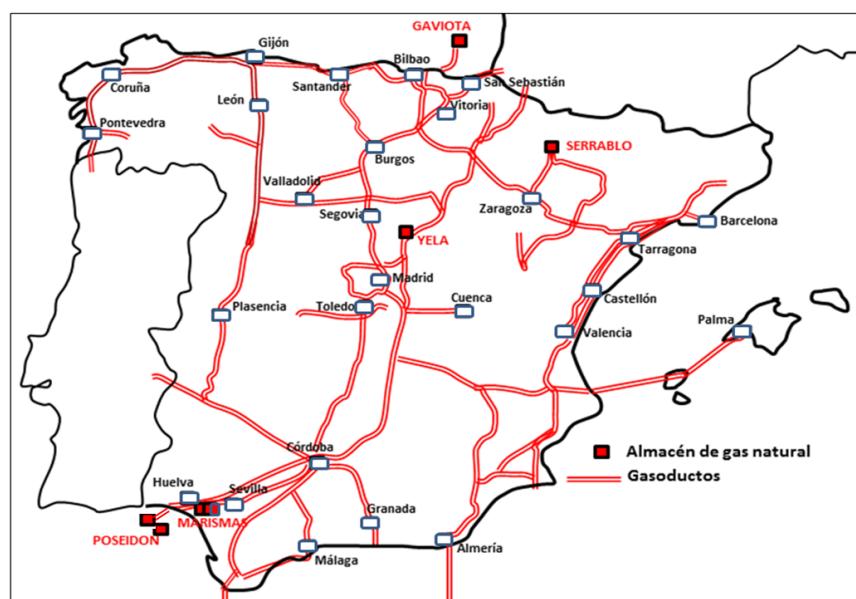


Fig. 2.- Red de gasoductos y localización de las únicas trampas geológicas (color rojo) bien definidas para almacenar el hidrógeno. Trampas con capacidad, a todas luces, insuficientes para el futuro y deseado uso del hidrógeno (Martínez del Olmo, 2007).

también, son necesarios por la, quizás, probable existencia de problemas puntuales con la importación del mismo por:

- Recientes dificultades con Argelia.

- Incendio en la terminal de gas licuado en EEUU o cambios en su estrategia.

- Suministro del gas procedente de Rusia que, aunque ahora sea de solo el 5%, hay que tener presente que llegue a desaparecer.

Ante esta limitación de la capacidad de almacenamiento del hidrógeno, se conoce la existencia de otras trampas geológicas con diferentes probabilidades de existencia (Fig. 3) y por ello necesitadas de nuevos trabajos de

Geología y Geofísica, absolutamente necesarios para poder incorporarlas a los futuros y deseados almacenes de hidrógeno. Junto a estas posibilidades, también podemos contar con otras 23, pequeñas pero fiables porque fueron yacimientos de gas natural en la cuenca del Guadalquivir (Asperillo-2, Saladillo-1, Marismas-2, 4 y 5, Tarajales-1, Melo-1, Arrayan-1, Vico-1, Azul-1, Palacares-1, San Juan R-1, R-2, R-4, V-6 y Z-1, Sevilla 1 y 3, Santa Clara-1, Río Corbones-1, Córdoba B-2, C-1 y C-1A), que aunque de pequeño volumen, propician la posibilidad de generar pirólisis locales, que evitarían el transporte de larga distancia del hidrógeno.

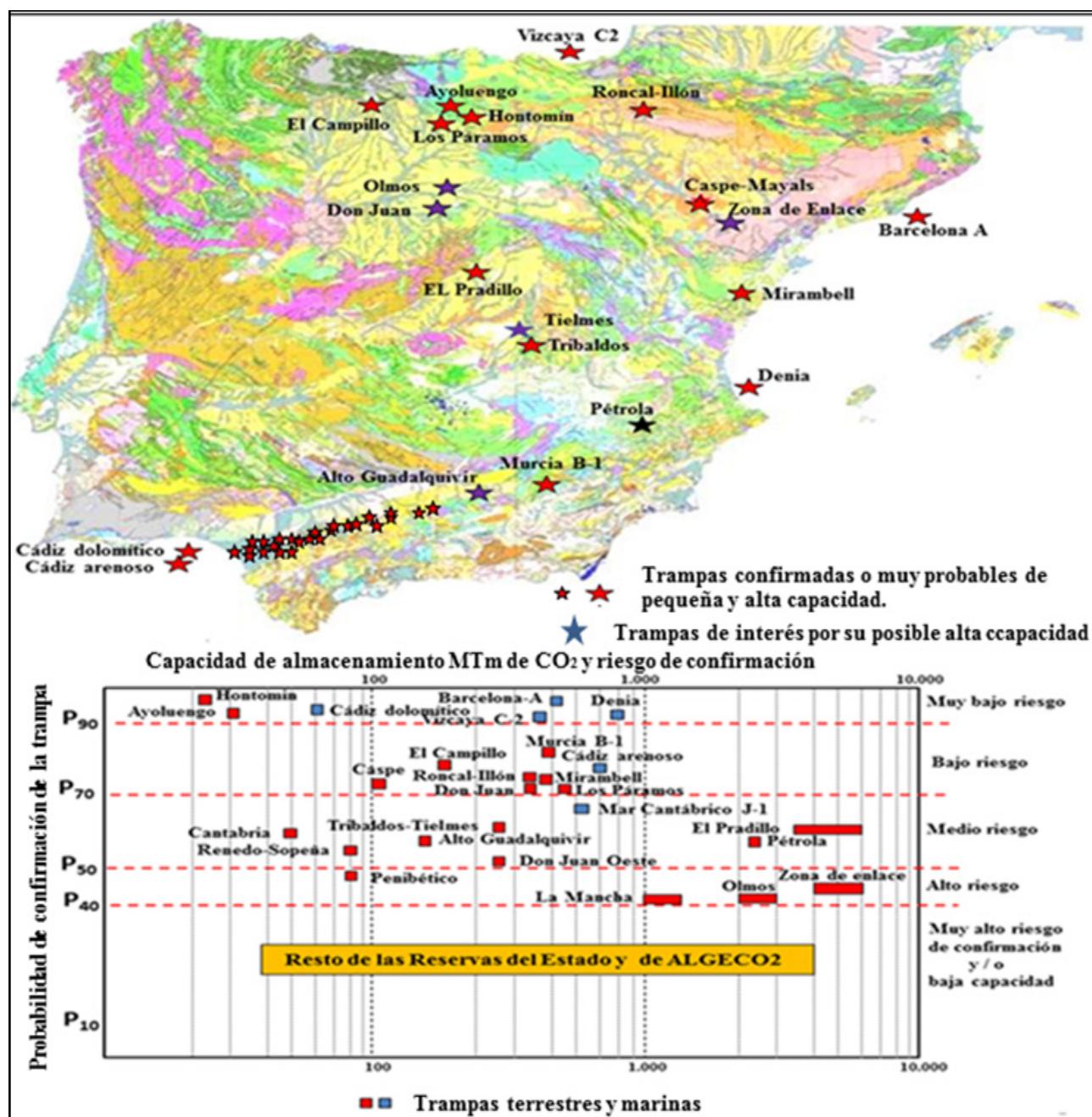


Fig. 3.- Resumen de las trampas geológicas estudiadas para el secuestro del CO₂ (IGME, 2009) por lo que podrían ser utilizadas para el almacenamiento de hidrógeno. Nótese, que si suprimimos las marinas y las de baja capacidad todas ellas necesitarían programas de Geología y Geofísica para asegurar su utilización futura (Martínez del Olmo, 2008; López Barrera, 2011; Martínez y Suárez, 2011; Suárez Díaz, 2011).

De otra parte, la Hoja de Ruta editada en 2020 por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, plantea 60 medidas encaminadas a conseguir que, en un breve plazo, en Europa, se pase de los actuales 6 GW de hidrógeno verde a 40 GW (de 1 a 36 MTm). Incremento, que indica la importancia que la Unión Europea atribuye al desarrollo del hidrógeno verde como combustible.

España, hoy produce desde el gas natural (hidrógeno no verde) $\pm 0,5$ MTm /año y se prevé la instalación en 2024 de 4 GW ($\pm 0,66$ MTm) de hidrógeno verde, lo que indica nuestra necesidad de incrementar y propiciar el desarrollo de las renovables.

En resumen, si el hidrógeno verde es considerado el combustible del futuro, es evidente que necesitamos cambios en la legislación que abran la puerta a su futuro. Cambios legislativos, que permitan la adquisición de nuevas líneas sísmicas y la perforación de sondeos, pues sólo con ellos podremos asegurar la necesaria existencia de algunas de las trampas, de alta capacidad, no confirmadas por los datos de Geología y Geofísica que se poseen.

Exploración con objetivo gas natural

Sin duda que el gas natural, es un combustible fósil, pero también es una de las energías cuya quema menos contribuye al efecto invernadero y cuyo uso en las térmicas de ciclo combinado proporciona un elevado porcentaje de la electricidad que necesitan nuestras sociedades, ya que, sin ella las dejaríamos a oscuras y en riesgo de parálisis.

Ha tenido que ocurrir el drama de Ucrania para que nos percatásemos de la gran dependencia que Europa tiene en este combustible, dependencia, que aumentará exponencialmente, si la deseada supresión de la quema del carbón y el petróleo sigue acelerándose (Fig. 1).

Un año antes de esa guerra, nuestro gobierno emitió la Ley de Transición Energética y Cambio Climático (20 de Mayo, 2021) que aprobada por una impresionante, y poco usual, mayoría parlamentaria, impide la exploración con objetivo en el gas natural y ello entra en contradicción con la reciente propuesta Hispano-Lusa de topar el precio del gas para abaratar la electricidad que ambos países necesitan; es así como la Península Ibérica es calificada-considerada una isla energética, y por ello, necesitada de ayuda. La citada ley es tan restrictiva que llega a advertir que no concederá concesiones de explotación en el hipotético caso de que alguna compañía de exploración no cumpliese la Ley, por anteponer un posible beneficio económico a la defensa del cambio climático, y de esta guisa, encontrase un yacimiento de gas natural convencional. ¿Necesitamos gas natural o solo topar su precio para abaratar la factura eléctrica? Parece evidente que ambas cosas, pero nada mejor para los precios que disponer de recursos nacionales, no sujetos a las cuantiosas importaciones de este combustible fósil; más aún cuando es tan necesario para mantener el bienestar de nuestras sociedades y cuya quema contribuye, al cambio climático, en mucha menor medida (Termehlen, 2001) de lo que usualmente se estima (Fig. 4). Razón que, entre otras (necesidad de uso, falta de recursos y reservas propias) ha llevado a Europa a una difícil situación

energética, que le hace valorar y modificar muchas de sus políticas de conexión con el gas procedente de Rusia, e incluso, como antes comentado, volver a la quema del carbón (Alemania, Países Bajos y Austria) tal y como recogen recientes noticias de prensa.

De la Ley de Transición Energética y Cambio Climático (20 de mayo, 2021) ha resultado que los pocos proyectos de exploración que en España quedaban por investigar (País Vasco, Rioja y Andalucía) han sido llevados a la vía muerta, quizás para siempre, porque no se intuye un cambio legislativo. Y la pregunta que surge es si hará falta una mayor dependencia del gas procedente de Rusia (5 %) o de que se incrementen las dificultades con Argelia, nuestro gran proveedor, vía gasoducto, o que EEUU, por políticas cambiantes y cuestiones de precio “*business are business*”, decida que hay que cambiar las terminales donde viajan sus metaneros.

Fracturación hidráulica

El llamado *fracking* o fracturación hidráulica ha sido tan estigmatizado, que su uso para producir gas natural ha sido prohibido en toda Europa. Su prohibición provino de mal informadas campañas mediáticas, que el paso de los años han venido a demostrar, caso de EEUU, que todos los argumentos contrarios a su uso (contaminación de acuíferos, inyección de venenos, gigantesco o desaforado uso del territorio, etc.) eran realmente falacias, pues es desde EEUU desde donde se exportan enormes cantidades de gas natural, procedentes de la fracturación hidráulica, con el que hoy se intenta mitigar la dependencia del gas natural procedente de Rusia. Es decir, han hecho falta unos años de experiencia en EEUU y una guerra en Ucrania, para que la fracturación hidráulica haya pasado de ser una técnica denostada y prohibida, a una posibilidad a tener en cuenta, porque ella puede llevarnos a producir el gas natural que necesitamos, que como es deseable y peligroso, se incrementa año tras año; deseable porque significa desarrollo industrial y doméstico, y peligroso, porque nos hace aún más dependientes del exterior.

En España, sin ir más lejos, conocemos que, en las cuencas Cantábrica, y en menor medida del Guadalquivir, ciertos intervalos sedimentarios del Cretácico Superior y del Jurásico (Martínez del Olmo, 2018, 2019b) albergaron muchos proyectos que tuvieron que ser abandonados por las insistentes y negativas campañas mediáticas. Proyectos que son fáciles de retomar, y que probablemente, conducirían a soluciones de abastecimiento de los muchos y necesarios usos, que el gas natural ejemplariza: a) producción de electricidad, b) hidrólisis del hidrógeno gris, c) precio del gas para la industria, d) rebaja en nuestra abultada factura de su importación, e) aminorar nuestra dependencia de allende nuestras fronteras.

Estos últimos párrafos solo quieren indicar que la fracturación hidráulica debería ser replanteada en España y Europa, pues si en la primera existen posibilidades, en la segunda, ellas son aún más evidentes, porque sus cuencas sedimentarias contienen muchos intervalos con espesores, grados de maduración y riqueza orgánica, que superan con creces a las existentes en España, de ahí que el histórico de

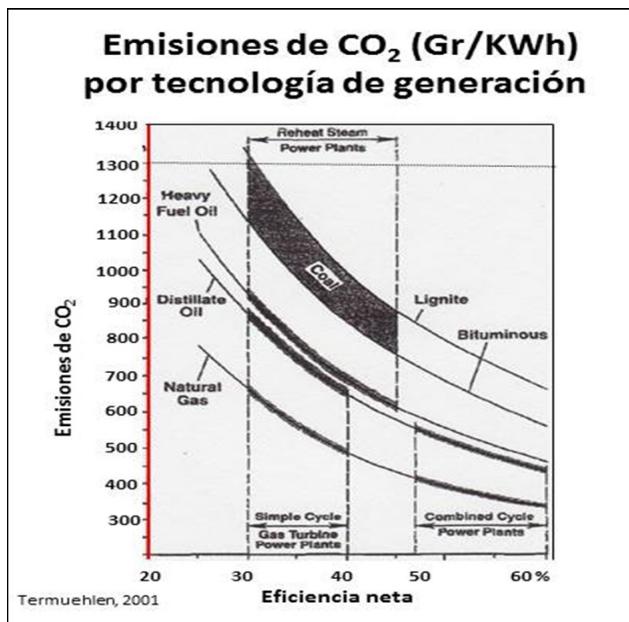


Fig. 4.- Emisiones de CO₂ en función de la tecnología usada para la generación de electricidad. Nótese que una térmica de gas natural emite un 66% menos CO₂ que una de carbón, luego con el uso del gas en los ciclos combinados se reducirían un 55-60 % las emisiones de CO₂. ¿Se justifica la exploración para el gas natural? ¿Hay reservas de gas para ese cambio? (desde Termuehlen 2001).

su producción de gas natural multiplique por más de 10¹² lo producido en España.

La nuclear como solución

Si somos capaces de olvidar Chernóbil y Fukushima, y miramos a nuestro entorno próximo, caso de Francia (53 centrales nucleares activas) y lejano EEUU (97 centrales) se atisba que la energía nuclear puede constituir una alternativa de interés, porque es poco emisora de CO y CO₂ y su tecnología ha alcanzado altos niveles de seguridad, y porque sus dos históricos desastres fueron motivados por causas, que con más prevención y dinero, serían fáciles de evitar:

- La vieja tecnología nuclear soviética.

- La construcción de centrales en una de las líneas geológicas más representativas del llamado cinturón de fuego del Pacífico, lo que hace evidente la ausencia de prevención ante un tsunami, que era, y sigue siendo, en cierto modo, predecible.

- Otras destructivas catástrofes naturales (erupciones volcánicas, terremotos, grandes huracanes) es seguro que se repetirán en nuestro inquieto y activo planeta, pero sus efectos serían mínimos si se destina dinero y tecnología a su prevención. Circunstancias, que creemos, que son fáciles de no olvidar, y por ello sencillas de evitar.

Discusión

Aunque es notorio que el cambio climático es un hecho irrefutable, también lo es que su progreso es atribuido a la quema de los combustibles fósiles, especialmente el carbón. No discutimos esta aseveración, porque no es este el

propósito de este trabajo, pero tampoco podemos sustraernos a indicar que su posible gran causa es el tránsito por un inter-glacial cálido, tal y como podría deducirse de los trabajos de Milankovitch, 1920 y Petit, *et al.*, 1990; hecho que no está refido con tratar de combatirlo y por ello se ofrece la presentación de reflexiones e ideas que creemos posibilitarían, posiblemente, no su detención y sí solo su ralentización. Y se escribe esto, porque el conocimiento geológico de la historia del planeta nos ha enseñado que cambios climáticos, incluso, más notables que el actual, no fueron producidos por la quema del petróleo y el gas. Lo que no está opuesto al conocimiento de que su quema, se disparó con el inicio de la revolución industrial (Kee-ling, 1978; Etheridge *et al.*, 1996; Luthi *et al.*, 2008). Y ello ha motivado la definición del llamado Antropoceno, como una nueva etapa, no piso Geológico, que superponer al Holoceno.

Esa inicial conclusión no está reñida con la obligación, personal y comunitaria, de luchar contra el avance del cambio climático, porque el Antropoceno, somos nosotros y no debemos, ni esconder, ni obviar, nuestra responsabilidad en su progreso, lo que motiva que estemos obligados a proponer soluciones que deben adoptar, primero, nuestras Instituciones y Gobiernos, y segundo nuestra diligencia o labor personal, pues aunque las responsabilidades, de unos y otros sean muy diferentes, no parece razonable:

- No impulsar, con más ayudas gubernamentales el uso de las energías renovables.
- No incentivar, la producción y posibilidades de almacenamiento y distribución del hidrógeno verde o gris.
- No concienciar, mediante frecuentes y agresivas campañas mediáticas, de la necesidad del ahorro de energía.
- Prohibir la exploración para el gas natural.
- Prohibir la fracturación hidráulica.
- Y, por último, no replantearnos si debemos cerrar las centrales nucleares.

El ahorro energético es algo tan evidente y necesario que es traído a la discusión porque no se entiende como no se difunden agresivas y continuas, no esporádicas (invasión de Ucrania) campañas mediáticas que lo propongan.

Es también evidente que las renovables constituyen una magnífica tecnología de lucha contra el cambio climático, y por ello tampoco se entiende por qué no se destinan más recursos económicos a su desarrollo exponencial.

Si el hidrógeno verde o gris (Martínez del Olmo, 2021) es considerado el combustible del futuro, es indudable que se necesita un mayor conocimiento geológico de las trampas, conocidas o posibles, donde almacenarlo, porque no son más de tres o cuatro de alta capacidad, las que en España, se consideran listas para su uso, y es evidente que son insuficientes; por ello necesitamos adquirir líneas sísmicas y perforar sondeos, cuyas autorizaciones, se intuyen difíciles, si es que no se introducen cambios, o se adapta a este fin, la legislación recogida en la Ley de Transición Energética y Cambio Climático, 2021.

La prohibida fracturación hidráulica en todo el territorio europeo no deja de sorprender porque ella está permitiendo, caso de EEUU, que enormes volúmenes de gas na-

tural procedentes de esta técnica, vengan a Europa para así suplir nuestras crecientes necesidades. ¿Se cree necesario un cambio en esta política de prohibición?

Prohibir en España la exploración con objetivo al gas natural, parece un desacuerdo que, ya estamos pagando y que previsiblemente pagaremos en un futuro más lejano. ¿Deberíamos cambiar esta política?

Nuestra vecina Francia desarrolla una política energética en la que las centrales nucleares alcanzan un papel preponderante y por ello solucionan su déficit energético; pero en España no solo olvidamos esta posibilidad, sino que incluso se plantea el cierre definitivo, inmediato o próximo, de las nucleares que aún existen en funcionamiento. Cierre que debe plantearse con un riguroso estudio de sus condiciones de seguridad y su aportación a la generación de electricidad, no agresiva con el medioambiente.

Conclusiones

Es evidente que Europa, y especialmente España, necesitan legislaciones adecuadas que no se fijen exclusivamente en problemas puntuales y temporales (invasión de Ucrania) sino que atiendan a lo que pueda venir en los próximos años. Esta, especie de súplica, se resume en:

- Intensificar las campañas mediáticas que estimulen el ahorro energético.

- Fomentar el crecimiento de las renovables mediante legislaciones adecuadas que pueden llevar a su desarrollo en miles de viviendas unifamiliares y comunidades, gracias al uso de placas solares, aerogeneradores y mini saltos hidráulicos.

- Acabar de estimar la capacidad, localización y trabajos necesarios de Geología y Geofísica, para que el almacenamiento del hidrógeno verde o gris sea una oportunidad real, que no nos haga depender de los países de nuestro entorno.

- Arbitrar de una vez si la fracturación hidráulica es o no recomendable y viable en España, porque gracias a ella podríamos resolver, en gran medida, nuestra dependencia en gas natural, y porque no podemos asegurar que los metaneros procedentes de EEUU, no cambien, por política exterior o precios, sus puertos de descarga.

- Reconsiderar, superar o vencer la prohibición de la exploración con objetivo en el gas natural.

- Plantearnos, mediante rigurosos trabajos, si las centrales nucleares, aún existentes y activas en España, significan un peligro y deben cerrarse.

Agradecimientos y financiación

A la editora Nieves López y a los revisores Isaac Álvarez y un anónimo, cuyas observaciones y comentarios mejoraron el texto original. La realización del presente trabajo no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Referencias

British Petroleum, 2021. 70st edition of Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> (último acceso 07/11/2022).

British Petroleum, 2022. 71st edition of Statistical Review of World Energy. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf> (último acceso 07/11/2022).

IGME, 2009. Proyecto ALGECO2. <https://info.igme.es/geologiasubsuelo/AlmacenamientoCO2/Algeco2.aspx> (último acceso 07/11/2022).

Keeling, Ch.D., 1978. The Influence of Mauna Loa Observatory on the Development of Atmospheric CO₂ Research. En Mauna Loa Observatory a 20 th Anniversary Report (J. Miller, Ed), NOAA Special Report, 36-54.

Ley de Transición Energética y Cambio Climático, 2021. Boletín Oficial del Estado nº 121: 44p.

López Barrera, A.I., 2011. Caracterización geológica y petrofísica mediante adquisición e interpretación de diagrafías en formaciones con potencial como sello y almacén de CO₂ en cuencas de la Península Ibérica. IV Jornadas de Investigadores en Formación en Ciencias de la Tierra. Libro de Resúmenes. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 61-62.

Martínez, R., Suárez, I., 2011. Characterization of geological storages of CO₂ in Spain. Seminario Anual de la Red Europea CO2Net. Londres.

Martínez del Olmo, W., 2007a. Propuesta de Reservas del Estado para el secuestro del CO₂. Fundación para Estudios de la Energía, Madrid, 47 p.

Martínez del Olmo, W., 2007b. Una primera selección-evaluación de lugares geológicos donde inyectar el CO₂. Repsol Exploración y Fundación para Estudios de la Energía, Madrid, 166 p.

Martínez del Olmo, W., 2008. Posibles almacenamientos de CO₂ en España. En El futuro del carbón en la política energética española. Fundación para estudios sobre la energía, Madrid, 225-246.

Martínez del Olmo, W., 2018. Geología, cambio climático y como tratar de aminorarlo. XIV Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales, Sevilla, 10 p.

Martínez del Olmo, W., 2019a. Cambio climático, acuerdos de París y trampas geológicas donde secuestrar el CO₂ en España. Revista de la Sociedad Geológica de España, 32 (2): 87-106.

Martínez del Olmo, W., 2019b. The Spanish petroleum systems and the overlooked areas and targets. Boletín Geológico y Minero. 130 (2): 289-315. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.130.2.005>

Martínez del Olmo. W., 2021. Almacenamiento de hidrógeno en España. Revista de la Sociedad Geológica de España, 34 (2): 53-59. https://doi.org/10.14195/0870-4147_53_6

Milankovitch, M., 1920. Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. Gauthier-Villars, Paris, 339 p.

Suárez Díaz, I., 2011. Perspectivas del Almacenamiento Geológico de CO₂ en España. Proyectos en el IGME.

- II Coloquio Hispano Francés sobre Almacenamiento Geológico de CO₂. Ponferrada (España). <http://www.coloquiohalmacenamientoco2.es/descargas.php>
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barko, N.I., Barnolas, J.M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E., Stievenard, M., 1990. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399: 429-436. <https://doi.org/10.1038/20859>
- Termuehlen, H., 2001. 100 years of power plant development: focus on steam and gas turbines as prime movers. ASME Press, New York, 208 p.
- Tripathi, A.K., Roberts, C.D., Eagle, R.A., 2009. Coupling of CO₂ and ice sheet stability over major climate transitions of the last 20 million years. *Science*, 326: 1394-1397. <https://doi.org/10.1126/science.1178296>
- Zapatero, M.A., Martínez del Olmo, W., 2008. Confinamiento del CO₂. En: *El futuro del carbón en la política energética española*, Fundación para estudios sobre la energía, Madrid: 219-225.

MANUSCRITO RECIBIDO: 27-06-2022

REVISIÓN RECIBIDA: 23-09-2022

MANUSCRITO ACEPTADO: 29-09-2022

FACTORES CONDICIONANTES DE LA ACIDIFICACIÓN DE EMBALSES POR LIXIVIADOS MINEROS EN LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA

Controlling factors of reservoir acidification by mining leachates in the Iberian Pyrite Belt

Manuel Olías¹, Carlos Ruiz Cánovas¹, Raúl Moreno González¹, Francisco Macías¹ y José Miguel Nieto¹

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra y Centro de Investigación en Recursos Minerales, Salud y Medio Ambiente (RENSMA). Universidad de Huelva, Campus “El Carmen” s/n, 21007, Huelva, España. manuel.olias@dgyp.uhu.es, carlos.ruiz@dgeo.uhu.es, raul.moreno@dct.uhu.es, francisco.macias@dgeo.uhu.es, jmnieto@uhu.es

Abstract: The rivers of the Iberian Pyrite Belt (IPB) have a very serious problem of contamination by acid waters from abandoned sulphide mines, intensely exploited in the past. The most extreme and well-known case is the Tinto river, but this problem affects a much greater length of fluvial courses in the Odiel river basin. Other rivers in the IPB that also receive acid leachates, although with less intensity, are the Rivera del Chanza and the Guadiamar. In 2014, the Alcolea dam began to be built on the Odiel River, mainly for agricultural use. This construction was stopped in 2017 but currently there is a strong pressure from the irrigators to resume it. Due to the conditions of the Odiel River in this area, with pH values below 4 and high concentrations of toxic metals, there is great uncertainty about the quality of the water that this reservoir will store. In this work, the quality of the water in the large reservoirs of the IPB is investigated from the analytical information of the official quality control network (period 2008 to 2021). The reservoirs not affected by acid mine waters (Jarrama and Corumbel) have pH values close to circumneutral and very low concentrations of sulphates (<12 mg/L). In the reservoirs that have intermediate levels of contamination (Andévalo and Olivargas) the pH is slightly lower, although above 7, and the sulphate content is significantly higher (~60 mg/L). However, in the case of Olivargas, the concentrations of some divalent metals from mining are relatively high and the values of Cd and Zn cause that its condition is classified as ‘worse than good’. The Sancho reservoir has a much higher level of pollution and, as a consequence, presents an average pH of 3.6 and high concentrations of sulphates (average 184 mg/L) and toxic metals (Al, Cd, Cu, Fe, Zn, etc.). Depending on the concentration of sulphates, it is estimated that the conditions in the Alcolea reservoir will be similar to or worse than those in the Sancho reservoir. To ensure a good water quality in the Alcolea reservoir, it would be necessary to eliminate 70% of the acidic discharges in the Odiel River basin.

Keywords: acidic waters, sulphide mining, metal pollution, Alcolea reservoir.

Resumen: Los ríos que drenan la Faja Pirítica Ibérica (FPI) presentan un grave problema de contaminación por aguas ácidas procedentes de minas de sulfuros abandonadas. La construcción de la presa de Alcolea, localizada en el río Odiel, se empezó en 2014 pero se paralizó en 2017, aunque actualmente hay una fuerte presión de los regantes para que se retome. Debido a la acidez que presenta el río Odiel existe una gran polémica sobre la calidad del agua de este embalse. En este trabajo se investiga la calidad del agua en los grandes embalses de la FPI a partir de la información analítica de la red oficial de

control de calidad. Los embalses no afectados por aguas ácidas (Jarrama y Corumbel) tienen valores de pH próximos a neutros y muy baja concentración de sulfatos (<12 mg/L). Los embalses de Andévalo y Olivargas tienen un nivel de afección intermedio, presentan también un pH neutro aunque se tienen concentraciones más elevadas de sulfatos (~60 mg/L) y de algunos metales. El embalse del Sancho presenta un nivel de afección mucho mayor y, como consecuencia, tiene un pH medio de 3,6 y elevadas concentraciones de sulfatos (media de 184 mg/L) y metales tóxicos. Se estima que, si no se adoptan medidas de restauración, las condiciones en el embalse de Alcolea serán similares o peores a las del embalse del Sancho.

Palabras clave: aguas ácidas, minería de sulfuros, contaminación por metales, embalse de Alcolea.

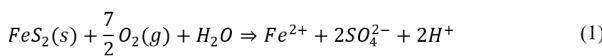
Olías, M., Ruiz Cánovas, C., Moreno González, R., Macías, F., Nieto, J.M., 2022. Factores condicionantes de la acidificación de embalses por lixiviados mineros en la Faja Pirítica Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35 (2): 28-40.

Introducción

Drenaje ácido de minas en la Faja Pirítica Ibérica

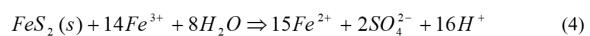
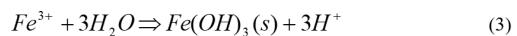
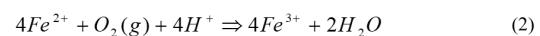
La Faja Pirítica Ibérica (FPI) se extiende desde el oeste de la provincia de Sevilla hasta la costa atlántica portuguesa, con unas dimensiones aproximadas de 230 km de largo y anchura media de 40 km. La FPI es una de las regiones metalogénicas más ricas del mundo en depósitos de sulfuros masivos, con unas reservas originales de más de 2000 millones de toneladas (Almodóvar *et al.*, 2019). Entre ellos se encuentran varios yacimientos denominados “supergigantes”, como el de Riotinto. La explotación de estos depósitos minerales se inició hace unos 5000 años, alcanzando un gran desarrollo durante la época romana. No obstante, las extracciones a gran escala para la obtención de ácido sulfúrico, plomo, cinc y, sobre todo cobre, se iniciaron a mediados del siglo XIX (Olías y Nieto, 2012). A finales del siglo XX cerraron todas las minas de sulfuros de la FPI debido al descenso del precio de las materias primas. Sin embargo, el aumento del precio del cobre desde hace unos 15 años, ha propiciado la reapertura de varias minas (Aguas Teñidas, Riotinto y Sotiel) así como el inicio de nuevas explotaciones (Cobre Las Cruces y Magdalena). En la actualidad existen varios proyectos en la FPI en distintivo grado de desarrollo para la apertura de minas de sulfuros masivos.

La intensa explotación durante la segunda mitad del siglo XIX y todo el siglo XX ha dejado casi un centenar de minas abandonadas en la parte española de la FPI, que cubren una superficie aproximada de 4850 hectáreas con residuos ricos en sulfuros (Grande *et al.*, 2014). Los sulfuros, entre los cuales el más abundante es la pirita (FeS_2), son estables e insolubles cuando permanecen en el subsuelo en condiciones reductoras, pero cuando se ponen en contacto con el oxígeno se produce su oxidación generando sulfatos, ion ferroso y protones:



Si el ambiente es oxidante el ion ferroso se oxidará a fé-

rrico (reacción 2), que por encima de valores de pH próximos a 3 precipita formando hidróxido férrico (reacción 3) provocando un nuevo descenso del pH. Si el ion férrico permanece en solución puede producir la oxidación de más pirita (reacción 4).



Junto con la pirita también se oxidan el resto de sulfuros como esfalerita (ZnS), galena (PbS), calcopirita ($Cu-FeS_2$), arsenopirita ($FeAsS$), etc. Ello provoca que junto a hierro y sulfatos se disuelvan en el agua elevadas concentraciones de Zn , Pb , Cu , As y otros elementos tóxicos. La mayoría de ellos son poco móviles en condiciones de pH neutro o alcalino, pero a bajos valores de pH y en condiciones oxidantes su movilidad se incrementa fuertemente y permanecen en disolución.

Estas reacciones son muy lentas si se producen abióticamente. Sin embargo, su velocidad aumenta hasta en un millón de veces si son catalizadas por la acción de algunas bacterias que se desarrollan en medios ácidos (Acidithiobacillus ferrooxidans, Acidithiobacillus thiooxidans, etc.). Si la oxidación es lenta no se genera una cantidad de protones suficiente para acidificar el medio, por lo que no se dan las condiciones para el crecimiento de estas bacterias y no se producen problemas importantes. Sin embargo, si se alcanzan condiciones ácidas las bacterias se desarrollan con facilidad, lo que hace que se oxiden más sulfuros. Es decir, se produce una retroalimentación que favorece que la oxidación de los sulfuros se incremente espectacularmente causando graves problemas ambientales.

En condiciones naturales la mayor parte de los yacimientos de sulfuros permanecen enterrados en el subsuelo bajo condiciones anóxicas. Sólo una pequeña parte de los sulfuros afloran y están expuestos a la acción del oxígeno y agua. Las actividades mineras hacen que la oxidación natural de la pirita se incremente enormemente, de forma que la generación de aguas ácidas se multiplica por varios órdenes de magnitud, entre 10 y 1000 veces (Nordstrom, 2015).

Este proceso, conocido como drenaje ácido de minas (AMD por sus iniciales en inglés) continuará hasta que se oxiden todos los sulfuros de los residuos mineros, de forma que se seguirán produciendo lixiviados ácidos durante centenares o, incluso, miles de años (Younger, 1997). Ello se comprueba en minas de sulfuros de la provincia de Huelva que cesaron su actividad a principios del siglo XX y dónde todavía se siguen produciendo lixiviados ácidos muy contaminantes (Confesonarios, Poderosa, El Carpio, Campanario, etc.).

El AMD es un proceso habitual en las minas de sulfuros, y también de carbón (pues éste contiene pequeñas cantidades de sulfuros), convirtiéndose en una de las principales causas de degradación de los recursos hídricos a nivel mundial. La minería moderna dispone de la tecnología para evitar estos problemas. Sin embargo, en zonas de minería histórica como la FPI el problema es la gran cantidad de minas de sulfuros abandonadas, junto con la baja o nula capacidad de neutralización de los materiales de la zona en los que apenas existen carbonatos, de forma que se alcanzan valores extremos de contaminación, sin paragón a nivel mundial. El caso más conocido es el del río Tinto, que mantiene un pH próximo a 2,5 y altas concentraciones de metales desde su cabecera en el distrito minero hasta su desembocadura en la ría de Huelva. No obstante, la cuenca del río Odiel también está profundamente afectada (Sánchez España *et al.*, 2005a), de forma que la longitud de los tramos afectados y la cantidad de contaminantes transportados es superior en el río Odiel (Nieto *et al.*, 2007). Otros

rios de la FPI que reciben este tipo de contaminación, aunque de una forma menos intensa, son: el Agrio en la cuenca del Guadiamar y varios afluentes de la rivera del Chanza (Fig. 1). Los cursos intensamente afectados no presentan peces ni ningún tipo de vida superior, incluso la vegetación de ribera está ausente en la mayoría de los tramos, sólo bacterias y algas extremófilas especialmente adaptadas a las condiciones ácidas.

Este problema también afecta al estuario de la Ría de Huelva. Cuando las aguas ácidas de los ríos Tinto y Odiel se mezclan con el agua marina la mayoría de los metales de origen minero precipitan, acumulándose en los sedimentos del fondo. Los organismos que viven en estos hábitats incorporan algunos elementos tóxicos que de esta forma entran en la cadena trófica, haciendo que los niveles de metales de los peces y moluscos de la ría de Huelva sean muy elevados (e.g. Oliva *et al.*, 2013). Además, algunos elementos más móviles en condiciones de pH neutro como As, Cd o Ni pueden permanecer disueltos en el agua e incluso alcanzar las aguas del océano Atlántico (Hierro *et al.*, 2014).

Antecedentes y objetivos

La calidad del agua de los embalses está fuertemente condicionada por las actividades que se realizan en sus cuencas vertientes (Igarashi y Oyama, 1999; Rinke *et al.*, 2013; Cánovas *et al.*, 2016). En la parte española de la FPI existen 5 grandes embalses con capacidad mayor de 10 hm³

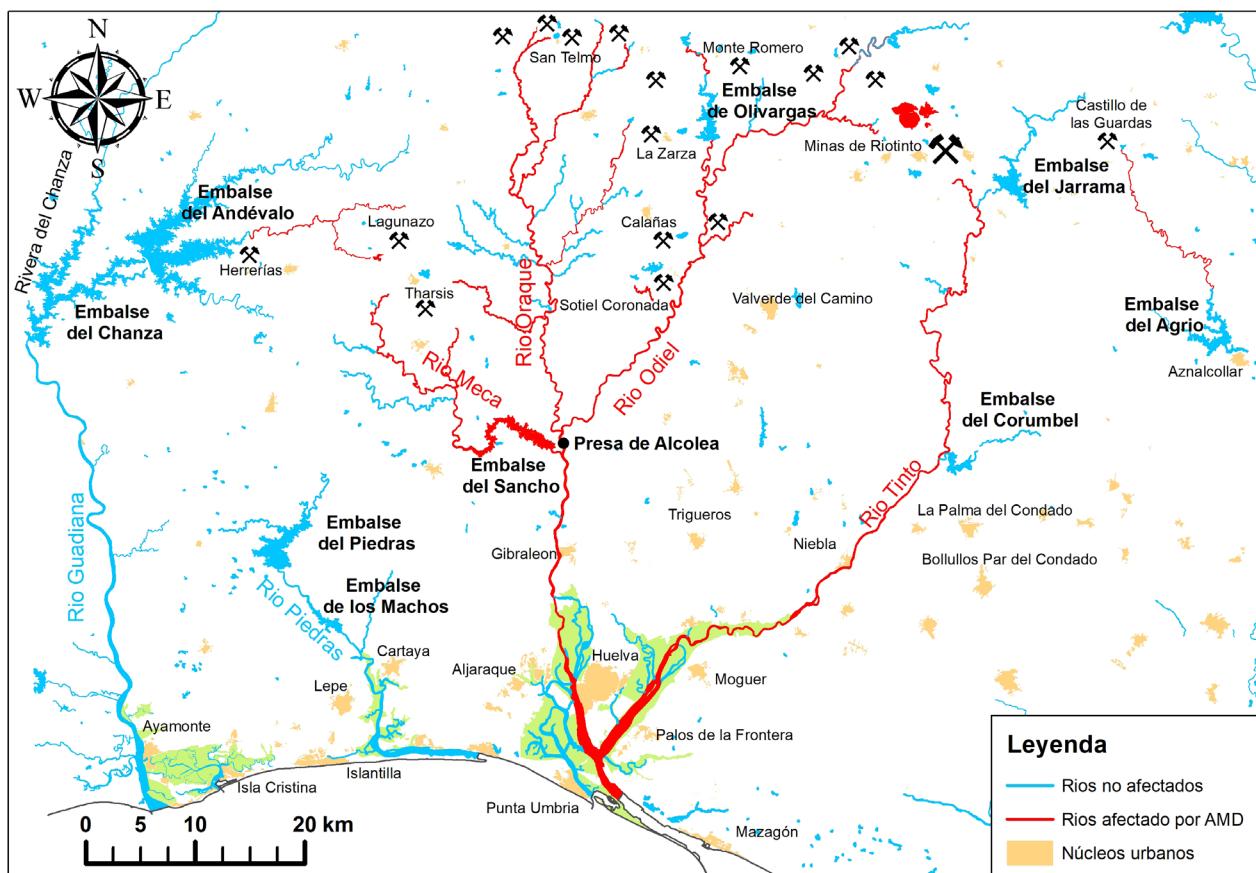


Fig. 1.- Ríos y embalses de la parte española de la FPI, con los tramos afectados por AMD y las principales minas de sulfuros.

que reciben lixiviados mineros: Sancho y Olivargas en la cuenca del río Odiel, Andévalo y Chanza en la cuenca de la rivera del Chanza, y Agrio en la cuenca del río Guadiamar (Fig. 1). Además, en 2014 se inició en la confluencia de los ríos Oraque y Odiel la construcción de la presa de Alcolea con una capacidad de embalse prevista de 246 hm³. Esta obra quedó paralizada en 2017 por problemas con las empresas concesionarias, estando actualmente construida aproximadamente el 25% de la presa.

Existe una gran polémica sobre el embalse de Alcolea, pues la zona del río Odiel dónde se localiza la presa está intensamente afectada por AMD. En el proyecto de esta obra se prevé una buena calidad del agua debido a los procesos de dilución de contaminantes durante las avenidas y su posterior precipitación y sedimentación en el vaso del embalse (DGOHCA, 1996). Sin embargo, nuestros trabajos previos indican que, si no se eliminan los vertidos ácidos de su cuenca, el agua será ácida y tendrá elevadas concentraciones de metales de origen minero como Al, Cu, Cd, Mn y Zn (Olías *et al.*, 2007 y 2011). En este contexto, los regantes presionan para que se reanuden las obras con el argumento de que la calidad del agua en Alcolea será adecuada puesto que los embalses de Olivargas, Chanza y Andévalo también reciben lixiviados de mina y presentan valores de pH neutros (e.g. Huelva Información, 14 de octubre de 2021).

El objetivo de este trabajo es analizar las diferencias en los embalses de la FPI que reciben AMD, compararlos con los que no están afectados por estos procesos de la misma zona, y analizar las causas que controlan el pH y contenido en metales de origen minero en el agua almacenada. Ello es de gran interés para prever la calidad del agua en embalses de otras zonas afectadas por AMD, así como para el embalse de Alcolea en el caso de que se finalice su construcción.

Metodología

Los embalses inicialmente considerados en este trabajo son aquellos de la FPI dedicados al suministro de agua (uso urbano, agrícola o industrial) con una capacidad mayor de 10 hm³: Jarrama, Corumbel (también llamado Corumbel Bajo), Olivargas (también llamado Sotiel-Olivargas), Sancho, Andévalo y Chanza. Hay que señalar que el embalse del Corumbel se encuentra en el límite entre la FPI y los materiales neógenos de la cuenca del Guadalquivir. Los datos se han descargado de la página web de la Junta de Andalucía, comprendiendo el periodo de datos disponibles desde 2008 hasta 2021 de la red de control de calidad del agua DMA (Directiva Marco del Agua). No se han incluido los embalses del Piedras y Los Machos (Fig. 1) pues se utilizan como grandes depósitos reguladores del agua que se bombea desde el embalse del Chanza, de forma que la calidad del agua que almacenan está muy condicionada por estos aportes. Tampoco se ha incluido el embalse del Agrio, en la cuenca del río Guadiamar, que recibe aportes ácidos de la mina abandonada de Castillo de Las Guardas, pues no hay datos disponibles desde el año 2007, además de que los controles analíticos en el Agrio son diferentes del resto de los incluidos en este trabajo, pues pertenece a la cuenca del Guadalquivir, mientras que los de los ríos Tinto, Odiel y rivera del Chanza son gestionados por la Junta de Andalucía. En la tabla 1 se muestran las características de los embalses finalmente investigados.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Junta de Andalucía en Huelva, especializado en la determinación de metales traza. Las variables consideradas en este estudio han sido los parámetros físico-químicos (pH y conductividad eléctrica medidos *in situ*), los iones mayoritarios (alcalinidad, SO₄, Cl, Ca, Mg,

Río regulado	Capacid. hm ³	Superf. cuenca km ²	Aportac. media hm ³ /año	Uso	Año	Principales minas productoras de lixiviados ácidos mineros	
Jarrama	Jarrama (cuenca Tinto)	39	160	33	Urbano	1998	NO
Corumbel	Corumbel (cuenca Tinto)	18	174	27	Urbano, regadío	1987	NO
Andévalo	Cobica y Malagón (cuenca rivera del Chanza)	634	738	120	Urbano, regadío, industrial	2003	Lagunazo, Herrerías
Olivargas	Olivargas (cuenca Odiel)	28	168	51	Urbano, regadío, industrial	1982	Cueva de la Mora, Monte Romero, Angelita, Antigua Aguas Teñidas
Sancho	Meca (cuenca Odiel)	58	314	32	Industrial	1962 (recrecida en 1972)	Tharsis (Filón Centro, Filón Sur, Esperanza), Prado Vicioso, La Lapilla, La Sabina, Vulcano, Antigua Almagrera
Alcolea	Oraque y Odiel (cuenca Odiel)	246	1659	331	Regadío, urbano, industrial, hidroeléctrico	Inicio obras en 2014 (paralizada desde 2017)	Riotinto, Concepción, San Platón, Esperanza, El Soldado, Poderosa, Angostura, San Miguel, Angostura, La Zarza, Almagrera, Tinto Santa Rosa, Gloria, Los Bueyes, Las Viñas, Sotiel, Campanario, Torerera, El Carpio, San Telmo, Lomero-Poyatos, Confesionarios, Perrunal, Tharsis (zona Filón Norte y Sierra Bullones) y las que vierten al embalse del Olivargas

Tabla 1.- Características de los embalses estudiados.

Na y K) y elementos minoritarios y trazas (As, B, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn). Aunque en la red de control también se analizan otros elementos (Be, Ba, Cr, Se, etc.), el número de determinaciones disponibles es mucho menor, por lo que no se tienen en cuenta en este trabajo.

En cuanto a los valores de pH y conductividad eléctrica, se han considerados los tomados *in situ* en la superficie del agua junto a la presa. Los datos del embalse del Chanza mostraron numerosos valores anómalos con elevadas conductividades eléctricas ($>1000 \mu\text{S}/\text{cm}$) y concentraciones de iones (por ejemplo, concentraciones de Cl superiores a 200 mg/L) que deben ser erróneos. A este respecto, en este embalse hay dos puntos muy próximos, uno tomado aguas arriba de la presa que es el que se consideró en este trabajo (código TOP0070; toma El Granado) y el otro justo debajo (código TOP0073; captación Bocachanza) donde se toma el agua una vez que se mezcla con el río Guadiana, y que tiene una salinidad mucho mayor, por lo que probablemente existan errores con la procedencia de algunas muestras. Debido a estos problemas, el embalse del Chanza no se tendrá en cuenta en este estudio. Por último, para modelizar la relación entre la concentración de sulfatos y el pH en los embalses se ha utilizado el código hidrogeoquímico PHREEQC (Parkhurst y Appelo, 2013).

Resultados y discusión

Hidrogeoquímica de los embalses de la Faja Pirítica Ibérica

En la tabla 2 se muestra un resumen de los resultados en los cinco embalses finalmente considerados. El número de determinaciones varía dependiendo de los distintos elementos y características físico-químicas, siendo menor en el embalse el Sancho (entre 46 y 84) y mayor para el Andévalo (entre 99 y 155).

Como es lógico, los embalses que no reciben AMD (Jarrama y Corumbel) son los que tienen pH más elevados (valores medios de 7,7 y 8,0, respectivamente). En los embalses de Olivargas y Andévalo los valores son ligeramente más bajos (medias de 7,4 y 7,5, respectivamente) mientras que el Sancho destaca por su acidez (pH medio de 3,6; Fig. 2). A este respecto, existen tres sistemas principales de tamponamiento de pH en los medios afectados por AMD: 1) el Fe que tampona el pH por debajo de un valor aproximado de 3,5; 2) el Al entre valores de pH de aproximadamente 4 y 5, y 3) los bicarbonatos y carbonatos (alcalinidad), por encima de pH 5,5. En casi todos los embalses los valores de pH son neutros y varían poco debido a que está tamponado por el sistema

carbonatado, excepto en el del Sancho, donde debe estar controlado por el tamponamiento del Fe.

El menor valor de la conductividad eléctrica se observa en el embalse del Jarrama (media de 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mientras que el mayor se encuentra en el Sancho (584 $\mu\text{S}/\text{cm}$). En los tres restantes la conductividad eléctrica es próxima a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 2 y Fig. 2). En el Corumbel la conductividad (media de 272 $\mu\text{S}/\text{cm}$) es mucho mayor que en el del Jarrama, a pesar de que ninguno de los dos está afectado por AMD. Esta gran diferencia se debe a los mayores contenidos de alcalinidad en el Corumbel, así como en Ca, Cl y Na (Tabla 2). Las aguas del Corumbel y Jarrama son bicarbonatadas y las del Sancho claramente sulfatadas (Fig. 3). Las del Andévalo y Olivargas se encuentran aproximadamente alineadas entre las de Corumbel/Jarrama y Sancho.

Puesto que los valores de pH varían muy poco, al estar tamponados, la alcalinidad es un mejor indicador para investigar el balance entre aportes ácidos y alcalinos. Así, en el embalse del Sancho su valor es cero debido a sus condiciones ácidas. En el Andévalo y Olivargas se observan valores bajos de alcalinidad (media próxima a 25 mg/L de CaCO_3), mientras que en el Jarrama es algo más elevada (37 mg/L de CaCO_3) y mucho mayor en el Corumbel como se ha indicado anteriormente (88 mg/L de CaCO_3 ; Tabla 2). Esta mayor alcalinidad se debe a que el Corumbel recibe arroyos que discurren por los materiales neógenos de la cuenca del Guadalquivir, concretamente margas del Mioceno ricas en carbonatos. La cuenca de drenaje del resto de embalses estudiados discurre exclusivamente por materiales silíceos paleozoicos de la FPI, que aportan una baja alcalinidad y, por tanto, son muy vulnerables frente a la acidificación.

Por otro lado, el contenido en sulfatos es un excelente

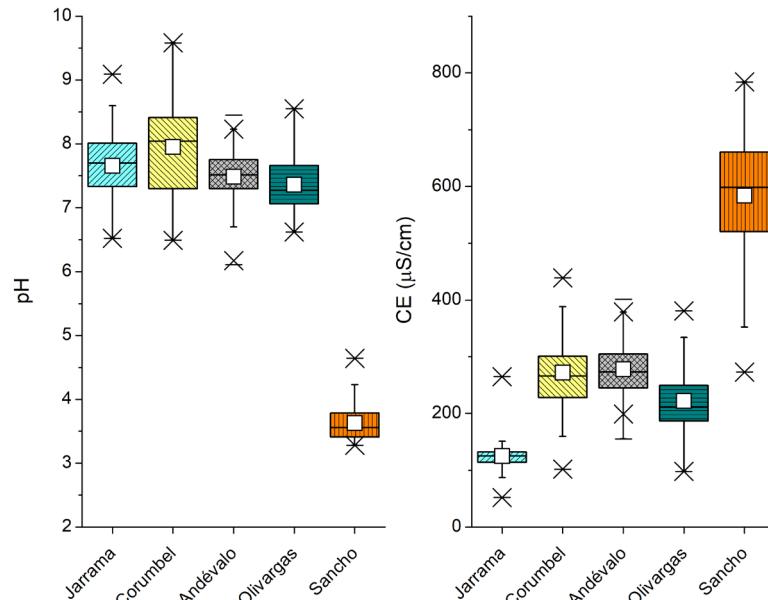


Fig. 2.- Gráficos de caja de los valores de pH y conductividad eléctrica. La longitud de cada caja representa el rango intercuartil (50% de los valores), la línea horizontal en la caja representa la mediana mientras que el cuadrado blanco representa la media. Las líneas de caja comprenden los valores mínimos y máximos, excluyendo los valores atípicos u ‘outliers’, que son 1,5 veces mayores a la longitud de la caja (representados por el símbolo x).

indicador del grado de afección por drenaje ácido de minas, puesto que su concentración en los lixiviados ácidos mineros es muy elevada (hasta 408 g/L; Moreno González *et al.*, 2020) en relación a las concentraciones que se encuentran en los ríos de la FPI no afectados por la contaminación minera (<25 mg/L, Olías *et al.*, 2012). Aunque los sulfatos precipitan junto con el hierro al ascender el pH, formando parte de minerales como jarosita ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) o schwertmannita ($Fe_8O_8(OH)_6(SO_4)_2$), las concentraciones disueltas de sulfatos son tan elevadas que la cantidad retirada del agua por la precipitación de estos minerales es despreciable. En los embalses estudiados la mayor concentración de sulfatos se encuentra en el Sancho (media de 184 mg/L; Tabla 2) que tiene pH ácido, reflejando la mayor

influencia de la contaminación minera. Como era previsible, los valores más bajos de sulfatos se presentan en los embalses no afectados, Jarama y Corumbel (11 y 12 mg/L, respectivamente). Los embalses de Andévalo y Olivargas tienen unas concentraciones intermedias de sulfatos (57 y 63 mg/L, respectivamente), indicando un nivel de afección por aguas ácidas inferior al del Sancho.

Así mismo, las concentraciones de metales típicos de AMD (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) son notablemente superiores en el embalse del Sancho, en conformidad con su bajo pH y alta conductividad eléctrica. Así, se tienen valores medios de 835 µg/L de Fe, 2337 µg/L de Mn, 3064 µg/L de Zn, etc. (Tabla 2 y Fig. 4). Las características del embalse del Sancho, con un gran volumen de agua almace-

	pH	CE µS/cm	SO ₄ mg/L	Alcal. mg/L CaCO ₃	Cl mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	As µg/L	Cd µg/L	Cu µg/L	Fe µg/L	Mn µg/L	Ni µg/L	Pb µg/L	Zn µg/L
JARAMA																	
N análisis	79	79	80	80	80	80	80	79	79	79	79	79	78	79	79	79	
N datos>LC	79	79	74	80	75	79	74	77	74	70	15	71	66	61	24	21	
Media	7,7	125	11	36	11	10	5	9,4	1,3	1,9	0,08	4,2	90	15	0,8	0,7	
Mediana	7,7	125	11	37	10	9	5	9,2	1,3	1,9	0,05	3,6	57	5	0,7	0,4	
Mínimo	6,5	52	3	15	4	6	2	6,1	0,9	1,2	0,03	1,7	6	1	0,5	0,3	
Máximo	9,1	265	38	57	22	66	9	18	2,2	3,0	0,31	20,4	440	248	2,4	4,2	
Desv. Est.	0,5	24	4	6	4	7	1	1,8	0,3	0,3	0,1	2,4	97	35	0,4	0,9	
CORUMBEL																	
Nº análisis	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	77	79	79	79	
Nº datos>LC	79	79	76	79	77	79	76	79	75	75	15	73	73	62	43	10	
Media	8,0	272	12	88	24	30	7	18	2,0	8,1	0,05	2,2	57	28	0,8	0,5	
Mediana	8,0	266	9	89	25	29	7	17	2,0	6,1	0,03	1,9	28	4	0,7	0,4	
Mínimo	6,5	102	4	45	5	13	4	6,3	1,2	1,9	0,03	0,6	5	1	0,5	0,3	
Máximo	9,6	439	69	140	39	51	10	32	5,3	32,5	0,15	15,0	344	327	3,2	1,1	
Desv. Est.	0,7	66	10	23	7	8	1	4,3	0,6	6,7	0,04	1,8	74	61	0,4	0,3	
ANDEVALO																	
Nº análisis	154	154	155	103	155	99	99	102	102	154	154	154	154	154	154	154	
Nº datos>LC	154	154	155	100	155	99	99	101	99	113	39	138	99	129	43	6	
Media	7,5	278	57	25	31	14	11	20	3,1	0,5	0,06	5,3	51	41	1,6	0,4	
Mediana	7,5	273	55	26	30	14	11	20	3,1	0,5	0,04	3,0	20	16	0,7	0,4	
Mínimo	6,1	155	10	13	5	11	8	15	2,4	0,3	0,03	1,0	5	1	0,5	0,3	
Máximo	8,5	401	85	31	56	18	14	25	5,8	0,7	0,47	45,0	336	552	34	0,7	
Desv. Est.	0,4	44	12	3	8	2	1	2,3	0,4	0,1	0,07	6,6	68	66	5,1	0,2	
OLIVARGAS																	
Nº análisis	49	56	50	50	50	62	62	50	50	50	84	50	0	50	50	51	
Nº datos>LC	49	56	50	42	50	62	59	50	44	41	79	49	42	50	40	16	
Media	7,4	222	63	24	14	17	10	13	1,7	1,6	0,5	14	119	269	2,4	1,3	
Mediana	7,3	211	56	25	13	14	9	11	1,6	1,3	0,4	8	79	131	2,3	1,1	
Mínimo	6,6	98	11	13	5	8	6	7	1,0	0,6	0,0	3	9	1	0,8	0,3	
Máximo	8,6	381	138	35	31	44	25	22	4,2	6,0	2,0	90	790	1503	4,3	3,4	
Desv. Est.	0,5	59	28	5	5	7	3	3,8	0,7	0,9	0,4	16	142	309	0,9	0,8	
SANCHO																	
Nº análisis	44	52	46	46	46	58	58	46	46	46	84	46	46	46	84	46	
Nº datos>LC	44	52	46	0	46	58	58	46	40	36	84	46	46	46	83	76	
Media	3,6	584	184	-	33	19	22	23	3,0	0,6	6,6	913	835	2337	46	11,0	
Mediana	3,6	599	189	-	31	18	22	22	2,9	0,5	6,9	956	652	2393	45	10,3	
Mínimo	3,3	273	88	-	10	10	5	7	1,9	0,3	1,0	353	157	205	22	4,4	
Máximo	4,6	784	276	-	89	56	33	33	5,1	1,8	9,5	1287	2721	3765	62	19,8	
Desv. Est.	0,3	108	52	-	13	6,2	5	5	0,7	0,3	1,7	239	558	758	9	3,8	

Tabla 2.- Resumen estadístico de los resultados disponibles en los embalses estudiados en el periodo 2008-2021 (CE: conductividad eléctrica, Alcal.: alcalinidad, LC: Límite de cuantificación).

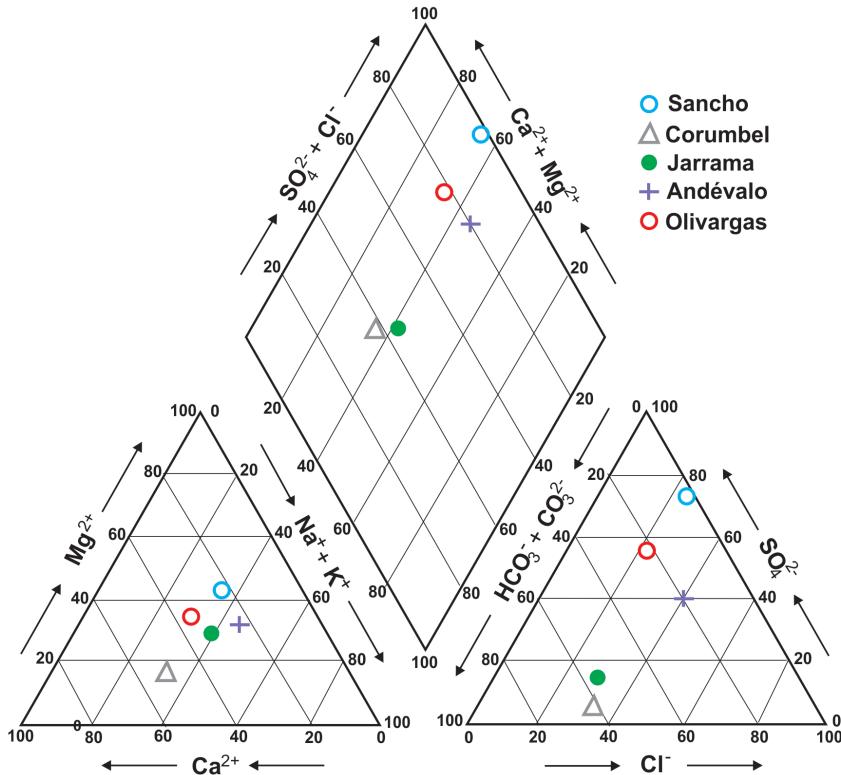


Fig. 3.- Diagrama de Piper representando los valores medios de los embalses estudiados.

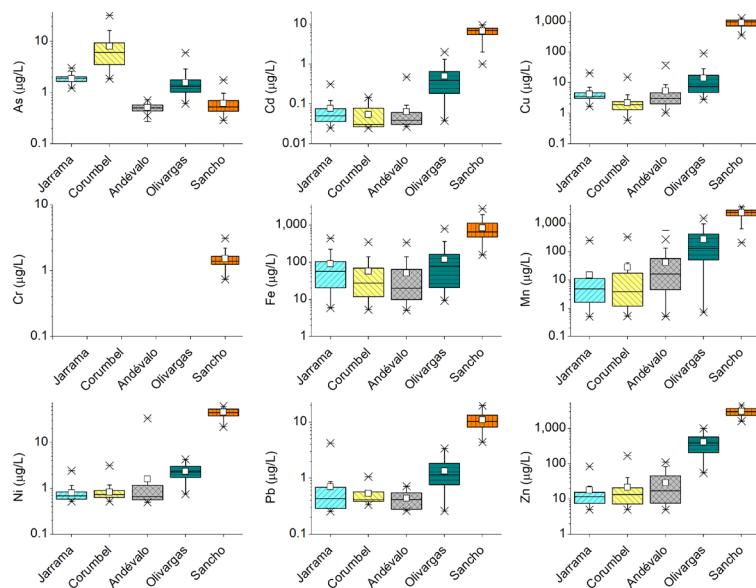


Fig. 4.- Gráfico de caja de elementos contaminantes procedentes de las aguas ácidas de mina (ver pie de Fig. 2 para explicación de los símbolos).

nada, bajos valores de pH y altas concentraciones de metales de origen minero hacen de este embalse un caso extremo a nivel mundial de contaminación por AMD (Cánovas *et al.*, 2016), en comparación con otros embalses y lagos del mundo afectados por este proceso (Igarashi y Oyama, 1999; Nordstrom *et al.*, 1999; Munk y Faure, 2004; Schultze *et al.*, 2010). En los embalses no afectados (Jarama y Corumbel) y en el Andévalo las concentraciones de estos elementos son significativamente menores (valores medios de Fe, Mn y Zn menores a 100 µg/L y de Cd, Cr, Ni y Pb me-

nos a 2 µg/L; Tabla 2 y Fig. 4). En el Olivargas se observan concentraciones mayores que en los embalses anteriores, pero significativamente menores que en el Sancho (medias de 119 µg/L de Fe, 269 µg/L de Mn y 411 µg/L de Zn). Aunque los valores de sulfatos en los embalses de Andévalo y Olivargas son similares, las concentraciones de Cd y Zn son claramente mayores en este último, debido a que los lixiviados ácidos que recibe el Olivargas son muy ricos en estos elementos provenientes principalmente de la mina Monte Romero (Sarmiento *et al.*, 2009; Galván *et al.*, 2021). De este modo, las concentraciones de Cd y Zn en el agua del embalse del Olivargas superan los límites establecidos en las normas de calidad ambiental (RD Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental), haciendo que esta masa de agua se clasifique con un estado final 'peor que bueno' según el Plan Hidrológico del Tinto, Odiel y Piedras (Galván *et al.*, 2021).

Una excepción al comportamiento anterior (mayores concentraciones de elementos de origen minero en el Sancho) es la concentración de As, claramente mayor en el embalse de Corumbel (media de 8.1 µg/L frente a valores inferiores a 2 µg/L en el resto; Tabla 2 y Fig. 4). Aunque el As alcanza elevadas concentraciones en los lixiviados ácidos de las zonas mineras abandonadas, es retirado rápidamente del agua cuando precipita el hierro (e.g. Moreno González *et al.*, 2020), de forma que su concentración decrece conforme nos alejamos de las minas. Por ello, en los embalses

afectados por drenajes ácidos (Sancho, Olivargas y Andévalo) se observa una baja concentración de este elemento. Las elevadas concentraciones de As en el Corumbel, con un valor medio próximo al considerado en la reglamentación española para aguas de consumo humano (10 µg/L, RD140/2003) y picos que superan puntualmente este valor (máximo de 32,5 µg/L), deberían ser objeto de una investigación detallada.

Si comparamos los valores del Sancho con los obtenidos en este embalse en el periodo 2002/2007 por Olías *et*

al. (2011) se comprueba que se ha producido un significativo empeoramiento de sus condiciones a partir de 2008 (Tabla 3). El pH ha descendido de 4,2 a 3,6 y las concentraciones de sulfatos, Cu, Fe Mn, Ni y Zn han ascendido notablemente (entre un 37% y un 112%). Esta evolución se atribuye al incremento del aporte de metales y acidez debido al cierre total de la mina Tharsis, con la consiguiente paralización de las actuaciones de los bombeos para el desagüe de la mina y otras actuaciones de control medioambiental (Cánovas *et al.*, 2016).

	Periodo 2002-2007	Periodo 2008-2021	Diferencia (%)
pH	4,2	3,6	-14%
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	362	584	61%
SO_4 (mg/L)	121	184	52%
Cd ($\mu\text{g}/\text{L}$)	<1	6,6	-
Cu ($\mu\text{g}/\text{L}$)	650	913	40%
Fe ($\mu\text{g}/\text{L}$)	390	835	114%
Mn ($\mu\text{g}/\text{L}$)	1710	2337	37%
Ni ($\mu\text{g}/\text{L}$)	31	46	48%
Zn ($\mu\text{g}/\text{L}$)	1850	3064	66%

Tabla 3.- Comparación de los resultados obtenidos en el embalse del Sancho durante el periodo 2002 a 2007 (Olías *et al.*, 2011) y en el periodo 2008 a 2021 obtenidos en el presente trabajo.

Por otro lado, se ha intentado comparar los valores obtenidos en este trabajo con los resultados previos de otras investigaciones sobre los embalses de la FPI (e.g. Grande *et al.*, 2013). Sin embargo, los resultados de estos autores son muy diferentes pues tomaron las muestras de agua en la cola de los embalses, muy cerca de la entrada de los aportes

fluviales, por lo que varían ampliamente dependiendo del periodo del año y del porcentaje de mezcla entre el agua fluvial y el agua almacenada en el embalse.

En la figura 5 se comprueba cómo con el descenso de pH, especialmente con valores menores a 5, se incrementan intensamente las concentraciones de elementos de origen minero: sulfatos, Cd, Zn y especialmente Fe. Así mismo, se observa que los embalses de Jarrama y Corumbel presentan las menores concentraciones de sulfatos, Zn y Cd, destacando las elevadas concentraciones en el Olivargas en comparación con las del Andévalo por las altas concentraciones de estos elementos en los vertidos de la mina Monte Romero comentadas previamente. Las concentraciones de Fe en los embalses de Jarrama y Corumbel son semejantes que las del Olivargas y Andévalo pues, aunque los primeros reciben unos aportes de Fe mucho menores, los valores de pH próximos a neutros hacen que el Fe^{3+} precipite (Sánchez España *et al.*, 2005b). Es decir, el Fe se comporta como un elemento no conservativo mientras que sulfatos y, en menor medida otros elementos como Cd y Zn, pueden permanecer disueltos en el agua (son conservativos). Los metales que precipitan se acumulan en los sedimentos del fondo de los embalses (Sarmiento *et al.*, 2009; Torres *et al.*, 2013 y 2016).

No obstante, se observa una gran dispersión de las concentraciones (Fig. 5) debida a: 1) La dilución producida durante los periodos de fuertes avenidas y, por el contrario, mayores concentraciones de los aportes durante los periodos secos, 2) La existencia de procesos de estratificación térmica durante la primavera y verano, que provoca diferencias de calidad entre el epilimnion (capa superficial) e hipolimnion (capa profunda), de forma que en este último

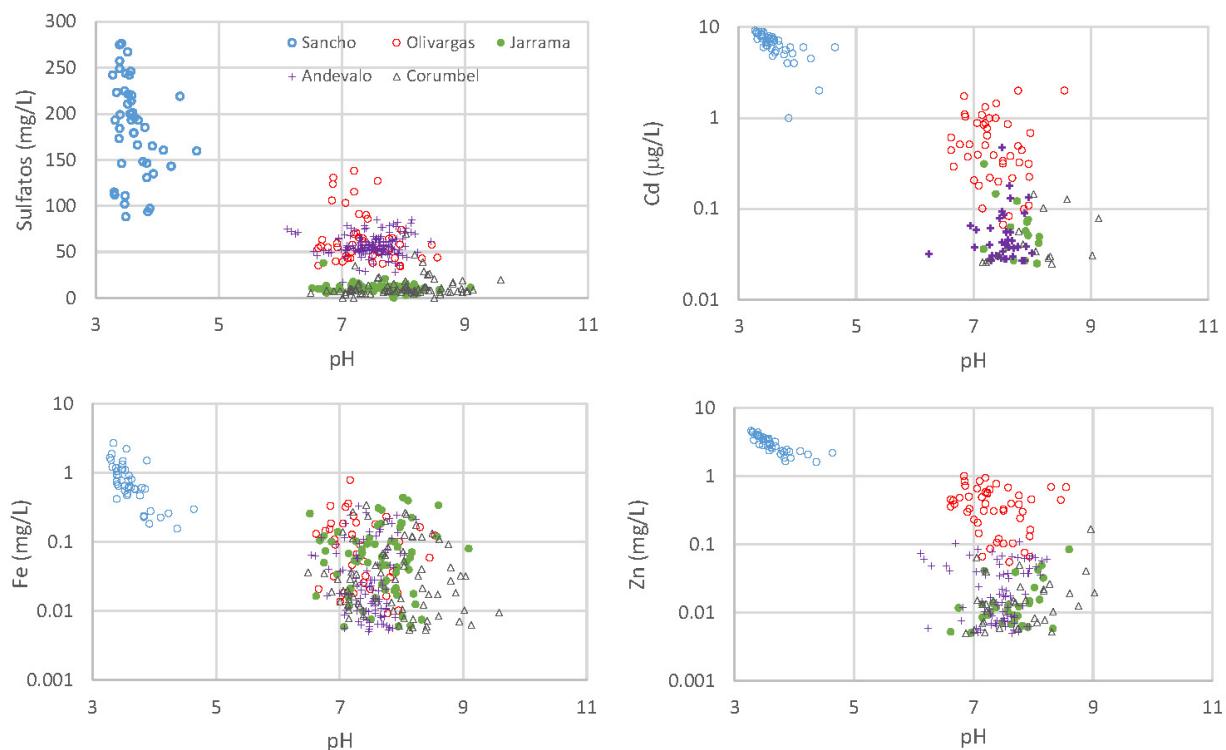


Fig. 5.- Relación entre el pH y las concentraciones de sulfatos, Fe, Cd y Zn en los embalses estudiados.

se puede agotar el oxígeno disuelto y alcanzar condiciones reductoras, 3) La concentración por evaporación durante el estiaje en la capa superficial y, 4) La variación en los aportes de contaminantes de origen minero, como el empeoramiento comentado en el embalse del Sancho en los últimos años (Cánovas *et al.*, 2016), o vertidos accidentales de aguas ácidas (Jofre-Meléndez *et al.*, 2017).

Las concentraciones habituales de elementos de origen minero en los tributarios de los embalses afectados por AMD son muy superiores a las que se tienen en los embalses (DGOHCA, 1996; ACUAES, 2010; Cánovas *et al.*, 2016). Esto se debe a: 1) La dilución de las concentraciones en los embalses producidas durante las grandes avenidas y 2) La precipitación de Fe a valores de pH por encima de aproximadamente 3,5 y de Al en torno a 5, junto con la coprecipitación de otros metales como Pb, Cu, etc. Sin embargo, el factor más importante en la calidad final del agua es el balance entre la acidez y alcalinidad que reciben. Si los vertidos ácidos mineros sobrepasan los aportes de alcalinidad, el pH será ácido lo que provoca que se incremente fuertemente la solubilidad y concentraciones de metales tóxicos.

Comparación de los aportes de acidez a los embalses

Como se ha comentado, la concentración de sulfatos en las aguas superficiales de la FPI es un buen indicador de la contaminación por lixiviados ácidos mineros. En general, los sulfatos disueltos en el agua proceden fundamentalmente de los aerosoles atmosféricos aportados por las precipitaciones. Así, las concentraciones encontradas en los embalses del Jarrama y Corumbel (media de 11,5 mg/L)

pueden considerarse como valor de fondo en los embalses de la FPI no afectados por AMD. Los lixiviados ácidos de mina aportan grandes cantidades de sulfatos disueltos al agua, definiendo el ‘exceso de sulfatos’ como la concentración en cada embalse menos 11,5 mg/L de valor de fondo y multiplicando este ‘exceso’ por la aportación media a cada embalse, podemos obtener la acidez protónica que reciben procedente de las aguas ácidas de mina, puesto que 1 mol de SO_4^{2-} equivale a 1 mol de H_2SO_4 (reacción 1).

En la tabla 4 se calcula esta aportación como toneladas equivalentes de H_2SO_4 . El embalse del Olivargas recibe 2700 toneladas de H_2SO_4 al año, mientras que en los embalses de Andévalo y Sancho se obtienen valores próximos a 5600 toneladas. No obstante, en el embalse del Sancho la repercusión de la carga de acidez es mucho mayor que en el Andévalo, pues su aportación media anual es mucho menor. Dividiendo la acidez recibida por la aportación se obtiene que el embalse del Sancho recibe una carga contaminante por volumen de agua muy superior (176 toneladas de $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{hm}^3$), 3,8 veces más que la que recibe el Andévalo (46 toneladas de $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{hm}^3$) y 3,3 veces más que la del Olivargas (56 toneladas de $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{hm}^3$).

Los valores de pH de Olivargas y Andévalo sólo son ligeramente menores que los de los embalses no afectados (Jarrama y Corumbel) debido a que el pH está tamponado por la alcalinidad del agua. Sin embargo, si se agotara la alcalinidad el pH disminuiría bruscamente. Como se ha comentado previamente, esto tiene importantísimas repercusiones en la calidad del agua, pues con valores de pH neutro la mayoría de los metales tóxicos (como Al, Fe, Cu y Pb) precipitan o coprecipitan y se acumulan en los sedimentos del fondo del embalse. No obstante, elementos más móviles

como Cd, Mn y Zn pueden seguir en concentraciones todavía peligrosas, como ocurre en el Olivargas, aunque mucho menores de las que se alcanzan con valores de pH ácidos.

Implicaciones para la calidad del agua del embalse de Alcolea

El embalse del Sancho tiene una concentración media de sulfatos de 184 mg/L y condiciones ácidas, mientras que los del Olivargas y Andévalo presentan concentraciones de sulfatos próximas a 60 mg/L con valores de pH alrededor de 7,5 y los del Jarrama y Corumbel pH próximos a 8 y concentraciones de sulfatos menores a 12 mg/L. Podemos estimar la concentración máxima de sulfatos con la que un embalse de la FPI tendría un valor de pH neutro a partir de la mezcla del agua del Sancho con las aguas de escorrentía no afectadas por drenajes ácidos de mina, representadas por el embalse del Jarrama (como se ha comentado,

	Aportación hm^3	Sulfatos mg/L	Exceso sulfatos mg/L	Acidez recibida ton H_2SO_4	Acidez recibida ton $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{hm}^3$
Olivargas	51	63	51,5	2681	53
Andévalo	120	57	45,5	5574	46
Sancho	32	184	172,5	5635	176

Tabla 4.- Cálculo de la acidez protónica de origen minero que reciben anualmente los embalses de Sancho, Andévalo y Olivargas.

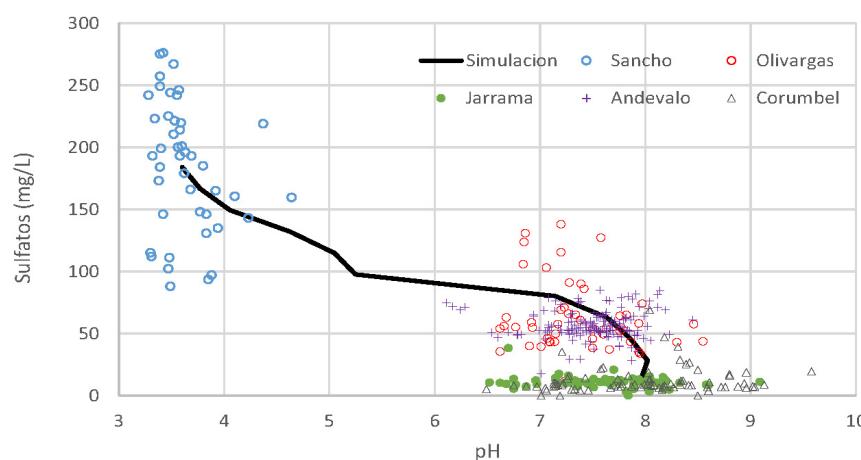


Fig. 6.- Modelo hidrogeoquímico de los valores de pH en función del contenido en sulfatos para la FPI y valores analizados en los embalses estudiados.

el embalse del Corumbel tiene una mayor alcalinidad debido a que su cuenca recibe tributarios de materiales neógenos y por tanto no es representativo de la zona de la FPI. Debido a su influencia sobre el pH, es necesario considerar la concentración de Al en el embalse del Sancho que no es determinada en la red de control oficial de la Junta de Andalucía. Para ello, se ha tomado un valor de 5 mg/L obtenido por Cánovas *et al.* (2016) para este embalse. Los cálculos se han realizado con el programa de simulación hidrogeoquímica PHREEQC, considerando la precipitación de Al como Al(OH)_3 , la precipitación de Fe en forma de schwertmannita y el equilibrio con la atmósfera.

Los resultados se presentan en la figura 6. Se observa que hasta unos 80 mg/L de sulfatos, la alcalinidad del agua mantiene los valores de pH por encima de 7. Con valores superiores a 80 mg/L el pH disminuye rápidamente hasta 5,2 debido al agotamiento de la alcalinidad. Entre pH 5,2 y 5,0 se comprueba el efecto de tamponamiento de Al (la pendiente de la curva se incrementa). Por debajo de pH 5, equivalente a una concentración de sulfatos de unos 120 mg/L, se agota la capacidad de tamponamiento del Al y el pH vuelve a decrecer más rápidamente hasta un pH próximo a 4, cuando comienza la precipitación de Fe. Ello implica que sería necesario reducir los vertidos ácidos en la cuenca del Odiel entre el 45% (para llegar a una concentración de sulfatos del 120 mg/L y un pH de aproximadamente 5,5) y el 70% (para conseguir una concentración de sulfatos de 80 mg/L y un pH por encima de 7).

En la tabla 5 se exponen los valores medios de sulfatos estimados para la presa de Alcolea en los distintos estudios previos disponibles. El estudio de calidad del agua considerado en el proyecto de la presa está basado en una concentración media ponderada con el caudal de cada muestra en Gibraleón a partir de datos de 1974 a 1995 (DGOHCA, 1996). A pesar de obtener una concentración de sulfatos de 292 mg/L y elevadas concentraciones de Cu, Fe, Mn y Zn (Tabla 5), este informe considera que el agua será utilizable sin necesidad de tratamiento debido a ‘efectos mejorantes, de difícil evaluación y por lo tanto no contabilizados en el estudio’ como son: 1) La reducción de la actividad minera, la regeneración de escombreras y vertederos y el control en origen de las fuentes de contaminación; 2) La decantación de metales pesados por el aumento del pH del agua; y 3) La inhibición de la actividad de las bacterias que catalizan la reacción ácida de los sulfuros metálicos al aumentar el pH. Sin embargo, las actuaciones de recuperación que se realizaron no fueron bien diseñadas y no tuvieron una repercusión a escala de cuenca (Sáinz *et al.*, 2003). Por otro lado, para que se produzca la ‘decantación’ de los metales es necesario que previamente se produzca su precipitación/coprecipitación, para lo que se necesitan que se alcancen valores de pH próximos a neutro (e incluso así pueden existir algunos, como Cd y Zn que permanezcan en el agua en concentraciones altas). Respecto a

la inhibición de la actividad de las bacterias que catalizan la reacción de oxidación de los sulfuros, éstas se producen en las zonas mineras donde se encuentran los residuos mineros, pero no actúan una vez que los productos de oxidación de los sulfuros (sulfatos y metales) llegan a la red fluvial o a los embalses.

En el proyecto de modificación de la presa (ACUAES, 2010), se revisan los datos sobre la calidad del agua y se estima, en función de la comparación de la reducción de los valores observados entre el río Meca y el embalse del Sancho a partir de un único muestreo, y considerando numerosas simplificaciones, que tendría un pH entre 5,04 y 5,54, concentraciones de Fe entre 7,78 y 9,15 mg/L, de Zn entre 4,90 y 5,76, etc. (Tabla 5). No obstante, como en el estudio anterior, también se considera que la reducción de la actividad minera y otros procesos de dudosa efectividad, como la inhibición de la actividad de las bacterias que catalizan la oxidación de los sulfuros al aumentar el pH, producirían la mejora de estos valores.

En nuestros estudios previos (Olías *et al.*, 2007 y 2011) se realiza una estimación a partir de la carga contaminante anual del río Odiel en Gibraleón (periodo 1995/2003), calculada mediante las relaciones que existen entre caudal y concentración de contaminantes (Tabla 5). El valor de 157 mg/L de sulfatos se obtuvo en un periodo más lluvioso de lo habitual, con lo que la concentración de sulfatos debe ser menor que en condiciones de precipitación normales. Además, los cálculos se realizan para el río Odiel en Gibraleón y la composición del agua del embalse de Alcolea sería algo peor que la obtenida en Gibraleón, pues entre estos dos puntos el Odiel recibe aguas de escorrentía de zonas no afectadas por drenaje ácido de mina que producen una dilución adicional. Es decir, este valor de 157 mg/L debe considerarse como un umbral mínimo.

En el informe del CEDEX (2011) se revisan los datos obtenidos en estudios previos y se incide sobre la incertidumbre en la calidad final del agua del embalse. De este modo, se indica que será necesario un tratamiento de neutralización para utilizar el agua para riego agrícola. El coste de este tratamiento se estima entre 0,033 y 0,055 €/m³, aunque no se incluyen el tratamiento y depósito de lodos y otras medidas adicionales que podrían ser necesarias dependiendo de la calidad final del agua, que incrementarían notablemente las cifras anteriores. En el trabajo de AYESA (2012) también se consideran los datos iniciales del estudio

	DGOHCA 1996	Hidroguadiana* 1999	ACUAES 2010	Olías <i>et al.</i> , 2007 y 2011	AYESA 2012
pH		5	5,05-5,54		3,46
CE (μS/cm)	720	650	558-657		592,55
SO ₄ (mg/L)	292			157	240,61
Cd (mg/L)	0,03	0,005	<0,005	0,008	0,018
Cu (mg/L)	2,8	3,2	2,73-3,21	1,34	2,17
Fe (mg/L)	2,5	9	7,77-9,15	3,05	0,98
Mn (mg/L)	2,3	3,7	3,16-3,72	1,55	2,04
Pb (mg/L)		0,05	<0,05	0,013	
Zn (mg/L)	5,3	5,8	4,90-5,76	2,79	3,63

Tabla 5.- Estimaciones obtenidas de la calidad del embalse de Alcolea por los estudios previos (*datos en CEDEX, 2011).

de calidad del agua del proyecto de la presa (DGOHCA, 1996) a los que se aplica una reducción en base a la mejora de la calidad del agua observada en el periodo 1999/2007. No obstante, considera que el agua del embalse podría necesitar un tratamiento adicional para eliminar las altas concentraciones de metales tóxicos, previamente a poder ser utilizada para abastecimiento urbano o riego agrícola, con un coste entre 0,08 y 0,20 euros/m³.

Corominas *et al.* (2020) alertan de que los estudios para la realización de la presa que concluyen que la calidad del agua será de buena calidad carecen de justificación científica. Además, concluyen que el análisis de costes realizado por la administración es inadecuado y que la obra no es viable económicamente. Por el contrario, en un informe del Instituto Deltares (Países Bajos) encargado por la Junta de Andalucía se establecía que el pH del agua en el embalse de Alcolea tendría un pH mínimo de 6.39 (Dionisio Pires, 2021a). Sin embargo, este organismo rectificó sus conclusiones poco después en una adenda al informe original, reconociendo que su estudio se basó en pocos datos, contiene numerosos errores y que existe una elevada incertidumbre sobre la calidad del agua en el embalse Alcolea (Dionisio Pires, 2021b). Por último, en otro informe reciente se recomienda, antes de continuar con la construcción de la presa, efectuar un seguimiento exhaustivo de las condiciones en la cuenca y realizar un modelo hidroquímico, como medio de predecir con mayor precisión la calidad del agua en el embalse de Alcolea (CEDEX, 2022).

En la tabla 5 se observa que las concentraciones de sulfatos estimadas para el embalse de Alcolea en los estudios previos disponibles varían entre 157 mg/L y 292 mg/L. Con estos valores y en función de la simulación realizada con PHREEQC las aguas tendrían condiciones ácidas (pH inferior a 4; Fig. 6).

En resumen, en la situación actual el embalse de Alcolea tendría condiciones ácidas y concentraciones elevadas de metales tóxicos, parecidas a las del embalse del Sancho, lo que obligaría a un tratamiento del agua mediante neutralización antes de su utilización para el riego agrícola o abastecimiento urbano. Para conseguir un agua de buena calidad sería necesario una notable reducción de los vertidos ácidos en la cuenca, entre el 45 y el 70%. En los años 90 del siglo pasado ya se realizaron una serie de actuaciones en el marco de un Plan Corrector que, como se ha comentado, no dieron un resultado positivo (Sáinz *et al.*, 2003). Un avance prometedor en el tratamiento de aguas ácidas de minas con muy elevadas concentraciones de metales, como las de la FPI, es el sistema Substrato Alcalino Disperso (DAS por sus iniciales en inglés; Macías *et al.*, 2017). Esta tecnología se basa en un tratamiento pasivo de focos puntuales de AMD, sin energía y con escaso mantenimiento, y ya se han probado a escala real en las minas Esperanza y Concepción con buenos resultados (Orden *et al.*, 2021). En la actualidad, el gran reto es como reducir los aportes ácidos de tipo difuso de las escombreras y otras instalaciones mineras que generan una gran cantidad de contaminantes durante los períodos lluviosos. Para ello, es necesario que las administraciones implicadas realicen un esfuerzo de inversión para restaurar las zonas degradadas,

además de continuar con la investigación de métodos efectivos y sostenibles.

A este respecto, el desarrollo de la minería moderna en la FPI, impulsada actualmente por los elevados precios del Cu, supone una oportunidad para revertir parte de los beneficios generados en la restauración de zonas mineras abandonadas.

Por otro lado, también sería necesario un mejor conocimiento del estado de las cortas mineras inundadas con aguas ácidas de mina, que podrían producir vertidos accidentales como el ocurrido en mayo de 2017 desde la corta de la Zarza, que provocó que 300.000 m³ de aguas ácidas con niveles de contaminación extremos produjeran un gran impacto en el río Odiel (Olías *et al.*, 2019). Si llegaran hasta un embalse vertidos de este tipo tendrían un impacto catastrófico sobre la calidad del agua.

Conclusiones

La composición del agua del embalse del Jarrama, considerada como representativa de las zonas de la FPI no afectadas por aguas ácidas de mina, presenta valores medios de pH de 7,7, conductividad eléctrica de 125 µS/L y una baja alcalinidad (36 mg/L de CaCO₃). Ello pone de manifiesto la escasa capacidad de neutralización de los materiales de la FPI y la elevada vulnerabilidad de las aguas superficiales frente a vertidos ácidos. El embalse del Corumbel tiene una mayor conductividad eléctrica (272 µS/cm) y alcalinidad (88 mg/L de CaCO₃) debido a que recibe aportes de zonas que drenan materiales neógenos carbonatados, además de la FPI. Las concentraciones de metales (Fe, Cd, Cu, Mn, Pb, Zn) en estos embalses son bajas y no generan ningún problema. No obstante, en el embalse del Corumbel se detecta una elevada concentración de As (media de 8,1 µg/L) cuyo origen debería ser objeto de una investigación detallada.

Entre los tres embalses estudiados que reciben aguas ácidas de mina, el del Sancho presenta condiciones ácidas (pH medio de 3,6) y concentraciones elevadas de sulfatos (media de 184 mg/L) y metales tóxicos (medias de 835 µg/L de Fe, 3064 µg/L de Zn, 6,6 µg/L de Cd, etc.). Por el contrario, los embalses del Andévalo y Olivargas presentan valores de pH neutros, una baja alcalinidad (próxima a 25 mg/L de CaCO₃) y concentraciones de sulfatos próximas a 60 mg/L, debido a un menor nivel de afección por aguas ácidas que el del Sancho. En estas condiciones, la mayor parte de los metales tóxicos de origen minero precipitan y se acumulan en los sedimentos del fondo de forma que las concentraciones de Fe son iguales a las de los embalses no afectados. No obstante, algunos metales divalentes tienen una mayor solubilidad en condiciones de pH neutro, lo que junto con sus elevadas concentraciones en los tributarios del embalse del Olivargas, provoca que se alcancen concentraciones medias de 0,5 µg/L de Cd y 411 µg/L de Zn, respectivamente, y hacen que el estado de este embalse se clasifique como 'peor que bueno'.

En resumen, las concentraciones disueltas de elementos de origen minero en las aguas embalsadas están controladas fundamentalmente por: 1) Procesos de dilución

producidos durante las grandes avenidas y 2) Procesos de precipitación/coprecipitación en el embalse, que afectan de distinta a forma a los metales de origen minero en función del pH del agua. A su vez, el pH está controlado por el balance entre la acidez y la alcalinidad recibidas. Así, a partir de las concentraciones de sulfatos se deduce que el embalse del Sancho recibe una acidez protónica procedente de la minería de sulfuros de 176 ton H₂SO₄/hm³, mientras que en los embalses de Andévalo y Olivargas estos valores son aproximadamente 3,5 veces menores. En el embalse del Sancho, la alcalinidad no es suficiente para neutralizar el gran aporte de acidez, lo que explica que tenga un pH ácido y, por consiguiente, muy elevadas concentraciones de elementos tóxicos.

Los resultados de PHREEQC del modelo de la mezcla de aguas entre los embalses del Sancho y Jarama, ponen de manifiesto que para asegurar un pH neutro la concentración de sulfatos debería ser inferior a 80 mg/L, mientras que por encima de 120 mg/L se tendría un pH inferior a 5 y elevadas concentraciones de metales tóxicos. Los distintos estudios realizados estiman una concentración del embalse de Alcolea entre 157 y 292 mg/L, por lo que en las condiciones actuales el valor de pH de este embalse sería menor a 4. Para obtener una buena calidad del agua (pH>7) se deberían eliminar aproximadamente el 70% de los vertidos ácidos mineros en la cuenca del Odiel. En todo caso, es necesario un enorme esfuerzo de inversión en investigación y medidas de restauración para mejorar las condiciones en la cuenca del río Odiel y conseguir alcanzar un buen estado de sus aguas, como obliga la Directiva Marco del Agua.

Agradecimientos y financiación

Este estudio se ha financiado gracias al proyecto AI-HODIEL (PYC20 RE 032 UHU) dentro de la Convocatoria 2020 de ayudas para la realización de proyectos de interés colaborativo en el ámbito de los ecosistemas de innovación de los centros de excelencia internacional y en el marco estratégico por el que se impulsa el desarrollo de proyectos singulares de actuaciones de transferencia en los Campus de Excelencia Internacional en las áreas de la Estrategia de Investigación e Innovación para la Especialización Inteligente de Andalucía (RIS3 ANDALUCÍA) dentro de las actuaciones cofinanciadas por el Programa Operativo FEDER en ANDALUCÍA para el periodo 2014-2020. Así mismo, agradecemos los comentarios y sugerencias de María del Carmen Hidalgo Estévez y un revisor anónimo.

Contribución de autores

Elaboración del trabajo, M.O., C.R.C. y R.M.G.; metodología y obtención de datos, M.O.; figuras, R.M.G.; investigación/análisis, M.O., F.M. y C.R.C.; revisión del manuscrito, F.M. y J.M.N.; coordinación y supervisión, M.O.

Referencias

ACUAES, 2010. Modificación nº 1 del proyecto de ejecución de las obras de la presa de Alcolea. Anejo nº 18. Calidad de

- Aguas. Informe Técnico, Aguas de las Cuencas de España, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 149 p + Anexos.
- Almodóvar, G.R., Yesares, L., Sáez, R., Toscano, M., González, F., Pons, J.M., 2019. Massive Sulfide Ores in the Iberian Pyrite Belt: Mineralogical and Textural Evolution. Minerals, 9: 653. <https://doi.org/10.3390/min9110653>
- AYESA. 2012. Informe sobre la calidad del agua prevista en el embalse de Alcolea. Informe Técnico, 71 p.
- Cánovas, C.R., Olías, M., Macías, F., Torres, E., San Miguel, E.G., Galván, L., Ayora, C., Nieto, J.M., 2016. Water acidification trends in a reservoir of the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). Science of the Total Environment, 541: 400-411. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.070>
- CEDEX, 2011. Estudio preliminar sobre el proyecto del embalse de Alcolea en el río Odiel: Calidad del agua y medidas para su utilización. Informe Técnico, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid, 72 p + 2 Anejos.
- CEDEX, 2022. Estudio sobre la calidad del agua de la cuenca del Odiel en relación con el proyecto del embalse de Alcolea. Informe Técnico, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid, 92 p + 2 Anejos.
- Corominas, J., Corominas, P., del Moral, L., La Calle, A., La Roca, F., 2020. Estudio de casos para la aplicación de la metodología sobre la recuperación de costes de los servicios del agua. El Embalse de Melonares y la presa de Alcolea. Informe Técnico, Fundación Nueva Cultura del Agua/WWF, España, 184 p.
- DGOHCA, 1996. Estudio de la calidad del agua almacenada en la presa de Alcolea. Anejo nº 5 del Proyecto de la Presa de Alcolea, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad del Agua, 91 p.
- Dionisio Pires, M. 2021a. Síntesis sobre los posibles impactos en la calidad del agua de la futura presa de Alcolea. Informe Técnico, Deltares, Paises Bajos, 42 p.
- Dionisio Pires, M. 2021b. Addendum synthesis report possible impacts on water quality by future Alcolea dam. Informe Técnico, Deltares, Paises Bajos, 4 p.
- Galván, L., Olías, M., Cerón, J.C., Fernández de Villarán, R., 2021. Inputs and fate of contaminants in a reservoir with circumneutral water affected by acid mine drainage. Science of the Total Environment, 762: 143614. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143614>
- Grande, J.A. (ed.), 2016. Drenaje ácido de mina en la Faja Pirítica Ibérica. Técnicas de estudio e inventario de explotaciones. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, 348 p.
- Grande, J.A., Santisteban, M., De la Torre, M.L., Valente, T., Pérez-Ostalé, E., 2013. Characterization of AMD Pollution in the reservoirs of the Iberian Pyrite Belt. Mine Water and the Environment, 32: 321-330. <https://doi.org/10.1007/s10230-013-0236-6>
- Grande, J.A., Valente, T., de la Torre, M.L., Santisteban, M., Cerón, J.C., Pérez Ostalé, E., 2014. Characterization of acid mine drainage sources in the Iberian Pyrite Belt: base methodology for quantifying affected areas and for environmental management. Environmental Earth Science, 71: 2729-2738. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2652-0>
- Hierro, A., Olías, M., Ketterer, M.E., Vaca, F., Borrego, J., Cánovas, C.R., Bolívar, J.P., 2014. Geochemical behavior of metals and metalloids in an estuary affected by acid mine drainage (AMD). Environmental Science and Pollution Research, 21: 2611-2627. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2189-5>
- Huelva Información (2021). La presa de Alcolea exige transparencia y abandonar la ficción, 14/10/2021. <https://www.huelvainformacion.es/actualidad/la-presa-de-alcolea-exige-transparencia-y-abandonar-la-ficion-14102021.html>

- www.huelvainformacion.es/huelva/presa-Alcolea-transparencia-abandonar-ficcion_0_1619239084.html (último acceso 26/06/2022).
- Igarashi, T., Oyama, T., 1999. Deterioration of water quality in a reservoir receiving pyrite-bearing rock drainage and its geochemical modeling. *Engineering Geology*, 55: 45-55. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00105-2](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00105-2)
- Jofre-Meléndez, R., Torres, E., Ramos-Arroyo, Y.R., Galván, L., Ruiz-Cánovas, C., Ayora, C., 2017. Reconstruction of an acid water spill in a mountain reservoir. *Water*, 9: 613. <https://doi.org/10.3390/w9090613>
- Macías, F., Pérez-López, R., Caraballo, M.A., Sarmiento, A.M., Cánovas, C.R., Nieto, J.M., Olías, M., Ayora, C., 2017. A geochemical approach to the restoration plans for the Odiel River basin (SW Spain), a watershed deeply polluted by acid mine drainage. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 4506-4516. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8169-9>
- Moreno González, R., Ruiz Cánovas, C., Olías, M., Macías, F., 2020. Seasonal variability of extremely metal rich acid mine drainages from the Tharsis mines (SW Spain). *Environmental Pollution*, 259: 113829. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113829>
- Munk, L., Faure, G., 2004. Effects of pH fluctuations on potentially toxic metals in the water and sediment of the Dillon Reservoir, Summit County, Colorado. *Applied Geochemistry*, 19: 1065-1074. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2004.01.006>
- Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., Olías, M., Cánovas, C.R., Riba, I., Kalman, J., Delvalls, T.A., 2007. Acid mine drainage pollution in the Tinto and Odiel Rivers (Iberian Pyrite Belt, SW Spain) and bioavailability of the transported metals to the Huelva estuary. *Environmental International*, 33: 445-455. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.11.010>
- Nordstrom, D.K., 2015. Baseline and premining geochemical characterization of mined sites. *Applied Geochemistry*, 57: 17-34. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.12.010>
- Nordstrom, D.K., Alpers, C.N., Coston, J.A., Taylor, H.E., McCleskey, R.B., Ball, J.W., Ogle, S., Cotsifas J.S., Davis J.A., 1999. Geochemistry, toxicity, and sorption properties of contaminated sediments and pore waters from two reservoirs receiving acid mine drainage. *U.S.G.S. Water Resources Investigations Report*, 289-296.
- Olías, M., Nieto, J.M., Galván, L., Sarmiento, A.M., Cánovas, C.R., 2007. Sobre la calidad del agua del futuro embalse de Alcolea (cuenca del río Odiel, Huelva). *Geogaceta*, 42: 59-62.
- Olías, M., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., Cánovas, C.R., Galván, L., 2011. Water Quality in the Future Alcolea Reservoir (Odiel River, SW Spain): A Clear Example of the Inappropriate Management of Water Resources in Spain. *Water Resources Management*, 25: 201-215. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9695-8>
- Olías, M., Nieto, J.M., 2012. El impacto de la minería en los ríos Tinto y Odiel a lo largo de la historia. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 25: 177-192.
- Olías, M., Sarmiento, A.M., Vega, R., Cánovas, C.R., Galván, L., Nieto, J.M., 2012. Elementos traza en aguas superficiales de las cuencas de los ríos Tinto y Odiel no afectadas por drenaje ácido de minas. Simposio sobre el Agua en Andalucía, vol. I: 819-828.
- Olías, M., Cánovas, C.R., Basallote, M.D., Macías, F., Pérez-López, R., Moreno González, R., Millán-Becerro, R., Nieto J.M., 2019. Causes and impacts of a mine water spill from an acidic pit lake (Iberian Pyrite Belt). *Environmental Pollution*, 250: 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.011>
- Oliva, M., Vicente-Martorell, J.J., Galindo-Riaño, M.D., Perales, J.A., 2013. Histopathological alterations in Senegal sole, Solea Senegalensis, from a polluted Huelva estuary (SW, Spain). *Fish Physiology and Biochemistry*, 39: 523-545. <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9717-y>
- Orden, S., Macías, F., Cánovas, C.R., Nieto, J.M., Pérez-López, R., 2021. Eco-sustainable passive treatment for mine waters: Full-scale and long-term demonstration. *Journal of Environmental Management*, 280: 111699. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111699>
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 2013. Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3: A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. US Geological Survey, Reston, VA, USA. <https://doi.org/10.3133/tm6A43>
- Rinke, K., Kuehn, B., Bocaniov, S., Wendt-Pothoff, K., Büttner, O., Tittel, J., Schultze, M., Herzsprung, P., Rönicke, P., Rink, K., Rinke, K., Dietze, M., Matthes, M., Paul, L., Friese, K., 2013. Reservoirs as sentinels of catchments: the Rappbode Reservoir Observatory (Harz Mountains, Germany). *Environmental Earth Science*, 69: 523-536. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2464-2>
- Sáinz, A., Grande, J.A., de la Torre, M.L., 2003. Analysis of the impact of local corrective measures on the input of contaminants from the Odiel River to the Ría of Huelva (Spain). *Water, Air and Soil Pollution*, 144: 375-389. <https://doi.org/10.1023/A:1022905502320>
- Sánchez España, J., Lopez Pamo, E., Santofimia, E., Aduvire, O., Reyes, J., Baretino, D., 2005a. Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (Odiel river watershed, Huelva, SW Spain): geochemistry, mineralogy and environmental implications. *Applied Geochemistry*, 20: 1320-1356. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2005.01.011>
- Sánchez España, J., López Pamo, E., Santofimia Pastor, E., Reyes Andrés, J., Martín Rubí, J.A., 2005b. The natural attenuation of two acidic effluents in Tharsis and La Zarza-Perrunal mines (Iberian Pyrite Belt, Huelva, Spain). *Environmental Geology*, 49: 253-266. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0083-2>
- Sarmiento, A.M., Olías, M., Nieto, J.M., Cánovas, C.R., Delgado, J., 2009. Natural attenuation processes in two water reservoirs receiving acid mine drainage. *Science of the Total Environment*, 407: 2051-2062. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.011>
- Schultze, M., Pokrandt, K.H., Hille, W., 2010. Pit lakes of the Central German lignite mining district: Creation, morphometry and water quality aspects. *Limnologica*, 40: 148-155. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.11.006>
- Torres, E., Ayora, C., Cánovas, C.R., García-Robledo, E., Galván, L., Sarmiento, A.M., 2013. Metal cycling during sediment early diagenesis in a water reservoir affected by acid mine drainage. *Science of the Total Environment*, 461/462: 416-429. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.014>
- Torres, E., Galván, L., Cánovas, C.R., Soria-Píriz, S., Arbat-Bofill, M., Nardi, A., Papaspyrou, S., Ayora, C., 2016. Oxycline formation induced by Fe(II) oxidation in a water reservoir affected by acid mine drainage modeled using a 2D hydrodynamic and water quality model - CE-QUAL-W2. *Science of the Total Environment*, 562: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.209>
- Younger, P., 1997. The longevity of minewater pollution: A basis for decision making. *Science of the Total Environment*, 194/195: 457-466. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(96\)05383-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(96)05383-1)

MANUSCRITO RECIBIDO: 28-06-2022

REVISIÓN RECIBIDA: 02-11-2022

MANUSCRITO ACEPTADO: 03-11-2022

LA GEOLOGÍA EN LA OBRA DEL PINTOR GUSTAVE COURBET (1819-1877)

Geology in the work of the painter Gustave Courbet (1819-1877)

Miguel León Garrido

*Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía, C/ Johan Gutemberg, 1, Isla de la Cartuja, 41092-Sevilla.
milega64@hotmail.com*

Abstract: French painter Gustave Courbet (1819-1877) was the main promoter of Realism in European Art. In his landscapes, away from the picturesqueness and sublimity of Romanticism and focused on the materiality of rocks, he depicted cavities, fountains, cliffs and geoforms in the Jura region (France and Switzerland), the Normandy coast or Belgium. Diverse factors played a decisive role in his interest in Geology; his excursions around his native Franche-Comté, the contact with scientific circles in the region, such as the Société d'émulation de Doubs, or his friendship with the French geologist Jules Marcou for which he carried out the geological study *La Roche Pourrie* (1864). During the central decades of the 19th century, the time in which he developed his artistic career, the Transformism controversy between Georges Cuvier and Geoffroy Saint-Hilaire and the first publication of the Origin of Species in French (1862) took place. In addition, it has to be also considered the full development of other "historic" sciences such as Archaeology, Linguistics or History itself, that may be, in that sense, related to Geology. This cultural and scientific environment could have left its mark on the author's work, such as the trend towards the anthropomorphization of rocks or the identification of cavities, sources and resurgences with the female body. His way of working on the canvas can also be described as "geological" given the way of arranging the paste, in an almost sculptural way, retouching it with a palette knife, highlighting the materiality of the painting and pigments. Courbet's geological paintings and its acceptance in the art market reflect both his personal perception of Nature and the commitment to his native region, as well as the emergence of a social awareness and an aesthetic appreciation about the earliest "sites of geological interest" in France. Courbet's works offer a contemporary and valious testimony of the beginnings of Geotourism in Normandy, the Jura or the Ardennes and will influence other artists such as Cézanne or Monet in their series on Normandy or Mount Sainte-Victoire, and also the Spanish realistic landscaping, especially the so-called "Escuela de Guadarrama" when addressing geological aspects of Nature. Courbet's legacy forms an indissoluble part of the Jura's non-material geological heritage as well as a valuable resource from sustainable geotourism in the region.

Keywords: 19th Century Painting, Geotourism, History of Art, Landscape, Geological Heritage

Resumen: El pintor francés Gustave Courbet (1819-1877) fue el principal impulsor del Realismo dentro del arte europeo. En sus paisajes representó cavidades, fuentes, acantilados y diversas geoformas en Francia, Suiza y Bélgica. En su interés por la Geología jugaron un papel decisivo las excursiones por su provincia natal (Franco Condado), el contacto con los círculos científicos de la región, su amistad con el geólogo francés Jules Marcou, la controversia del Transformismo y la recepción de Darwin en Francia. Su forma

de trabajar la materia pictórica sobre el lienzo puede calificarse también de geológica. La abundante producción de cuadros de esta temática y su aceptación en el mercado artístico se inscribe tanto en su percepción personal de la naturaleza y su compromiso social, como en el contexto de los inicios del turismo de masas y del surgimiento de una conciencia social acerca del valor patrimonial de los primeros “lugares de interés geológico”. El artista francés ofrece un testimonio de primera mano de los inicios del Geoturismo en Francia e influirá en otros artistas como Monet, Cézanne o en los del paisajismo realista español a la hora de abordar los aspectos geológicos del paisaje.

Palabras clave: *Pintura del Siglo XIX, Geoturismo, Historia del Arte, Paisaje, Patrimonio Geológico*

León Garrido, M., 2022. La Geología en la obra del pintor Gustave Courbet (1819-1877). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35 (2): 41-57

Introducción

El propósito del presente trabajo es analizar la influencia de la Geología, tomado este concepto en sentido amplio, en la obra del pintor francés Gustave Courbet (1819-1877), máximo representante del Realismo en la pintura del siglo XIX y próximo al Socialismo Utópico y al Positivismo de August Comte (1798-1857). Courbet llevó a cabo una intensa labor artística durante las décadas centrales del siglo XIX, coincidiendo con los inicios del Geoturismo en Francia y con el afianzamiento de las bases epistemológicas de las modernas Ciencias de la Tierra. Este análisis partirá del estudio de una selección de pinturas del artista con una temática geológica, en su mayor parte paisajes, pero también de otras pertenecientes a diversos géneros como el autorretrato, el retrato de grupo o el costumbrista, según una ordenación geográfica (región del Jura, Bélgica y costa de Normandía). De manera previa se esbozará una aproximación a la vida del pintor, al contexto histórico, artístico y cultural bajo el éste desarrolló su actividad, y a su labor intelectual con relación a la Teoría del Arte.

Aspectos biográficos y artísticos¹

Jean-Desiré-Gustave Courbet (Fig. 1) nació el 10 de junio de 1819 en Ornans, una pequeña localidad agrícola del departamento de Doubs, en la antigua provincia francesa del Franco Condado. Fue hijo de un acomodado y culto propietario agrícola. Tras entrar en el Seminario Menor de Ornans, en donde recibió sus primeras clases artísticas en el estudio de Charles-Antoine Flajoulot (1774-1840), un discípulo de Jacques-Louis David (1748-1825), se trasladó a Besançon, la capital del Franco Condado a estudiar en el *Collège Royal*. Aunque se matriculó en París en la Facultad de Derecho en otoño de 1839, no llegó a completar la carrera. Se interesó por el arte formándose en el taller del pintor Charles Steuben (1791-1862), seguidor de Jean-Auguste-Dominique Ingres (1780-1867), en donde permaneció un breve periodo de tiempo para inscribirse posteriormente en la Academia Suiza. Durante su estancia en París a primeros de la década de los 40 se dedicó a copiar los cuadros de los grandes maestros expuestos en los museos del Louvre y de Luxemburgo, y en la Galería Española de

Luis Felipe de Orleans. Courbet recibió una gran influencia de la pintura veneciana de Tiziano Vecellio (h. 1490-1576), del flamenco Anton Van Dyck (1599-1641), del holandés Rembrandt van Rijn (1606-1669) y de los españoles Diego de Silva y Velázquez (1599-1660), Francisco de Zurbarán (1598-1664) y Bartolomé Esteban Murillo (1618-1682). Con motivo de su viaje a Holanda y Bélgica, a finales de la década de los cuarenta, descubrió al holandés Frans Hals (1584-1666) y a los grandes paisajistas neerlandeses del siglo XVII.



Fig. 1.- Gustave Courbet (hacia 1860). De Gaspard-Félix Tournachon, Nadar, (1820-1910) (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=75684809>).

El pintor volvió a su pueblo natal a mediados de la década de los 40 y comenzó una exitosa carrera artística en la que abundaron los paisajes, autorretratos y pintura de género. En el año 1847, el *Autorretrato con perro negro* (1844) (Tabla 1) fue la primera de sus pinturas admitida en un Salón de la Academia de Bellas Artes de París (en adelante, el Salón y la Academia, respectivamente). Volvió a exponer en Salón el año 1851, con algunas de sus primeras obras maestras como *Los picapedreros* (1849) o *Entierro en Ornans* (1849-1850), varias de ellas envueltas en la polémica, algo que nunca abandonará al pintor durante el resto de su vida, tanto por las temáticas abordadas como por la crudeza de su tratamiento, alejadas de las directrices del gusto de la Academia. Durante la Exposición Universal de París de 1855 muchos de sus cuadros no fueron admitidos para exponerse en el Salón de ese año, por lo que decidió montar una exposición paralela bajo la denominación de Pabellón del Realismo, en la que se expuso entre otras *El taller del pintor* (1854-1855), una de sus creaciones más emblemáticas y toda una declaración programática de sus intenciones artísticas.

La obra y fama de Courbet alcanzó su apogeo en la década de los 60, con numerosas exposiciones y viajes para pintar paisajes. Acumuló varias distinciones artísticas y en

1870 le fue ofrecida la Legión de Honor por el gobierno de Napoleón III, que rechazó por sus convicciones republicanas y socialistas. Tras la Guerra Franco-Prusiana de 1871 y el derrocamiento del régimen monárquico, participó de forma activa de la Comuna de París como miembro de la Comisión de Enseñanza y Arte y apoyó el derribo de la Columna Vendôme, símbolo para los revolucionarios de la opresión monárquica. Después de la derrota de los comunitarios, fue juzgado en 1873 por dicha acción y condenado a una fuerte multa que conllevaría el embargo de sus bienes y la amenaza de cárcel. Courbet huyó a Suiza, en donde falleció en 1877.

Courbet y el Realismo

Courbet fue la cabeza más visible de la denominada Escuela Realista en Francia, que alcanzó su apogeo en las décadas centrales del siglo XIX. Este movimiento artístico surgió al calor de las Revoluciones de 1848, como protesta contra el arte oficial y “burgués” y con la convicción de que los artistas debían tomar conciencia de su misión social y copiar los usos y costumbres de la sociedad para mejorarlo en beneficio de las clases más humildes, que serán las más representadas por los artistas realistas. Así,

Año	Obra	Localización	Temática
Inicio década 1840	<i>Desfiladero rocoso en el valle de Lauterbrunn, Suiza.</i>	Museo del Louvre, París	Paisaje rocoso. Macizo del Jura
Inicio década 1840	<i>La Dame verte</i>	Museo del Louvre, París	Cavidades, geoturismo
1844	<i>Autorretrato con perro negro</i>	Petit Palais, París	Cavidades
1849	<i>Entierro en Ornans</i>	Museo de Orsay, París	Paisaje rocoso. Macizo del Jura
Después de 1850	<i>El salto de Doubs</i>	Museo de Bellas Artes Jules Chérét, Niza	Cascadas, saltos de agua
1855	<i>Paisaje rocoso en los alrededores de Flagey</i>	Museo de Orsay, París	Retrato de grupo, surgencias
1855	<i>La roca de las Diez Horas</i>	Museo de Orsay, París	Paisaje rocoso. Macizo del Jura
1856	<i>La roca de Moniat, frente a Anseremme</i>	Palacio de Bellas Artes y Arqueología, Lille	Paisajes rocosos, geoturismo
1856	<i>El Mosa a la altura de Freyr</i>	Palacio de Bellas Artes y Arqueología, Lille	Paisajes rocosos, geoturismo
1864	<i>Las rocas de Hauteville</i>	Instituto de Arte, Chicago	Paisaje rocoso. Macizo del Jura
1866	<i>El Origen del mundo</i>	Museo de Orsay, París	Desnudo, simbolismo, cavidades, surgencias
1870	<i>El acantilado de Étretat después de la tormenta</i>	Museo de Orsay, París	Acantilados, paisaje litoral
1870	<i>El mar tormentoso</i>	Museo de Orsay, París	Acantilados, paisaje litoral
1874-1877	<i>Atardecer en el Lago Lehman</i>	Museo Jenisch, Vevey	Paisaje rocoso, Macizo del Jura
1876	<i>Gran panorama de los Alpes</i>	Museo de Historia del Arte, Ginebra	Relieve, geomorfología

Tabla 1.- Otras obras de Gustave Courbet citadas en el trabajo.

“El Realismo es un arte científico, naturalista, anticlásico, antirromántico, antiacadémico, pero sobre todo progresista y social. No cree en la belleza única, ni en lo sublime, ni en los modelos clásicos, ni en las academias. Su única fuente ha de ser la observación del natural” (Antigüedad y Aznar 1998: 194). Entre los intelectuales que apoyaron el movimiento se encontraron el filósofo socialista utópico Pierre-Joseph Proudhon (1809-1865), el novelista Jules-François Félix Fleury, *Champfleury*, (1821-1889) y el crítico Jules-Antoine Castagnary (1831-1888). Dentro del Realismo se movieron otros artistas franceses, como Jean François Millet (1814-1875), que prestó en sus obras un especial protagonismo a los campesinos en sus tareas cotidianas, u Honoré Daumier (1805-1879), dibujante, pintor, grabador y escultor, con una gran capacidad para la sátira y la crítica social y política. En el campo de la literatura se pueden destacar a Honoré de Balzac (1799-1850) o Gustave Flaubert (1821-1880).

En paralelo al Realismo en la pintura francesa surgió la denominada Escuela de Barbizon, una localidad cercana a París a la que los artistas podían acudir en tren a pintar la naturaleza. Los miembros de este grupo - al que se ha considerado un antecedente del Impresionismo - como Theodore Rousseau (1812-1867), Narcisse-Virgile Diaz de la Peña (1807-1876) o el más conocido de ellos, Camille Corot (1796-1875), buscaron representar un paisaje “real”, teniendo en cuenta más sus valores cromáticos que sus significados históricos, políticos, sociales o “espirituales”, fuera de connotaciones “pintorescas” o “sublimes”² (Rodríguez, 1996: 151; Antigüedad y Aznar, 1998: 203-204).

En cuanto a su labor teórica, Courbet se consideró a sí mismo como una persona autodidacta, no abrió ningún estudio para la enseñanza de otros artistas y sus publicaciones fueron escasas. Afirmaba: “El título de realista se me impuso como se les impuso a los hombres de 1830 el título de románticos. Los títulos nunca han dado una idea justa de las cosas (...). Saber para hacer, tal fue mi pensamiento. Estar capacitado para traducir las costumbres, las ideas, el aspecto de mi época, según mi apreciación; ser, no solo un pintor, sino también un hombre; en una palabra, hacer arte vivo, tal es mi objetivo” (Courbet, 1855). En 1861 publicó una especie de manifiesto, titulado por Castagnary *Manifiesto del Realismo*, en el que afirmaba: “Pintar es esencialmente un arte concreto y consiste en la representación de las cosas reales y existentes (...). Lo bello está en la naturaleza y se encuentra en la realidad bajo las formas más diversas (...). Pero el artista no tiene derecho de engrandecer esta expresión. No puede tocarlo más que arriesgándose a debilitarlo. Lo bello dado por la naturaleza es superior a todas las convenciones del artista” (Courbet, 1861).

Courbet y la Geología

Courbet no poseía ninguna formación específica en Ciencias. La afición por la naturaleza en general y por la Geología en particular provino del conocimiento directo obtenido durante sus paseos por la campiña de su región, sus partidas de caza y sus frecuentes viajes a la costa de Normandía. Además, descendía de una familia de pró-

peros y experimentados agricultores, como su padre y su abuelo, que conocían al detalle los terrenos de su comarca. Miembro de la ilustrada burguesía rural de su provincia, durante un año fue socio de la *Société d'émulation de Doubs*, una organización fundada en 1840 dedicada a promover la investigación en la región, y que todavía sigue en activo. Los estudios de la *Société* se plasmaron en las *Mémoires de la Société d'émulation du Doubs*, con numerosas publicaciones sobre Zoología, Geología y otras ciencias naturales. Estos contactos le permitirían conocer al geólogo Jules Marcou (1824-1898), miembro de la sociedad equivalente en el Jura, por mediación de su gran amigo y paisano el poeta y polímatra Joseph-Maximilien (Max) Buchon (1818-1869), y pintará por encargo del geólogo francés *La Roche Pourrie* (1864) (Chu, 1988, 2007 a y b). Marcou fue un personaje con el que Courbet compartirá una serie de afinidades personales, como su pertenencia a la región del Jura, una formación autodidacta, en este caso en relación con la Geología, y una fuerte personalidad. Pese a su formación inicial en Matemáticas, Marcou se interesó por las Ciencias de la Tierra e ingresará en la Sociedad Geológica de Francia muy joven (1845) y tendrá contactos con Jules Thurmann (1804-1855), pionero de los modernos estudios geológicos en el Jura, con Alcide d'Orbigny (1802-1857), uno de los padres de la Micropaleontología, con Louis Agassiz (1808-1873), con el que le unirá una gran amistad y del que escribirá de una biografía (1896)³ y con Alexandre Brongniart (1770-1847). Marcou viajó a Estados Unidos junto con Agassiz, y fue el autor del primer *Mapa geológico de los Estados Unidos* (1855), todo un hito en la literatura geológica de su tiempo (Durand-Delga y Moureau, 1994).

Análisis de las obras

El Jura

Paisajes rocosos del Franco Condado. Courbet frecuentó el Franco Condado y los paisajes del Macizo del Jura desde muy joven. El macizo calcáreo, de 400 km de largo y 70 km de ancho en promedio, también se extiende a Suiza y Alemania. Al norte limita con el Sundgau en Alsacia y el Rin, al sur con el Departamento de Ain y el Macizo de Chartreuse, al oeste con las depresiones del Saona, Bresse y Ródano, y al este con la Cuenca Molásica de Suiza. El relieve del Jura aparece a principios del Mioceno tardío (11 Ma) acentuándose a mediados del Plioceno (3 Ma) (Reilé 2010a: 176). Los pliegues resultantes forman una alternancia de sinclinales y anticlinales que dan lugar al relieve típico del Jura, una sucesión de montañas y valles. Las cavidades kársticas también son características en la región. En el caso del Franco Condado se han inventariado más de 9.000 (Reilé, 2010a: 177).

Courbet exploró las valles y desfiladeros de los alrededores de Ornans. Entre los muchos paisajes rocosos que pintó se pueden mencionar *Las rocas de Mouthier* (1855) (Fig. 2). Mouthier está al pie de un cortado calizo de unos 500 m de altura coronado por una cornisa de 100 m de espesor, excavada por el río Loue. En dicho relieve se puede

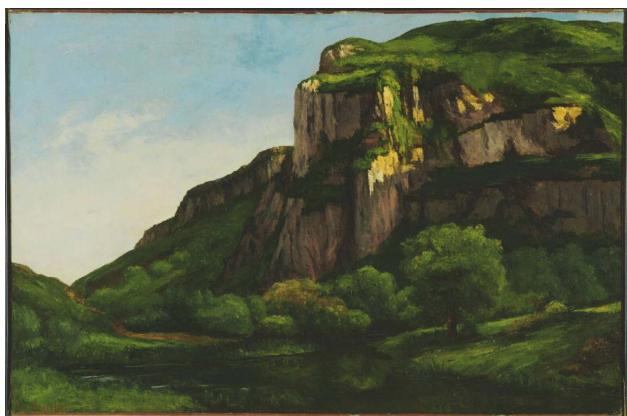


Fig. 2.- *Las rocas de Mouthier* (1855). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo, 75,565 x 116,84 cm. Colección Phillips, Washington (<https://www.phillipscollection.org/collection/rocks-mouthier>).

observar un cabalgamiento de materiales liásicos sobre el Cretácico inferior, con un desplazamiento de varios kilómetros. Mouthier-Hautepierre se ha citado con frecuencia como uno de los ejemplos emblemáticos de la geología del Jura a partir de los trabajos de Gustave Emile Haug (1861-1927) y Wilfried Kilian (1862-1925) a primeros del siglo XX (Haug y Kilian, 1905-1906; DREAL, 2014a; Carozzi, 2019). Otros parajes recogidos por el pintor fueron el *Paisaje rocoso en los alrededores de Flagey* (1855), una especie de circo, *Las rocas de Hautepierre* (1864-1874) o los paisajes de los alrededores de su localidad natal en una de sus obras más conocidas, *Entierro en Ornans* (1849), donde los relieves tabulares del Jura y el valle del río Loue conforman el telón de fondo bajo el que se desarrolla el sepelio (Tabla 1). Courbet destacó la materialidad de los afloramientos rocosos, en tonos amarillentos, grises o blancos sobre prados o vegetaciones verdes y cielos azules, y les confirió una luminosidad especial. También pintó los grandes paisajes de Suiza, en especial durante los últimos años de su vida, con sus desfiladeros, grandes panorámicas o diversas vistas del lago Lehman (Tabla 1).

Una de las primeras obras emblemáticas de Courbet y que exhibió en el Salón de 1850 fue *Los picapedreros* (1849-1850) (Fig. 3), desaparecida en Dresde durante los bombardeos de la II Guerra Mundial y que se conoce por



Fig. 3.- *Los picapedreros* (1849). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo, 165 x 257 cm. Gemäldegalerie, Dresde, desaparecido durante la II Guerra Mundial (<https://es.artsdot.com/@/8Y35AL-Gustave-Courbet-Los-picapedreros>).

ilustraciones y reproducciones. En este cuadro Courbet reflejó el encuentro en una carretera con dos peones camineros que luego posaron junto a él. Se trata de una obra de gran formato (165 x 257 cm), más propio de la pintura histórica que del género costumbrista, lo que da una idea de la importancia que el pintor francés concedía a la temática. Para ilustrar la dureza del trabajo soportado por las clases humildes Courbet no recurrió a imágenes del proletariado urbano en las fábricas textiles, ni al mundo de los mineros, tareas que exigen un cierto nivel de tecnificación, especialización e inversión de capitales. Por el contrario, mostró el trabajo más simple, basado en la pura fuerza humana, el "picar piedra" en el que el hombre mayor rompe la roca con un mazo mientras que el joven acopia los trozos en un cesto. En ningún momento se pueden distinguir los rostros de los protagonistas, casi de espaldas al espectador, personajes anónimos situados en un espacio agobiante. Al fondo a la derecha se observa un cortado con las calizas del Jura, el único punto de luz de la escena. Toda la escena carece de cualquier atisbo de pintoresquismo, o costumbrismo amable y se centra en el esfuerzo físico, en la materialidad de las rocas, en las herramientas o en la raída indumentaria de los trabajadores (Antigüedad y Aznar, 1998: 198; Reyero, 1993: 134-135). Courbet, además de denunciar las condiciones miserables del proletariado del Franco Condado, quería escenificar el fatalismo y la imposibilidad de que estas clases salieran de su condición; "El anciano está arrodillado, el joven está detrás de él, erguido y sujetado con fuerza una cesta con cantos de piedra. ¡Ay!, en ese estado ¡así se empieza y así se acaba!" (Courbet, en Lindsay, 1973:59). Al contemplar el cuadro resulta casi inevitable pensar la sucesión erosión-transporte-sedimentación-erosión, en un tiempo cíclico en donde no se atisba ni huellas de un inicio ni vestigios de un fin, en el Uniformitarismo y el Actualismo de James Hutton (1726-1797) o de Charles Lyell (1797-1875).

Su amigo Marcou, que vivía en Salins-Les-Bains y al

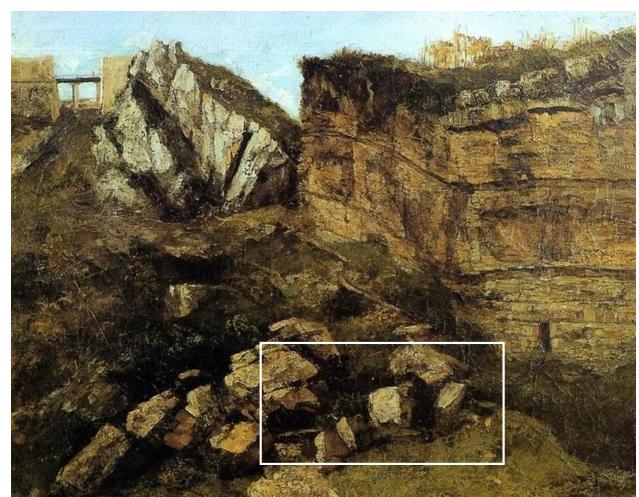


Fig. 4.- *La Roche Pourrie, estudio geológico* (1864). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo, 60 x 75 cm. Museo de Bellas Artes de Dole (Francia) (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Courbet_rochePourrie-salins.jpg). El cuadrado blanco indica el retrato de Marcou.

que Courbet solía visitar, le encargó *La Roche Pourrie, estudio geológico* (Fig. 4). En los cortados calizos que dominan la población se puede observar una falla normal que pone en contacto los materiales subhorizontales del Aalenense, al que se adscribe la *Roche Pourrie*, con unas calizas blancas del Bajociense-Bathoniense con un buzamiento de unos 45°. El desplazamiento provocado por la falla se estima en torno a los 70 m (DREAL, 2014b: 102-104). Marcou había conseguido dar renombre mundial a las rocas locales en sus estudios sobre el Jurásico plasmados en su obra *Lettres Sur Les Roches Du Jura Et Leur Distribution Géographique Dans Les Deux Hémisphères* (1857-1860). Courbet y Marcou se desplazaron al lugar a finales de diciembre de 1864. El cuadro, tanto en su título como en su contenido, hace una representación explícita a la estratigrafía, tectónica y a la geomorfología de dicho afloramiento, de unos 10 m de altura. La composición se dispone en tres zonas distintas: una pared rocosa a la derecha, en la que potentes estratos de calizas del Aalenense alternan con niveles finos de margas y se corona con vegetación en la parte superior, un primer plano piramidal de bloques de calizas procedentes del colapso de los niveles del Aalenense y que se acercan al espectador, la falla normal y finalmente un saliente de calizas blancas del Bajociense-Bathoniense en la parte superior izquierda (Contini, 1970: 47-48; Bichet y Camy, 2008: 37). Courbet diferencia las distintas partes del afloramiento, utilizando el cuchillo sobre las calizas blancas de la izquierda, mientras que en la pared de la derecha aplica de manera delicada los esmaltes de color tierra en las capas de calizas ferruginosas que alternan con los niveles más finos de margas. Las calizas aalenianas transmiten una sensación de compactación, especialmente en los estratos situados en la base del afloramiento, bajo el primer nivel margoso. En las rocas caídas del primer plano, la pasta pictórica también se retoca con el cuchillo y la espátula. Abajo a la derecha, se identifica un diminuto retrato de Marcou (Fig. 4). Courbet incluso siguió la gama de colores empleada por Marcou, en tonos marrones, rojizos y azules. Pese a su pequeño formato (60 x 73 cm) y aparente simplicidad, esta obra, la única de Courbet con una referencia explícita a la Geología, causó un gran impacto en la crítica cuando se exhibió por primera vez en 1867, y dio a conocer este paraje en posteriores publicaciones sobre el patrimonio de la región (Morton y Eyerman, 2006: 81; Chu, 2007a: 79-80, Fumey, 2007: 49-50; Galvez, 2022a: 72-76).

Cavidades y surgencias. Courbet representó las cavidades de su región desde los inicios de su carrera, como en el ya mencionado *Autorretrato con perro negro* (1844) (Tabla 1). La escena se sitúa a la entrada de la cueva de Bonnevaux, en su tierra natal y uno de sus lugares favoritos de paseo (Reyero, 1993: 132).

Las principales unidades geomorfológicas del Jura del Franco Condado son el resultado de la alternancia entre materiales calcáreos karstificados que alternan con materiales arcillosos impermeables a lo largo de varios cientos de kilómetros cuadrados. Dan lugar a manantiales de un gran caudal, destacando las fuentes del Lison y la Loue o la Cueva de Sarrazine y están en el origen de fenómenos notables como la surgencia del arroyo Brême en *Puits Noir* o

Pozo Negro. Los nacimientos del Loue y del Lison constituyan ya lugares atractivos desde los inicios del Geoturismo en Francia, así como motores de la economía local, dados los numerosos molinos que se alimentaban de la energía de sus corrientes (Gauchon y Biot, 2010: 113).

El manantial del Loue brota de las calizas del Jurásico superior. Los espeleólogos han explorado hasta 1.800 m a partir de la boca. La fuente del Lison consiste en una surgencia de tipo vauclusiano que surge en las calizas del Jurásico medio formando una cascada de unos 30 m de salto. Además de la fuente como surgencia principal, presenta un desbordamiento, la cueva de Sarrazine, también llamada “abrigó de San Cristóbal”, de 100 m de ancho, 30 m de alto en su entrada y recorrido explorado de unos 4 km. El manantial asociado a la cavidad se manifiesta dos o tres veces al año, dando lugar a un arroyo tributario del río Lison (Reilé, 2010b y c; Museo Gustave Courbet, 2022a).

A mediados de la década de 1860, Courbet pintó con frecuencia cuevas como un medio para explorar libremente la composición y la técnica, y para demostrar su firme creencia de que los temas artísticos deben estar arraigados en la experiencia vivida (Museo Paul Getty, 2022). La versión de la *Cueva de Sarrazine* cerca de Nans-Sous-Sainte-Anne del Museo Paul Getty (Fig. 5), se sitúa lateralmente a la escala de la cueva, permitiendo ver algunos restos de actividad humana en la pared. La cavidad se abre como una majestuosa arcada excavada sobre las calizas del Bathoniense (DREAL, 2014a).

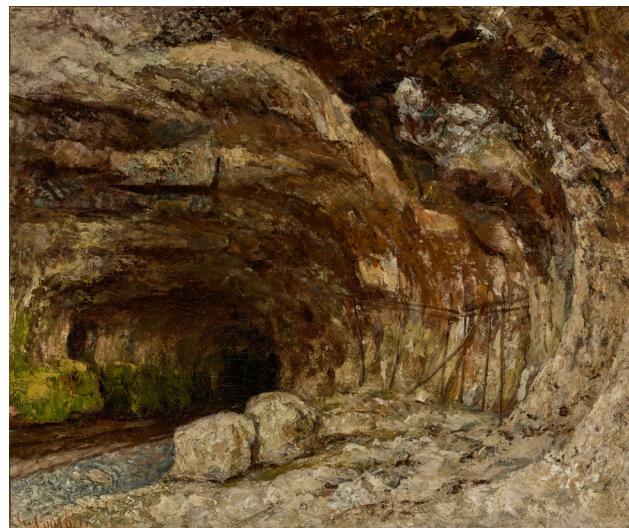


Fig. 5.- *Cueva de Sarrazine cerca de Nans-Sous-Sainte-Anne* (1864). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo 50,2 x 60 cm. Museo Getty, Los Ángeles (<https://www.getty.edu/art/collection/object/1096PR>).

De la *Fuente del Loue* (1864), existen al menos seis versiones. La presente en la Galería Nacional de Washington (Fig. 6) lleva al espectador muy cerca de la gruta, de modo que mira directamente a través del agua hacia las abruptas paredes rocosas y la boca amenazante de la caverna, que es señalada por un pescador sobre una plataforma de madera. Destaca la materialidad de los potentes estratos de caliza del Kimmeridgiense (DREAL, 2014a: 45). En comparación, el hombre parece diminuto.



Fig. 6.- Fuente de la Loue (1864). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo 98,4 x 130,4 cm. Galería Nacional de Washington (<https://www.nga.gov/collection/art-object-page.43681.html>).

Por lo que respecta a la *Fuente del Lison* en el cuadro del mismo año (Fig. 7) el pintor muestra una vista frontal de las aguas que se derraman fuera de la gruta ligeramente elevada, se reúnen en el estanque de abajo y parecen fluir por el borde inferior de la imagen hacia el espectador. Courbet hace una reproducción detallada de las paredes de caliza del Bajociense (Reilé, 2010c: 180), la superficie reflectante del agua y la espuma, intentando plasmar la fuerza de la corriente (Küster *et al.*, 2014).



Fig. 7.- Fuente del Lison (1864). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo 65,5 x 80,5 cm. Museo estatal de Berlín ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Courbet_-_Die_Quelle_des_Lison,_um_1864_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Courbet_-_Die_Quelle_des_Lison,_um_1864_(cropped).jpg)).

El arroyo negro (Le puits noir) (1865) fue otro paraje representado muchas veces por el artista. Se trata de una surgencia periódica a favor de una sima o *gouffre* del Jurásico medio, de 35 m de profundidad, que da lugar al arroyo Brême (Reilé, 2007; DREAL, 2014a). Courbet se recrea en el barranco, en la textura de las rocas y peñascos a base de tonos ocreos, grises azulados y verdosos, como por ejemplo en la versión de 1865 del Museo de Orsay y transmite una sensación de sosiego y soledad (Fig. 8).



Fig. 8.- El arroyo negro (Le puits noir) (1865). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo, 93,5 x 131,5 cm. Museo de Orsay, París (<https://www.musee-orsay.fr/es/obras/le-ruisseau-noir-971>).

Por último, durante su exilio en Suiza pintó un lugar ya entonces de gran interés para los turistas, la *Gruta de los gigantes, cerca de Saillon* (1873) (Fig. 9), debido a la forma antropomorfa de la roca de la entrada. Además, Courbet representó las infraestructuras para la visita, una serie de pasarelas de maderas que permitieron el acceso a los excursionistas, e incluso a uno de ellos de pie sobre la supuesta cara del gigante (Chu, 2007a: 7).

Cascadas y saltos de agua. Ya desde muy joven Courbet pintó los numerosos saltos de agua de los alrededores

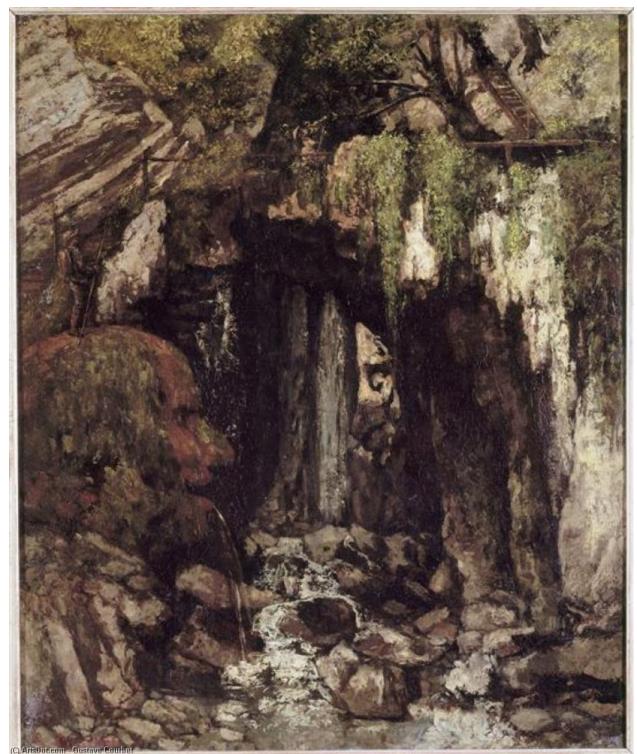


Fig. 9.- Gruta de los Gigantes, cerca de Saillon (1873). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo, 93 x 87 cm. Museo de Picardia, Amiens (<https://wikioo.org/es/paintings.php?refarticle=8XY6BK&titlepainting=La+Cueva+de+los+Gigantes+de+Saillon+Suiza&artistname=Gustave+Courbet>). Nótese la cara que aparece en la roca de debajo del excursionista.

de Ornans. Una de sus realizaciones más conocidas fue *El Gour de Conche* (1864) (Fig. 10) una cascada de 17 m sobre calizas del Jurásico superior del arroyo del mismo nombre, afluente del Lison, a 10 km de Salins, en cuyas paredes se ha depositado toba calcárea. Fue un encargo del industrial Alfred Bouvet (1820-1900). Courbet no tuvo inconveniente, para agradar al cliente, en modificar la visión y exagerar el chorro de agua (Leibundgut, 2017; Museo Gustave Courbet, 2022b). De entre las numerosas obras con temática similar se puede destacar el *Salto de agua en los alrededores de Doubs* (después de 1850) del Museo de Bellas Artes de Niza (Tabla 1).



Fig. 10.- *El Gour de Conche* (1864). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo, 74 x 60 cm. Museo de Orsay, cedido al Museo de Bellas Artes y Arqueología de Besançon (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Gustave_Courbet-Le_Gour_de_Conche.jpg). Las flechas señalan las posibles figuras antropomorfas.

Bélgica

Además de su región natal y las costas de Normandía, Courbet viajó por diversos lugares de Bélgica y Alemania. Durante su periplo desde Bruselas a Frankfurt en 1856, Courbet pintó *La roca de Bayard* (Fig. 11), una aguja rocosa de 35 m de altura en las orillas del Mosa que flanquea el camino de entrada a Dinant, una localidad de las Ardenas belgas e importante destino turístico desde mediados del siglo XIX. Según las leyendas medievales, este llamativo relieve tuvo su origen en el golpe de la pezuña de Bayard, un caballo mítico que perteneció a Carlomagno, al saltar sobre el río mientras transportaba en sus lomos a cuatro jinetes huyendo de sus enemigos. En realidad, fue debido a

unas voladuras a cargo de las tropas francesas de Luis XIV en el siglo XVII para permitir la entrada a la localidad, formando un paso que fue ampliado en obras posteriores (Chu, 2007a: 12-14). Otras geoformas presentes a lo largo del Mosa y recogidas en los cuadros de Courbet fueron *La roca de Moniat*, también cerca de Dinant, hoy muy demandada por los amantes de la escalada, o *El Mosa a la altura de Freyr* (Marechal, 2013: 32) (Tabla 1).

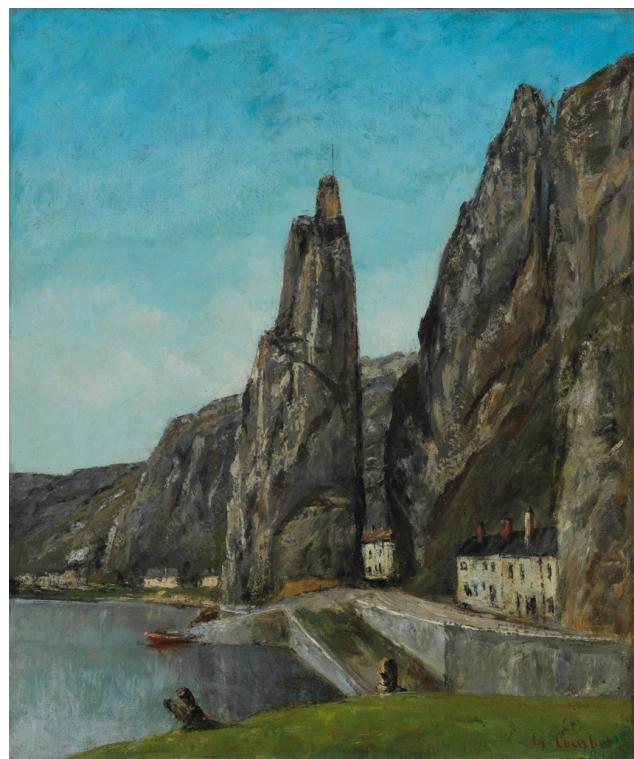


Fig. 11.- *La Roca de Bayard* (1858). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo, 56 x 47 cm. Museo Fitzwilliam, Cambridge (<https://data.fitzmuseum.cam.ac.uk/id/image/media-217681>).

La costa francesa

La aproximación más o menos verista al género de las marinas y los modelados costeros comenzó a finales del siglo XVIII y primeros del XIX con el inglés John Constable (1776-1837) y sus cuadros en el Canal de la Mancha. Las playas normandas, también denominadas "Costa de alabastro" ofrecían unos atractivos acantilados y unos llamativos modelados como pináculos y arcos, que llamaron la atención de pintores románticos como Eugene Delacroix (1798-1863) o escritores como Guy de Maupassant (1850-1893) y Víctor Hugo (1802-1885). Courbet visitó la costa asiduamente desde 1859 y coincidió con otros pintores que acudieron a la región interesados por los efectos ópticos de la luz, la atmósfera y la coloración sobre la vegetación y las rocas. Entre ellos se pueden mencionar a Édouard Manet (1832-1883), Claude Monet (1840-1926), Camille Pissarro (1830-1903) y Pierre-Auguste Renoir (1841-1919) (Walther, 1992: 74). Courbet, en sus famosos "paysages du mer", pintó los acantilados y geoformas de la costa normanda dándoles un tratamiento escultórico de una manera similar a las rocas de los paisajes del Franco Condado, y

con una ejecución rápida. Sus marinas se pueden dividir, *gross modo*, en vistas de acantilados y geoformas, generalmente durante la marea baja, y en imágenes del oleaje sobre las orillas, captando la energía y acción mareal, los guijarros y las piedras desmenuzadas (Morton y Eyerman, 2006: 103-105).

Una de las series más famosas fue la dedicada al acantilado de Étretat. Localizado en el borde noroeste de la Cuenca de París, está formado sobre rocas del Cretácico superior (Cenomanense superior a Coniacense medio) con una estructura relativamente sencilla según un sinclinal con flancos de suave pendiente. Este sinclinal es cortado por una falla normal NNO-SSE en su límite más occidental (falla de Fécamp-Lillebonne) de unos 100 m de salto que permite observar una sucesión de creta con intercalaciones silíceas y fosfatadas asociadas a paleosuelos (Hoyez, 2010). En la versión del Instituto Barber de Bellas Artes de Birmingham de *El arco marino de Étretat*, Courbet representó el acantilado, el arco por el que es famoso, y detrás del mismo otra curiosa geoforma, la aguja calcárea conocida como *l'Aiguille creuse* o Aguja hueca (Fig. 12).



Fig. 12.- *El arco marino de Étretat* (1870). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo, 76,2 x 123,1 cm. Instituto Barber de Bellas Artes de Birmingham (<https://barber.org.uk/gustave-courbet-1819-1877/>).

En *La tromba de agua* del Instituto de Arte de Chicago (1866) (Fig. 13) el artista refleja perfectamente la fuerza de las olas sobre la costa normanda. Courbet había observado los tornados que se originaban en el Canal de la Mancha. Mediante el uso de la espátula y los pigmentos, reflejó la materialidad de la pared rocosa al ser golpeada por el agua embravecida. Hay que destacar, en el bloque caído, la sensación de apilamiento de los estratos calcáreos (Herbert, 2014: 350-352). La ola adquiere igualmente una consistencia casi mineral (Bozal, 2013).

Discusión

A la hora de analizar el protagonismo que tuvo la Geología en la obra de Courbet habría que considerar una serie de factores, en muchos casos interrelacionados: a) La evolución de la Historia del Arte en general y del género del Paisaje en particular; b) los aspectos relacionados con la sociedad de su época, como los mecanismos del mercado artístico, la popularización del turismo o una nueva apreciación patrimonial y estética de determinados luga-



Fig. 13.- *La tromba de agua* (1870). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo 68,9 x 99,7 cm. Museo Metropolitano de Arte de Nueva York (<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/436006>).

res singulares; c) El surgimiento del Transformismo y el Darwinismo; d) La propia experiencia personal del artista y su vinculación afectiva con el territorio en el que habitaba; y finalmente e) La naturaleza intrínseca de la propia obra de arte, tanto en su técnica de ejecución como sus interpretaciones formales y simbólicas.

La evolución de la Historia del Arte y del género del Paisaje

El interés por el realismo en el paisaje francés arranca con el tratado del pintor Pierre-Henri de Valenciennes *Réflexions et conseils à un élève sur le peinture, et particulièrement sur le genre du paysage* (1800). Si bien se enmarca todavía en la tradición de la naturaleza idealizada, el mismo Valenciennes recomienda a los jóvenes pintores que viajen por Francia e Italia a fin de recopilar un repertorio de lugares reales, prestando atención a los aspectos geológicos, entre otros, para incluir como fondo en la gran pintura histórica o el paisaje majestuoso (Zimmermann, 1999: 22). Posteriormente, durante las primeras décadas del siglo XIX comenzaron a aparecer publicaciones de viajes a modo de guías para viajeros, con numerosas litografías y textos ilustrativos. Además de representar vistas de ciudades o monumentos, en muchos casos recogían enclaves de gran belleza e interés geológico, compaginando una visión pintoresca con un interés por la representación científica. La más famosa en su tiempo fue la serie de *Voyages pittoresques et romantiques dans l'ancienne France*, de Charles Nodier (1780-1844) e Isidore-Justin-Séverin Taylor, (1789-1879), con una edición específica para cada región francesa. Estas guías incluían una sección sobre la geología y geografía, entre otras, y fueron fuente de inspiración para pintores como Corot, Rousseau o el propio Courbet, favoreciendo una visión realista de la naturaleza frente a la tradición inglesa (pintoresca), italiana (belleza clásica) o suiza (sublime) (Thomas, 2002: 115-118). En el caso de Courbet, sus pinturas del año 1864 sobre la cueva de Sarrazine o la fuente de la Loue guardan un gran parecido con diversas litografías de cuevas recogidas en el

Voyages pittoresques correspondiente al Franco Condado (1824), en el que los propios autores hablan de la antigüedad de los terrenos del país y su “arqueología pintoresca” (Nodier *et al.*, 1824: 11-13) (Fig. 14).



Fig. 14.- Fuente del Lison (1824). Litografía de James Duffield Harding, en *Voyages pittoresques et romantiques dans l'ancienne France. Franche-Comté* (<https://archive.org/details/clevelandart-1941.162-voyages-pittoresques>).

Sociedad, mercado artístico, turismo y valoración del Patrimonio Natural

Muchos de los cuadros que Courbet pintó tanto en el Franco Condado como en Normandía o Suiza iban dirigidos a un público interesado en los paisajes de la región (Chu, 2007b: 146-160). Por lo que respecta al nacimiento del río Lison y la gruta de Sarrazine, ya fueron representados por Courbet en sus cuadernos de bocetos, que datan de principios de la década de 1840, en los que aparecen diversos visitantes descansando sobre las rocas dentro de una cueva, una clara indicación de la popularidad de estos lugares (Fig. 15) (Chu, 2007a: 8). Así, las obras artísticas de Courbet, consideradas exclusivamente en su papel de fuentes históricas, aportan una valiosa información sobre el desarrollo del Geoturismo y del surgimiento de una nueva conciencia del valor científico, cultural, económico y sentimental del patrimonio geológico en la sociedad francesa de su tiempo como parte del acervo común. Las surgencias y cuevas como las de la Loue, Lison o Sarrazine, junto con otros 17 sitios del Franco Condado, jugaron un papel fundamental en la protección del patrimonio natural de Francia. En Doubs, en los inicios del siglo XX un proyecto de desarrollo hidráulico que podría afectar a las fuentes del Lison movilizó a los habitantes de Nans-sous-Sainte-Anne, que apelaron a su miembro del Parlamento, Charles Beauquier (1833-1916), diputado radical por Doubs, amigo de Courbet y primer presidente de Sociedad para la Protección de los Paisajes de Francia (1901). Con motivo de esta polémica el Parlamento francés aprobó el 21 de abril de 1906 la Ley relativa a la Protección de los Sitios Monumentos Naturales de Carácter Artístico (Asamblea

Nacional de Francia, 1906; De Weber *et al.*, 2010: 33; Museo Gustave Courbet, 2022a). Actualmente Ornans se localiza en el Parque Natural Regional del Alto Jura. Los valles de la Loue y el Lison están incluidos en la Red Ecológica Europa Natura 2000 (FR4301291 *Vallées de la Loue et du Lison*) debido a la importancia del medio kárstico y de los hábitats que éste alberga (INPN, 2021) y seleccionados en el Inventario regional del patrimonio geológico del Franco Condado, como igualmente los *Puits Noir*, el cabalgamiento de Mouthier-Hautepierre o la *Roche Pourrie*, entre otros (DREAL, 2014a y b).



Fig. 15.- Grupo de caminantes sentados a la entrada de una cueva (principios de la década de 1840). Gustave Courbet, cuaderno de apuntes. Museo del Louvre, Departamento de artes gráficas (Chu, 2007:8).

El impacto del Transformismo y Darwinismo en la percepción artística de Courbet acerca de la Naturaleza

Varios autores han apuntado a un hipotético conocimiento de Courbet de las teorías geológicas en discusión durante los años centrales del siglo XIX, que se reflejarían tanto en su pensamiento artístico como de manera directa en su obra. Según Chu (1988) su pertenencia, aunque breve, a la *Société d'émulation du Doubs* le permitiría conocer la teoría Transformista de Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) postulada en su *Philosophie zoologique* (1809). Hay que hacer constar que casi 30 años antes de la publicación de *El Origen de las Especies* de Charles Darwin (1859) en Francia, ya existía una notoria controversia entre Georges Cuvier (1769-1832), defensor del Catastrofismo y Etienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844) seguidor de Lamarck (Corsi, 2005). A través de estas polémicas y de las *Mémoires de la Société d'émulation du Doubs*, Courbet concebiría el paisaje como una entidad dinámica, sujeta a cambios por la acción de la naturaleza y el ser humano (Chu, 1988). De acuerdo con este planteamiento, los fragmentos de la roca colapsada de la *Roche Pourrie* (Fig. 4) sugerirían una fragilidad casi humana (Howe, 2013b: 80). Georgopoulos (2016) llama la atención sobre el hecho de que la primera traducción al francés de la obra de Darwin fuera publicada el año 1862, a cargo de la filósofa, científica y economista Clémence Royer (1830-1902), dos años antes de que el

pintor realizará uno de sus ciclos más famosos de pinturas sobre las cuevas, grutas y fuentes de Ornans, que se ha comentado arriba. Este autor sugiere que la publicación del *Origen* causaría un fuerte impacto en los medios científicos franceses y Courbet podría haber conocido dicha obra a través de la correspondencia mantenida durante esos años con Marcou. El propio Courbet escribió en una carta destinada al escritor Victor Hugo: “Los miradores de nuestras montañas nos ofrecen también el espectáculo sin límites de la inmensidad. (...). Te confieso, poeta, que amo la tierra firme y la orquestación de las innumerables manadas que habitan nuestras montañas. ¡El mar! El mar con sus encantos me entristece. En sus estados de ánimo alegres, me hace pensar en un tigre que ríe; en sus estados de ánimo tristes recuerdan las lágrimas de cocodrilo, y en su furia, el monstruo enjaulado que no puede tragarme” (Courbet, 1864). Courbet se sentiría así interconectado con todas las fuerzas vivientes. Georgopoulos (2016: 32) establece también una relación entre un fragmento de Darwin en el *Origen de las Especies* y el diminuto pescador que aparece al borde de la *Fuente de la Loue* señalando la oscuridad de la cavidad (Fig. 6): “Toda la historia del mundo, actualmente conocida, aunque de una extensión bastante incomprendible para nosotros, en lo sucesivo será reconocido como un mero fragmento de tiempo, en comparación con las edades que han transcurrido desde la primera criatura, el progenitor de innumerables descendientes extintos y vivos, fue creado. En un futuro lejano veo abierto campos para investigaciones mucho más importantes. [...] Se arrojará luz sobre el origen del hombre y su historia” (Darwin, 1859: 306).

Esta influencia del Transformismo podría relacionarse con la tendencia más o menos constatada hacia la antropomorfización y/o zoomorfización de los relieves o rocas concretas presente en algunos cuadros de Courbet, en una tradición pictórica con raíces en la Edad Media (Reyero, 1993: 116). Courbet admitía ya en 1856 que podía modificar los motivos de su pintura con propósitos metafóricos, según su percepción de las funciones que desarrollaban tanto las personas como los objetos inanimados: “Los juzgo por su verdadero valor; reconozco la función real para cada ser, y así logré dar un significado adecuado a cada uno en mis pinturas; incluso hago pensar a las piedras” (Silvestre, 1856). El ejemplo más claro quizás sea *El escultor* (1844) (Fig. 16), una obra temprana. El protagonista, que no es otro que el propio Courbet, aparece en un paisaje muy posiblemente de su región natal. Un pequeño nacimiento brota al lado de su rodilla izquierda y encima del orificio parece vislumbrarse la imagen de la cabeza de una mujer y su hombro izquierdo, como si hubiera sido tallado en bajorrelieve sobre la roca por el protagonista de la escena, sugiriendo un vínculo entre el escultor, la mujer y la naturaleza (Fried, 2003: 65-66). Toussaint (1978: 152) considera que muchos paisajes de Courbet podrían contener imágenes antropomórficas o zoomórficas, confiriendo a las rocas y a la vegetación un parecido humorístico y clandestino con animales y plantas. Esto sería patente en *El Gour de Conche* (Fig. 10), en el que según la autora se distinguen en las paredes de la toba calcárea una serie de caras y figuras, así como en el retrato de Marcou en la *Roche Pourrie* (Fig. 4).

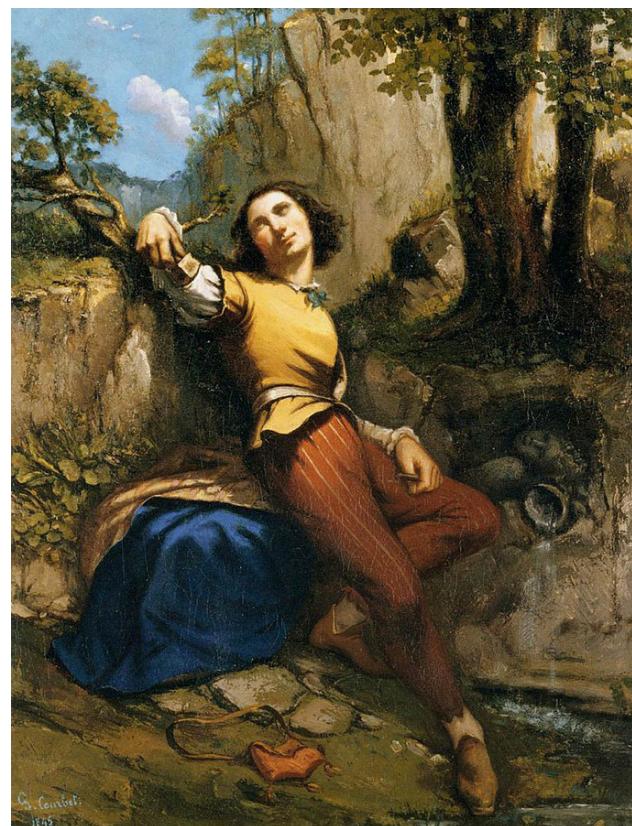


Fig. 16.- *El escultor* (1845). Gustave Courbet. Óleo sobre lienzo, 41 x 55 cm. Colección privada (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gustave-courbet-Le-Sculpteur.jpg?uselang=fr>).

Se pueden distinguir con más claridad varios rostros antropomorfos en la *Gruta de los gigantes* (Fig. 9). Fried (2003: 238 y ss.) apunta la presencia de figuras similares en otros cuadros de diversos géneros del pintor, y no descarta, además, una intención satírica. En otros casos esta supuesta antropororfización resulta más especulativa y podría tratarse de un fenómeno de pareidolia o tendencia del ser humano a la identificación de rostros en objetos inanimados.

Donde sí se constata un testimonio directo sobre la influencia de la Geología en la obra de Courbet es en *La Roche Pourrie* (Fig. 4). Para Marcou la *Fer de la Roche Pourrie* fue, sin duda, muy importante, y con esta denominación estableció la novena de sus subdivisiones del Jurásico, que hoy sería equivalente al Aalenense (base del Jurásico medio). La definió de la siguiente manera “9. Fer de la Roche Pourrie.- Hidróxido de hierro, oolítico, óxido oscuro con manchas de color azul negruzco. La caliza que lo contiene es más o menos compacta, y se encuentra superpuesta e intercalada con calizas margosas de color azul amarillento bandeadas con grandes vetas de hidróxido de hierro. Espesor total, 10 m...” (Marcou, 1857-1860: 29)⁴ y citó una abundante y variada fauna de ammonoides y braquiópodos. La descripción de Marcou coincide perfectamente con el cuadro de Courbet, una traslación del afloramiento a la tela sin que se pueda distinguir dónde acaban las instrucciones detalladas del científico y dónde empieza el instinto del artista (Galvez, 2022a: 72-75). Hay que resaltar además lo difícil del acceso al afloramiento, que requeriría tanto a Marcou como a Courbet trepar o casi esca-

lar por las paredes de roca (Galvez, 2022b). Además, según Marcou, la roca ya llamó la atención de Alexandre Brongniart en 1817, que levantó un perfil transversal detallado en color y luego montó en su estudio. Brongniart mencionaría las rocas de Salins y particularmente la Roche Pourrie en la edición de 1822 de su *Description géologique des environs de Paris* junto con Cuvier y dentro de sus *Tableau des terrains qui composent l'écorce du Globe* (1829). Marcou tuvo la oportunidad de discutir sobre la importancia de este afloramiento con Brongniart y los límites del Lias en junio de 1847, unas pocas semanas antes de la muerte de éste, y así el cuadro constituiría además un homenaje a uno de los padres de la moderna Estratigrafía (Marcou, 1857-1860: 30; Galvez, 2022a: 74-75).

Resulta interesante, en relación con el patrimonio geológico “inmaterial”, el hecho de que Courbet refleja en sus obras varios lugares a los que se asocian leyendas antiguas o medievales. Es el caso de la Roca de Bayard o los arcos de la costa de Normandía (Chu, 2007a). Por otro lado, las cuevas del valle del Loue y en general las cavidades del entorno de Ornans serían, según algunas tradiciones francesas, la morada de seres parecidos a los dragones de los relatos mitológicos (*vouivre, guivre*), o de una supuesta hada, la *Dame verte* o dama verde (Buchon, 1863; Hertert-Nigay, 2019; *La France pittoresque*, 2020), similares al *cuélebre* asturiano o a las *xanas*. Además, el gran amigo de Courbet, Max Buchon, dedicó una obra poética a la fuente del Loue (*La Loue*), exaltando su tierra y sus rocas y sus formas acastilladas, sus ríos con largas cabelleras, como signo de resistencia incluso desde los tiempos de los romanos⁵. El cerro de Alaise, en el entorno del Gour de Conche, se ha relacionado con la batalla de Alesia (52 a.C.), que supuso la victoria final de Julio César, “*le chauve romain*” del poema de Buchon, contra los galos (Galvez, 2022b; Museo Gustave Courbet, 2022). Para Herding (1991) el paisaje del Franco Condado, en las antípodas del parisino, evocaría en el pintor un refugio para su absoluta libertad e independencia personal; de ahí de las formas acastilladas de las montañas del Jura, a modo de desafío frente al centralismo capitalino.

La naturaleza de la obra de arte. Técnica y significado

Como último punto para esta reflexión habría que considerar aspectos inherentes a la propia obra de arte. En primer lugar, habría que tener en cuenta la técnica pictórica de Courbet. El artista empleaba empastes muy espesos, visibles sobre la tela, aplicando la pasta muchas veces con espátula en vez de pincel, adquiriendo un aspecto rugoso, de manera que la pintura “se convierte en una cosa visible, casi construida” (Antigüedad y Aznar, 1998: 195), con un aspecto “estructurado y compacto” (Reyero, 1993: 113) y “la materia pictórica es como una creta en la que el artista plasma esa cosa real que es el cuadro” (Argan, 1975: 33-34). Todo lo anterior, unido por el abundante uso de colores ocres y terrosos, confiere a la materia pictórica de Courbet un aspecto, conformación y consistencia casi “geológica”. Se trataría de una pintura “matérica” en la que rompe la lisura del soporte y la textura física se convierte así en uno

de los elementos expresivos importantes de la obra (Callizo Gutiérrez, 2013: 42). El pintor francés quiere subrayar los valores propios del lugar, la materialidad de las rocas. En el caso de los acantilados de Normandía, según Álvarez-Campana Gallo (2015), frente a la representación del acantilado desde lo puramente visual que llevan a cabo los Impresionistas, en especial Monet, Courbet muestra una masa rocosa, casi infranqueable y rotunda, una “*artealización*”. El artista de Ornans capta la peculiaridad de estos paisajes “inorgánicos” costeros, productos de una interacción entre la mole calcárea y la acción erosiva del Atlántico, mediante una visión realista que pretendía volcar cada detalle de las geoformas, del oleaje e incluso el cielo (Álvarez-Campana Gallo, 2015). De *El acantilado de Étretat después de la tormenta* (1870) expuesto en el Salón de 1870 y hoy en el Museo de Orsay (Tabla 1) un crítico llegó a decir “Hay una cierta cantidad de exageración, incluso, se podría decir, de énfasis excesivo, en la profusión mineralógica con la que ha dotado sus rocas en la *Falaise d'Étretat*, brillando con toda la categoría de piedras preciosas, desde diamantes a malaquita” (Bénédite, 1912: 81).

Otra cuestión reside en el significado de las obras, aunque ya se han planteado algunas aproximaciones en los epígrafes anteriores. Si bien los aspectos relativos a la interpretación de la obra de arte resultan complejos, si pueden apuntarse varios rasgos más o menos comunes en bastantes cuadros de Courbet con la Geología de protagonista, y en general en sus paisajes: a) En cuanto a la composición de muchos de ellos abunda el horizonte elevado o casi inexistente (salvo en las marinas), que hace que el observador se centre en la materialidad de las rocas, fuentes y cuevas; b) Las rocas, como *La Roche Pourrie*, o las corrientes de agua que surgen de las fuentes “avanzan” hacia el espectador, como si quisieran introducirlos en el cuadro; c) Una relativa reducción de los colores (verdes, pardos, ocres y blancos gredosos); d) El ser humano o sus realizaciones se hallan ausentes o en un último plano, pero como apunta Bozal (2013) en ningún caso las obras transmiten una sensación de sublimidad.

Galvez (2022a) postula que los paisajes de Courbet no serían “geológicos” debido a la distribución en “capas” de la superficie pictórica, aunque eso suceda a menudo en su obra; dicha analogía se podría aplicar prácticamente a cualquier pintura, según este historiador del arte. Sus paisajes serían “geológicos” porque la pintura de Courbet, a mediados de la década de los 60 del siglo XIX, compartiría con otras disciplinas – Lingüística, Arqueología y por supuesto Geología – un deseo más general, el desenmarañar los períodos (o capas) de los procesos históricos para llegar a un origen perdido en el remoto pasado. Su estilo personal y único de disponer la pintura en capas sería únicamente un medio para tal fin. (Galvez, 2022a: 75-76). Su amigo el poeta Buchon llegó a comparar el trabajo de un geólogo recolectando rocas y minerales con la tarea de un lingüista recopilando palabras (Buchon, 1863).

Por último, se ha constatado un cierto consenso entre los principales especialistas en la obra de Courbet sobre la relación que establece el pintor entre el cuerpo de la mujer y las cuevas, surgencias y ríos. A este aspecto hay que ha-

cer constar que, a diferencia con el castellano, río, *rivière* en francés, designa un género femenino. Esta analogía se puede ejemplificar con otra de las obras más famosas de Courbet, no descubierta hasta tiempos relativamente recientes, *El Origen del mundo* (1866) (Tabla 1). *El Origen del mundo* ha marcado un antes y un después en el género del desnudo femenino por la forma directa, nunca antes abordada, de su tratamiento. Esta representación explícita del sexo, a tamaño natural y visto de frente se ha relacionado con la fascinación de Courbet por las cavernas y grutas, fuentes y ríos de su región, analogía comentada por diversos autores (Fried, 2003: 207-208). Por ejemplo, Hoffmann (1978) ha relacionado *El Origen del mundo* con la *Dame verte* (1843) (Tabla 1) una pequeña cueva situada en las inmediaciones de Ornans. Para este autor Courbet muestra una visión “que percibe en la naturaleza una criatura femenina y, en consecuencia, proyecta la experiencia de la cueva y la gruta en el cuerpo femenino” (Hoffman, 1978: 610). Perret (2017: 16) hace notar que igualmente que “*El Origen del mundo* tiene una gran similitud con fuentes, pozos, cuevas y abismos”. Similares consideraciones se han hecho para la *Fuente de la Loue* (Galvez 2022a: 18-19).

Conclusiones

La relación y atracción de Courbet con la geología de su región coincidió con el desarrollo del turismo en Francia durante el siglo XIX (Green, 1990). Las nuevas clases medias popularizaron una actividad de ocio que hundía sus raíces en el *Grand Tour* de los siglos XVII y XVIII. A todo ello contribuyeron circunstancias tecnológicas, económicas y sociales, como la mejora en las redes de transportes, sobre todo del ferrocarril, que permitieron un desplazamiento relativamente rápido a zonas hasta entonces de difícil acceso, o la consolidación de una burguesía acomodada que no solo visitaba estos lugares sino que también demandaba este tipo de obras, por lo general de formato reducido y de relativamente fácil y rápida ejecución y que encontraban una buena acogida en el mercado artístico. En paralelo tuvo lugar la “época heroica” de la Geología, durante la cual esta ciencia adquiere su *corpus epistemológico* básico, las grandes teorías que la consolidarán.

El gran número de cuadros que Courbet dedicó a los relieves, rocas, fuentes y cavidades de su país tuvieron la virtud de dar a conocer buena parte de la geología del Jura a gran parte del público francés, en especial los pintados en el entorno de Ornans en las décadas de 1850 y 1860, despojados en muchos casos de cualquier connotación narrativa o idealizada. Courbet llegó a realizar varias versiones de un mismo sitio en apenas una o dos jornadas y conseguía venderlas a elevados precios (Riat, 1906). No obstante, las pinturas “geológicas” de Courbet no pretendían constituirse en documentos científicos, salvo quizás en la *Roche Pourrie*. De hecho, como se ha comentado, el autor podía modificar el punto de vista o determinados detalles para agradar al cliente como en el caso del *Gour de Conche*. No se limitaron a presentar meras reproducciones de la naturaleza, sino que reflejaron la atracción que sentían tanto el artista como los viajeros por estos lugares (Mor-

ton y Eyerman, 2006: 81). Pero Courbet, además de pintar estos lugares populares para el mercado del turismo y excursionismo, reflejó una visión particular, una especie de “arqueología visual” más allá del mero paisaje para ir descubriendo las capas sucesivamente más antiguas tanto de las rocas como de la conciencia humana (Galvez, 2022b). Cézanne fue quizás el primer espectador consciente de esta particular percepción del artista de Ornans cuando afirmó delante de *El mar tormentoso* (1870) (Tabla 1) “su marea procede del más lejano pasado” (Museo de Orsay, 2022).

La contribución al conocimiento del patrimonio geológico de su tierra, al Geoturismo y al desarrollo sostenible perdura incluso hoy, tanto por la “publicidad” que sus cuadros suponen para estos lugares, como por la consolidación de rutas temáticas o “parcours” en los alrededores de su localidad que aunando arte, historia, paisaje y geología, invitan a los visitantes a recorrer por estos lugares (Museo Gustave Courbet, 2022c). En este sentido cabe valorar la influencia de los paisajes geológicos de Courbet en otros artistas y en la promoción de otros destinos geoturísticos. Las series de cuadros que llevó a cabo en el Franco Condado o en Normandía pueden considerarse los antecedentes de otras grandes series pictóricas que tuvieron como protagonistas diversas geoformas. Es el caso de los más de 80 cuadros de Monet en la costa normanda, o de Cézanne, un apasionado de la Geología que afirmaba que para pintar bien un paisaje debía descubrir en primer lugar las capas geológicas. La montaña Sainte-Victoire en Aix-en Provence, su lugar natal, fue el tema más repetido en sus obras. Se trata de una mole de calizas del Jurásico, que había sido visitada por botánicos, paleontólogos y geólogos desde el siglo XVIII (Tabla 1). El pintor plasmó la vista de masa calcárea desde diferentes puntos de vista, hasta 87 veces, para captar los diversos relieves y estructuras geológicas de manera cada vez más esquemática y fragmentada y menos realista (Álvarez Campana-Gallo, 2008; Kennedy, 2017).

Por lo que se refiere a nuestro país, la Comisión del Mapa Geológico y la Institución Libre de Enseñanza llevaron a cabo los estudios pioneros acerca de la importancia de la Geología en la formación del paisaje a partir de la segunda mitad del siglo XIX. Esta reflexión tomó forma en la sierra de Guadarrama, conectada con la capital mediante el ferrocarril desde 1861. Aquí y en otras partes de España desarrollaron una intensa actividad Carlos de Haes (1826-1898) a la cabeza, considerado el pionero del paisaje moderno en España, así como Aureliano de Beruete (1845-1912) o Martín Rico (1833-1908) entre otros (Arias de Cossío, 2013: 121-152). La huella del camino emprendido por Courbet o la Escuela de Barbizón en Carlos de Haes puede reflejarse, entre otras muchas de sus obras, en su magnífico *Desfiladero (Jaraba de Aragón)*, expuesto en el Museo Nacional del Prado⁶. Este paraje se localiza en el Cañón del río Mesa, sobre materiales calizos del Cretácico, y se encuentra incluido dentro del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (ARA072-Cañón y manantiales del río Mesa y termalismo de Jaraba, IGME, 2013).

Courbet no fue un pintor con una sólida formación en el campo de las Ciencias de la Tierra como los ingleses Thomas Cole (1801-1848) o John Ruskin (1810-1900), el ale-

mán Carl Gustav Carus (1789-1869) (León Garrido, 2021), o el caso ya comentado de Cézanne. Si bien su aprendizaje “geológico” fue un tanto intuitivo, informal y apoyado en sus amistades personales, la atracción por su región natal le dio la posibilidad de experimentar nuevas composiciones y técnicas de una manera libre y particular, ya fueran amplios paisajes o recónditas fuentes. Según el artista “... para pintar una tierra hay que reconocerla. Yo conozco mi tierra, yo la pinto. Los sotobosques, son nuestros; este río, es el Loue, aquel es el Lison; estas rocas son las de Ornans y estas las de Puits Noir. Vayan y véanlas, reconózcanlas en todos mis cuadros” (Foucart, 1995: 12). Un valioso testimonio literario al respecto se encuentra en el ya citado poema *La Loue* de su amigo Buchon, en el que describe varios de los parajes que fueron objeto de la paleta del artista, el “pintor que hizo pensar a las piedras”, al que cita en pleno trabajo: “La ciudad de rocas tan grandes como las ciudades/Donde nuestro amigo Courbet, con colores tan fieles pinta sus aguas claras, sus rocas, sus valles/Sus enterradores de narices tan rojas y tan largas” (Buchon, 1878: 5)⁷.

Notas

¹ En el desarrollo de este epígrafe se ha seguido fundamentalmente a: Riat, 1906; De Miguel Egea, 1989; Renero, 1993; Faerna García-Bermejo, 1994; Antigüedad y Aznar, 1998; Fried, 2003; Novotny, 2008 y Antigüedad del Castillo-Olivares et al., 2015.

² El filósofo Edmund Burke (1729-1797) en su *Indagación filosófica sobre el origen de nuestras ideas acerca de lo sublime y lo bello* (1757), distinguió entre lo bello, que es placentero, atractivo, delicado y sutil, asociado con la idea de simetría y equilibrio, y lo sublime, que produce “la más poderosa emoción que el espíritu sea capaz de experimentar”, y que se relacionaría con los sentimientos de terror, infinitud, dificultad y pena (Burke, 1757; en Antigüedad del Castillo Olivares et al., 2015: 30). Por su parte Uvedale Price (1747-1829) en su libro *Ensayo sobre lo Pintoresco*, comparado con lo Sublime y lo Bello (1794) incluyó una nueva categoría intermedia entre ambos conceptos, lo pintoresco, aplicado sobre todo al paisaje y a la arquitectura de jardines inglesa, que se encontraría en la rudeza, la irregularidad y continua variación de formas, colores, sonidos y sentidos (Price, 1794; en Antigüedad del Castillo Olivares et al., 2015: 29-31).

³ Agassiz manifestó su admiración por las obras de Courbet en las que reflejaba las montañas del Jura, pinturas que contempló en su estancia en los Estados Unidos (Marcou, 1896: 134).

⁴ “Fer de la Roche Pourrie – Fer hidroxidé, oolitique, de couleur roux foncé, avec quelques taches bleu-noirâtres. La roche calcaire qui le renferme est plus ou moins compacte, et elle se trouve superposée et intercalée entre des assises calcaréo-marneuses de couleur bleu-jaunâtre, rubannées de larges veines d’oxyde de fer -Epaisseur totale, 10 mètres (...”).

⁵ “Quoi! c'est dans vos rochers aux âpres crénélures/ Loue et Lizon, qu' avec leurs longues chevelures/ Ces beaux géants tout nus, la frameé à la main/ Furent donc bousculés par le chauve Romain” (Buchon, 1878: 5). Un fragmento del poema recitado por Sandrine Dubois con fondo musical de Joel Cummins (2022) puede escucharse en <https://vivranans.info/2022/06/la-loue.html>

⁶ De Haes estaba familiarizado con los textos del geólogo e ingeniero de minas Casiano de Prado (1797-1867) sobre los Picos de Europa y la provincia de Madrid y era amigo del naturalista y espeleólogo catalán Federico de Muntadas (1826-1912), propietario del Monasterio de Piedra (Pena López, 2010: 513-514). Una descripción detallada de la obra puede consultarse en: <https://www.museodelprado.es/colección/obra-de-arte/desfiladero-jaraba-de-aragón/788ebf75-2a59-48ac-81ce-fb9e575a1be9>

⁷ “La ville aux rochers grands comme les citadelles/ Où notre ami Courbet, en couleurs si fidèles, pein ses claires eaux, ses rochers, ses vallons/ Ses enterreurs aux nez si rouges et si longs”.

Agradecimientos y financiación

El autor de este trabajo quiere agradecer a Mercè Sancho Rius, graduada en Geografía e Historia, su análisis crítico de la primera versión del manuscrito, así como a las dos personas revisoras, Beatriz Bádenas y Jesus F. Jordá Pardo, por sus sugerencias y observaciones para mejorar el trabajo y a la editora de la Revista, Nieves López-González por su trabajo de coordinación. La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Referencias

- Álvarez-Campana Gallo, J.M., 2008. La mirada geológica de Paul Cézanne: montaña Sainte-Victoire y canteras Bibemus de Aix-en-Provence. IX Congreso Internacional sobre el Patrimonio Geológico y Minero “Hacia una gestión creativa del patrimonio geológico y minero”. https://elimpactoambiental.files.wordpress.com/2008/11/01-mirada-geologica-paul-cezanne_texto-definitivo.pdf (22/11/2021)
- Álvarez-Campana Gallo, J.M., 2015. Dinámica y estética de esculturas earthworks, obras de ingeniería del terreno y formaciones geológicas. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 1104 p.
- Antigüedad del Castillo Olivares, M.^a D., Aznar, S., 1998. El siglo XIX. El cauce de la memoria. Istmo, Madrid, 322 p. ISBN 84-7090-308-x.
- Antigüedad del Castillo Olivares, M.^a D., Nieto Alcaide, V., Martínez Pino, J., 2015. El siglo XIX, la mirada al pasado y a la modernidad. CERASA, Madrid, 362 p.
- Argan, C.G., 1975. El arte moderno. Vol I. Fernando Torres, editor, Valencia. En Soto Boullosa, J.C., 1985. Realismo pictórico y positivismo. Liño, Revista anual de Historia del Arte (5): 101-114. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=72632> (30/11/2022)
- Arias de Cossío, A. M^a., 2013. Pintura de paisaje en la segunda

- mitad del siglo XIX: Teoría y práctica. La Institución Libre de Enseñanza. En (M. C. Lacarra Ducay, ed.) Arte del Siglo XIX: Instituto Fernando el Católico, Zaragoza, 121-152. ISBN 978-84-9911-236-7.
- Asamblea Nacional de Francia, 1906. Loi du 21 avril 1906 organisant la protection des sites et monuments naturels de caractère artistique. https://www.assemblee-nationale.fr/12/evenements/salon-des-maires/dates_cles/protection-sites-1906-1.asp (27/09/2022).
- Audra, Ph. (dir) 2010. Grottes et karsts de France. Karstologie Mémoires, nº 19. Association française de karstologie. ISBN: 2-9504222-5-5
- Bénédite, L., 1912. French Artists of our day: Gustave Courbet. William and Heineman. London, 99 p. <https://archive.org/details/gustavecourbet00bnuoft> (30/11/2022)
- Bichet, V., Campy, M., 2008. Montagnes du Jura, Géologie et paysage. Préface de Jean Dercourt, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. Néo Editions, Lons-Le Saunier, 304 p. ISBN: 978-2-9147-4161-3. En: DREAL 2014 b: 103.
- Bozal, V., 2013. Courbet, la materia del paisaje. Conferencia dentro del curso “La pintura al aire libre y el paisaje moderno”. Museo Thyssen, 29 de abril. <https://www.youtube.com/watch?v=SGLw6UeBTiI> (14/07/2022)
- Brongniart, A., 1829. Tableau des terrains qui composent l'écorce du globe, ou Essai sur la structure de la partie connue de la terre. F.G. Levrault, París. En Marcou (1857-1860).
- Buchon M., 1863. Noëls et chants populaires de la Franche-Comté. Billet et Duvernois, Salins. En: Galvez, 2022a: 75.
- Buchon, M., 1878. Poésies. Sandoz et Fischbacher, París, 234 p. <https://archive.org/details/posiesposies00buch> (30/11/2022)
- Burke, E., 1757. Indagación filosófica sobre el origen de nuestras ideas acerca de lo Sublime y lo Bello. En Antigüedad del Castillo Olivares et al. 2015: 29-30
- Callizo Gutiérrez, C., 2013. Pintura matérica y tridimensional. Evolución y situación actual. Reflexiones teórico-prácticas. Tesis Doctoral Universidad de Murcia, 303 p.
- Carozzi, A.V., 2019. Haug, Gustave Emile. <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/haug-gustave-emile> (18/08/2022).
- Chu, P. t-D., 1988. It Took Millions of Years to Compose That Picture. En: Courbet reconsidered (S. Faunce y L. Nochlin, eds.). Yale University Press, New Haven. 55-66. En Howe, 2013b.
- Chu, P. t-D., 2007a. The Purposeful Sightseer: Courbet and Mid-Nineteenth-Century Tourism. En: Looking at the Landscapes: Courbet and Modernism (M. Greenberg, ed). Los Ángeles, Getty Publications, 85 p. 19-34.
- Chu, P. t-D., 2007b. The most arrogant man in France: Gustave Courbet and the Nineteenth Century Media Culture. Princeton University Press, Princeton-Oxford, 248 p. ISBN 9780691126791.
- Contini D., 1970. L'Aalénien et le Bajocien du Jura Franc Comtois, Thèse de la faculté des sciences de Besançon. 514 p. En: DREAL 2014 b: 103.
- Corsi, P., 2005. Before Darwin: Transformist concepts in European Natural History. Journal of the History of Biology, 38(1): 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10739-004-6510-5>
- Courbet, G., 1855. Exposición y venta de cuarenta pinturas y cuatro dibujos de Gustave Courbet, París. Habla Courbet. Museo de Orsay. https://es.hrwiki.net/wiki/Gustave_Courbet#cite_note-27 (09/07/2022)
- Courbet, G., 1861. Manifiesto del Realismo. Courier du Dimanche, París, 25 de diciembre. <https://arthistoryproject.com/artists/gustave-courbet/realist-manifesto-an-open-letter/> (09/07/2022)
- Courbet, G., 1864. Letter to Victor Hugo, November 28, 249. En: Georgopoulos, 2016.
- Cuvier, G., Brongniart, A., 1822. Description géologique des environs de Paris. Dufour y d'Ocagne, París. En Marcou 1(1857-1860). <https://doi.org/10.5962/bhl.title.149831>
- Darwin, Ch., 1859. On the Origin of Species by Means of Natural Selection. 1859. John Murray, Londres.
- De Miguel Egea, P., 1989. Del Realismo al Impresionismo. Historia 16, Madrid, 159 p.
- De Weber, P., Cornée, A., Egoroff, E., Colin, G., Duranthon, F., Lalanne, A., Kermadec, C.d., Lucet, S., 2019. Patrimoine géologique: notion, état des lieux, valorisation. Muséum National D'Histoire Naturelle, París, 58 p. ISSN: 1638-9387.
- Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Bourgogne-Franche-Comté (DREAL), 2014a. Inventaire du patrimoine géologique de la région Franche-Comté (IRPG). Département du Doubs. https://zaaj.univ-fcomte.fr/IMG/pdf/2_irpg_fc_fiches_doubs_sept2014.pdf (21/08/2022)
- Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Bourgogne-Franche-Comté (DREAL), 2014b. Inventaire du patrimoine géologique de la région Franche-Comté (IRPG). Département du Jura. https://zaaj.univ-fcomte.fr/IMG/pdf/2_irpg_fc_fiches_jura_sept2014.pdf (21/08/2022)
- Dubois, S. (voz), Cummins, J. (música), 2022. La Loue, <https://vivranas.info/2022/06/la-loue.html> (22/09/2022)
- Durand-Delga, M., Moureau, R., 1994. Un savant dérangeant: Jules Marcou (1824-1898), géologue français d'Amérique. Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie, Troisième Série T. VIII. <https://www.annales.org/archives/cofrhigeo/marcou.html> (15/07/2022)
- Faerna García-Bermejo, J.M., 1994. Courbet. La era de los impresionistas. Globus comunicación, Madrid, 51 p.
- Foucart, B., 1995. Courbet. Librairie Flammarion, París, 159 p. En Reyero, 1993, 112.
- Fried, M., 2003. El Realismo de Courbet. La Balsa de la Medusa, Madrid, 370 p.
- Fumey, G., 2007. Courbet, peintre du calcaire. Karstologie, 50: 49-51. <https://doi.org/10.3406/karst.2007.2611>
- Galvez, P., 2022a. Courbet's Landscapes: The origins of modern painting. Yale University Press, London, 208 p.
- Galvez, P., 2022b. Courbet's Landscapes: The origins of modern painting. Conferencia en la Fundación Barnes, Filadelfia, 22 de junio. <https://www.youtube.com/watch?v=n7ZalJ5bKxc> (08/10/2022)
- Gauchon, Ch., Biot, V., 2010. La protection des paysages karstiques et des cavités naturelles. En: Grottes et karsts de France, (Ph. Audra, dir.). Karstologie Mémoires, (19): 112-113.
- Georgopoulos, N. 2016. “The Cradle of Things”: Origins and Ontogenesis in the Late Lanscapes of Gustave Courbet. Tesis de Máster, Stony Brook University, New York, 50 p. <https://repo.library.stonybrook.edu/xmlui/handle/11401/76682#?c=0&m=0&s=0&cv=0&r=0&xywh=-769%2C-1%2C2811%2C1650> (29/07/2022)
- Green, N., 1990. The Spectacle of Nature; Landscape and Bourgeois Culture in Nineteenth Century France. Manchester University Press, 238 p.
- Haug, E., Kilian, W., 1905-1906. Sur les dislocations des environs de Mouthier-Haute Pierre (Doubs). Bulletin du Service de la carte géologique et des topographies souterraines, 17, no. 112. En: DREAL, 2014.
- Herbert, J.D., 2014. Courbet, incommensurate and emergent. Critical Inquiry 40 (2): 339-381. <https://doi.org/10.1086/674118>

- Herding, K., 1991. Courbet: to venture independence. Yale University Press, London, 278 p. En Reyero, 1993.
- Hertert-Nigay, A., 2019. Paysages d'Ornans / Paysages de Courbet. <http://hg.ac-besancon.fr/wp-content/uploads/sites/63/2019/09/fiche-2-Ornans-.pdf> (18/08/2022)
- Hoffmann, W., 1978. Courbets Wirklichkeiten. En: Courbet und Deutschland (W. Hoffmann, dir.). Hamburger Kunsthalle, Köln, 1978. En: Fried, 2003: 207.
- Howe, J., 2013a. Courbet: Mapping realism. En: Courbet: Mapping Realism. Paintings from the Royal Museums of Fine Arts of Belgium and American Collections. (J. Howe, ed.). Boston, Chicago Press. 9-20. <https://archive.org/details/courbetmappingre00cour> (30/11/2022)
- Howe, J., 2013b. Inside out: Courbet and the Challenge of the Realist Landscape. En: Howe, 2013 (ed.), 77-84.
- Hoyez, B., 2010. À la découverte géologique des falaises d'Étretat, présentation d'une excursion allant de la plage du Tilleul (Antifer) à la porte d'Amont (Étretat Nord). Planet Terre. <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/excursion-falaises-Étretat-contexte.xml> (14/07/2021).
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 2013. ARA072-Cañón y manantiales del río Mesa y termalismo de Jaraba. Inventario Español de Lugares de Interés Geológico. <https://info.igme.es/ielig/LIGInfo.aspx?codigo=ARA072> (12/08/2022)
- Inventaire national du patrimoine naturel (INPN) 2021. Formulario Red Natura 2000 Fr4301291 - Vallées de la Loue Et du Lison. <https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR4301291#~:text=Ce%20site%20est%20constitu%C3%A9%20par,la%20richesse%20biologique%20du%20site> (21/08/2022)
- Kennedy, B.N., 2017. Como un paisaje del sur de Francia cambió para siempre el mundo del arte. BBC, 27 de octubre. <https://www.bbc.com/mundo/vert-cul-41198958> (12/07/2021)
- Küster, U., Schmidhauser D., Blome, D., Knust y Kramer D., 2014, Gustave Courbet September 7, 2014 -January 18, 2015. Room Guide. Fundación Beyeler. https://www.fondationbeyeler.ch/fileadmin/user_upload/Ausstellungen/Vergangene_Ausstellungen/GUSTAVE_COURBET/Saalheft_E_COURBET.pdf (01/09/2022)
- La France pittoresque, 2020. Vouivre, Dame verte, fée Arie et sorciers (Franche-Comté) 16 mars. ISSN 1768-3270. <https://www.france-pittoresque.com/spip.php?article1974> (20/08/2022)
- Lamarck, J-B., 1809. Philosophie zoologique, ou Exposition des considérations relatives à l'histoire naturelle des animaux, Duminil-Lesueur, París. https://archive.org/details/b2203948x_0002 (30/11/2022)
- Leibundgut, B., 2017. Alfred Bouvet, mécène de Gustave Courbet. Le Jura Français, 314 (Mai-Août). <https://www.jurafraancais.com/les-hommes/> (20/07/2022)
- León Garrido, M., 2021. Los Apuntes para una fisionomía de las montañas (1831) de Carl Gustav Carus. Revista de la Sociedad Geológica de España, 34 (1): 36-42.
- Lindsay, J., 1973. Gustave Courbet: his life and art. Somerset, Adams & Dart Bath. En: Fried, 2003: 106.
- Marcou J., 1855. A Geological Map of the United States and the British provinces of North America. Gould and Lincoln, Boston, 92 p., 8 pi., 1 carte. <https://archive.org/details/ageologicalmapu00marcgoog/page/n10/mode/2up> (30/11/2022)
- Marcou J., 1857-1860. Lettres sur les roches du Jura et leur distribution géographique dans les deux hémisphères. Friedrich Klincksieck, París, 364 p. <https://archive.org/details/lettressurlesro00marcgoog> (30/11/2022)
- Marcou J., 1896. Life, letters and works of Louis Agassiz. McMillan & Company, New York and London, 2 Vols. <https://archive.org/details/lifelettersworks02marc> (30/11/2022)
- Marechal, D., 2013. Belgium and the Netherlands through the Eyes of Courbet. En: Howe (ed), 2013, 29-37.
- Morton, M., Eyerman, Ch., 2006. Courbet and the Modern Landscape, with an essay by Dominique de Font-Réalux. Paul Getty Publications, Los Ángeles, 152 p. <https://www.getty.edu/publications/virtuallibrary/0892368365.html> (30/11/2022)
- Museo de Orsay, 2022. Gustave Courbet (1819-1877). <https://www.musee-orsay.fr/fr/oeuvres/la-mer-orageuse-928> (08/10/2022)
- Museo Gustave Courbet, 2022a. Parcours Eau-Chasse-Bataille D'Alésia – Nans-Sous-Sainte-Anne. <http://www.musee-courbet.fr/?sentier=parcours-eau-chasse-bataille-dalesia-nans-sous-sainte-anne> (24/08/2022)
- Museo Gustave Courbet, 2022b. Parcours Du Lison et de Ses Sources – Nans-Sous-Sainte-Anne. <http://www.musee-courbet.fr/?sentier=le-lison-et-ses-sources-nans-sous-sainte-anne> (24/08/2022)
- Museo Gustave Courbet, 2022c. Museo Gustave Courbet. http://www.musee-courbet.fr/?page_id=235 (24/08/2022)
- Museo Paul Getty, 2022. Grotto of Sarrazine near Nans-sous-Sainte-Anne. <https://www.getty.edu/art/collection/object/1096PR> (19/07/2022)
- Nodier, Ch., Taylor, I-J-S., Cailleux, A., 1820-1878. Voyages pittoresques et romantiques dans l'ancienne France. 20 volúmenes. P. Didot, París.
- Nodier, Ch., Taylor, I-J-S., Cailleux, A., 1824. Voyages pittoresques et romantiques dans l'ancienne France: Franche-Comté. P. Didot, París. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8452147t> (30/11/2022)
- Novotny, F., 2008. Pintura y escultura en Europa, 1780-1880. Alianza Editorial, Madrid, 464 p.
- Pena López, C., 2010. Paisajism e identidad. Arte español. Estudios Geográficos, 71(269), 505-543. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201017>
- Perret, Ch., 2016. Courbet, outre-monde. Essai prononcé en conférence au XV^e colloque annuel de la Society of dix-neuviémistes, 10 avril 2017, Kent University, Canterbury. http://www.chperret.net/textes/courbet_outreMonde.pdf (22/07/2022)
- Price, U., 1794. Ensayo sobre lo Pintoresco, comparado con lo Sublime y lo Bello. En Antigüedad del Castillo Olivares, et al. 2015:31.
- Reilé, P., 2007. Le Puits de la Brême- Vallée de la Loue. Un geotope du Massif Jurasien. Comité spéléologique régional de Franche. <https://www.yumpu.com/fr/document/view/16926302/le-puits-de-la-breme-comite-speleologique-regional-de-franche-> (28/08/2022)
- Reilé, P., 2010a. Le karst franc-comtois du massif du Jura. En: Audra, 2010:176-177.
- Reilé, P., 2010b. Grands bassins et resurgences des plateaux centraux du Jura franc-comtois. En: Audra, 2010: 178-179.
- Reilé, P., 2010c. Faisceau salinois et second plateau: les grandes resurgences franc-comtoises. En: Audra, 2010: 180-182.
- Reyero, C., 1993. El arte y sus creadores: Gustave Courbet. Historia 16, Madrid, 145 p.
- Riat, G., 1906. Gustave Courbet, Peintre. H. Flourey, París, 391 p. <https://archive.org/details/gustavecourbetpeOriat>
- Rodríguez, D., 1996. Del Neoclasicismo al Realismo. Historia 16, Madrid, 158 p.
- Royer, C., 1862. Préface de la première édition de l'Origine des espèces de Charles Darwin. En Georgopoulos, 2016.
- Silvestre, T., 1856. Histoire des artistes vivants. E. Blanchard, París: 246 p. En Howe, 2013b.

- Société d'émulation du Doubs, 1840-1921. Mémories de la Société d'émulation du Doubs https://www.emulationdoubs.fr/uploaded/ELEMENTS/3-FONDS_DOCUMENTAIRE/2022-ss-table-sed.pdf (25/08/2022)
- Thomas, G.M., 2002. The Topographical Aesthetic in French Tourism and Landscape. Nineteenth-Century Art-Worldwide, 1(1): 115-137. <http://www.19thc-artworldwide.org/spring02/198-the-topographical-aesthetic-in-french-tourism-and-landscape> (30/11/2022)
- Toussaint, H., 1978. Gustave Courbet, 1819-1877. Exhibition at the Royal Academy of Arts, 19 January-19 March, 1978. Arts Council of Great Britain, London, 288 p. En Fried, 2003: 235.
- Valenciennes, P.H., 1800. Éléments de perspective pratique, a l'usage des artistes, suivis de réflexions et conseils à un élève sur la peinture, et particulièrement sur le genre du paysage. Desenne and Duprat, París. https://ia800201.us.archive.org/24/items/bub_gb_8d23gK8LEC/bub_gb_8d23gK8LEC.pdf (30/11/2022)
- Walther, I.F., 1992. La pintura del Impresionismo, 1860-1920. Taschen, Colonia, 781 p. ISBN 978-38365-5709-2.
- Zimmermann, M.F., 1999. Painting of Nature-Nature of Painting. An Essay on Landscape and the historical Position of «Barbizon». En Burmeister, A., Heilmann, C. y Zimmermann, Malerei der Natur- Natur der Malerei. Munchen, 18-55. <https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/ardok/6109> (30/11/2022)

MANUSCRITO RECIBIDO: 10-10-2022

REVISIÓN RECIBIDA: 20-11-2022

MANUSCRITO ACEPTADO: 30-11-2022



CINEMÁTICA DE FALLAS NORMALES MENORES TARDI- Y POST-VARISCAS EN LA SECCIÓN COSTERA DE LA RÍA DEL EO (N DE ESPAÑA)

Kinematics of late- and post-Variscan minor normal faults in the coastal section of Eo estuary (N of Spain)

Sergio Llana Fúnez y María González Pérez

Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, calle J. Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo,
llanasergio@uniovi.es, g.iamar@hotmail.com

Abstract: In this work we target the analysis of low to intermediate dipping minor faults, often extensional, formed in lower Paleozoic metamorphic rocks in northwestern Iberia. All fracturing events from the late stages of the Variscan orogeny onwards were developed in the study area in upper crustal conditions. The attribution of fault rocks and structures to the different fracturing episodes requires, in addition to mapping relations, the establishment of fault kinematics in minor structures. Given the difficulties in the exposure of major fault zones in the area, minor structures are key to unravel the tectonic evolution. Based on the orientation of slip surfaces and other secondary fractures, and map patterns, three main extension directions for the normal faults can be defined. The dominant extension direction is NW-SE, consistent with the activity along the youngest Variscan structures, a few kilometers to the W: the Vivero and the Areoura faults. A second NE-SW extension is consistent with the orientation of faults bounding Permian-Triassic basins further East. A third set of faults, trending N-S, are consistent with the major extension direction during the opening of the Atlantic, common to the W of the study area.

Keywords: extension, normal fault, Variscan orogeny, Permian-Triassic extension, joints.

Resumen: En este trabajo abordamos el estudio de fallas menores de ángulos bajos a intermedios, frecuentemente extensionales, formadas sobre rocas metamórficas del Paleozoico inferior en un sector costero del noroeste peninsular. Todos los eventos de fracturación desde el final de la orogenia varisca hasta nuestros días se han producido en la zona de estudio en condiciones de corteza superior. La atribución de tipos de rocas de falla y de estructuras secundarias a los diferentes episodios tectónicos en la zona de estudio requiere, además de conocer las relaciones cartográficas de estructuras mayores, la consideración de la cinemática de las estructuras menores. Dada la dificultad de afloramiento de las grandes estructuras, las estructuras menores resultan clave para comprender y diferenciar los diferentes episodios tectónicos que han afectado a las rocas que ahora se encuentran en la superficie. En base a la orientación de las superficies de deslizamiento en fallas secundarias y a otros rasgos estructurales se pueden establecer tres orientaciones dominantes de extensión. La primera y más penetrativa, de dirección NO-SE, es coherente con grandes estructuras extensivas variscas tardías situadas al O: las fallas de Vivero y de Areoura. La segunda, de dirección NE-SO, es equiparable geométricamente a las fallas que cobijan las cuencas permotriásicas en el margen noribérico en el sector central de la costa Cantábrica. La tercera, definida por fallas N-S, es similar a la observada en estructuras cartográficas en el continente y en el margen continental noribérico y coherente con la apertura del océano Atlántico.



Palabras clave: extensión, falla normal, orogenia varisca, extensión permotriásica, diaclasas.

Llana-Fúnez, S., González Pérez, M., 2022. Cinemática de fallas normales menores tardíopost-variscas en la sección costera de la ría del Eo (N de España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35 (2): 58-72.

Introducción

La mayor parte de la corteza superior en el noroeste de la Península Ibérica está constituida por sucesiones litológicas que, con la excepción de pequeñas cuencas sedimentarias cenozoicas (Santanach *et al.*, 1994), están dominadas por rocas cristalinas, ya sean metamórficas o ígneas, en su mayoría intensamente deformadas por la orogenia varisca (p. ej., Pérez-Estaún *et al.*, 1991). Esta corteza, con este tipo de rocas, ha sufrido posteriormente varios episodios de extensión de muy distinta magnitud y cinemática (p. ej., Boillot y Mallod, 1988; Cadenas *et al.*, 2018). La ausencia de materiales de edad Mesozoica y Cenozoica que pudieran haber ejercido de marcadores de estas deformaciones posteriores, hace difícil no solo la datación relativa de las estructuras en las diferentes etapas de extensión sino, incluso, una asignación fiable a episodios tectónicos. Aunque las consecuencias del último evento extensivo que dio lugar a la apertura del océano Atlántico son evidentes, principalmente *offshore*, hacia el continente los registros de los diferentes episodios extensionales que afectaron la región quedan muy atenuados por la escasa magnitud de los saltos de falla. Si bien son evidentes las consecuencias finales del último evento extensivo que dio lugar a la apertura del océano Atlántico, el registro estructural hacia el continente de los sucesivos episodios extensionales disminuye considerablemente en paralelo a la reducción de la magnitud de los saltos en las fallas, por estos motivos, han sido poco estudiados sobre la corteza continental emergida, ya que en muchos casos el salto asociado a estas fallas está por debajo del nivel de resolución de los mapas geológicos.

En la búsqueda del registro geológico de esta larga y variada historia tectónica, planteamos el estudio de estructuras menores que puedan ser reconocibles a escala de afloramiento y que, de acuerdo a su cinemática, puedan aportar información sobre la historia tectónica regional. Nos fijamos en un sector concreto de la costa cantábrica, en la desembocadura del río Eo entre Asturias y Galicia, donde la exposición del sustrato paleozoico es localmente continua y donde existe una cartografía previa de detalle (Fernández-Catuxo, 1990). La zona de estudio muestra una particularidad adicional con respecto a otras áreas próximas de las zonas internas del orógeno varisca: en una de las pequeñas penínsulas de la costa preserva un afloramiento de conglomerados carboníferos discordantes sobre el basamento de paleozoico inferior (p. ej., Marcos, 1973), lo que indica que en la fase final del orógeno la serie del Paleozoico inferior cartografiada ya se encontraba cerca de la superficie y el registro estructural, por tanto, ha sido, hablando en términos corticales, somero desde entonces.

La cuantificación de los saltos asociados a aquellas fallas que tengan rango cartográfico requiere del reconoci-

miento adecuado de la estratigrafía. Para asistir en el reconocimiento de alguno de los litotipos característicos de los miembros de la Serie de los Cabos, unidad dominante en este sector de la Cordillera Varisca, se aportan datos geoquímicos de algunas de las unidades de pizarras en la zona de estudio, que se comparan con los datos existentes en la bibliografía regional, con el objeto de poder identificar objetivamente algunas de las unidades y permitir cuantificar con mayor precisión el salto en la falla normal cartográfica principal.

Los estudios clásicos regionales describen la presencia de fallas normales menores a lo largo de la sección costera que, por lo general, se muestran con ángulos elevados (p. ej., Bastida y Pulgar, 1978). Sin embargo, la presencia de fallas menores con ángulos bajos no ha sido documentada previamente. Basándonos en la orientación de las superficies de deslizamiento en estas fallas, en las estructuras secundarias asociadas y en el trazado cartográfico que presentan, se han podido establecer tres orientaciones dominantes de extensión, coherentes con sendos episodios en la evolución tectónica en esta parte de la Placa Ibérica.

Contexto tectónico regional

Evolución tectónica durante el desarrollo de la orogenia varisca

A lo largo de la línea de costa actual y del entorno emergido más cercano en la zona de estudio quedan expuestos materiales paleozoicos del cinturón pizarroso del orógeno varisca, muy abundantes en la Zona Astur-Occidental Leonesa (ZAOL) con respecto a las zonas tectónicas adyacentes, deformados fundamentalmente en el Carbonífero (p. ej., Pérez-Estaún *et al.*, 1991). Durante las etapas iniciales del orógeno, las rocas de la ZAOL desarrollan una foliación tectónica fundamentalmente definida por el progresivo crecimiento de filosilicatos desde el este hacia el oeste, conforme aumenta el grado metamórfico hacia el núcleo del orógeno. Esta foliación tectónica, muy penetrativa y de carácter regional, se dispone subparalela a los planos axiales de pliegues acostados, con vergencia hacia el este. Estas dos estructuras se asocian, en su conjunto, a la primera fase de deformación varisca (p. ej., Marcos, 1973; Bastida y Pulgar, 1978). La localización de la deformación en los flancos inversos de algunos de estos pliegues deriva en la formación de cabalgamientos, que en algunos casos acumulan grandes desplazamientos. Estas grandes estructuras, junto con las estructuras menores asociadas en el entorno de las zonas de cizalla, más localizadas, constituyen la segunda fase de deformación varisca (Marcos, 1973). Uno de estos cabalgamientos desplaza varios kilómetros hacia el este el manto de Mondoñedo, la estructura más caracterís-

tica de este sector de la cadena varisca por sus dimensiones kilométricas (p. ej., Bastida *et al.*, 1986).

En las etapas finales del orógeno varisca, un último pulso de acortamiento asociado a la convergencia, produce grandes pliegues de plano axial subvertical, que localmente desarrollan una foliación de crenulación, preferentemente en las zonas de charnela (Bastida y Pulgar, 1978). Esta asociación de estructuras se identifica con la tercera fase de deformación varisca (Marcos, 1973). Hacia el oeste, es decir, hacia las partes internas del orógeno, estos pliegues de tercera fase están acompañados por zonas de cizalla subverticales de escala cortical que, con movimientos en dirección, acomodan parcialmente la convergencia entre las grandes placas involucradas en la colisión. Esta fase está acompañada de fusión parcial de la corteza y de diversas intrusiones graníticas con efecto en el comportamiento mecánico del conjunto de la litosfera (p. ej., Llana-Fúnez y Marcos, 2007). Relacionadas con esta tercera fase, al oeste de la zona de estudio, se desarrollan dos grandes fallas normales con salto kilométrico. Una de ellas, de la que se tiene referencia desde hace tiempo, es la falla de Vivero, que con más de 100 km de longitud sigue longitudinalmente la estructura del orógeno (Matte, 1968; Martínez *et al.*, 1996; Lopez-Sánchez 2013). Hacia el SE, la falla de Vivero se ramifica en otras de similar cinemática, como la falla de Chandoiro (Arias *et al.*, 2002), o la falla de San Vicente de la Cabeza (Farias y Marcos, 2019). En el sector de la costa cantábrica se ha añadido a esta etapa, por su cinemática y relaciones estructurales, la falla de Areoura, de dirección NE-SO, que afecta a la base del manto de Mondoñedo llegando a desplazarlo varios kilómetros (Marcos, 2013). Tanto la falla de Vivero como la de Areoura muestran sentidos de movimiento opuestos, pero una dirección de extensión común, aproximadamente ONO-ESE, en ambos casos asociadas a las etapas finales de la orogenia varisca (Lopez-Sánchez *et al.*, 2015).

Registro estructural de los episodios de extensión entre el Pérmico y el Cretácico

El periodo de actividad tectónica de la falla de Vivero se inicia al menos hace 303 Ma y culmina hace 287 Ma (Lopez-Sánchez *et al.*, 2015). No hay documentada ninguna otra falla normal más reciente, con cinemática similar, asociada al orógeno varisca. No es hasta el final del Pérmico, en la transición al Triásico, cuando se inicia una extensión continental en la actual costa mediterránea que se prolonga hacia el noroeste y alcanza parcialmente el sector central de la costa cantábrica (Arche y López-Gómez, 1996), atravesando oblicuamente la cadena varisca, tanto sus zonas externas como las internas. Esta extensión se traduce en la formación de fallas normales de alto ángulo que acomodan algunas de las cuencas pérmicas del centro de Asturias (ver figura 1 en López-Gómez *et al.*, 2019). El trazado cartográfico de las cuencas pérmicas y su registro estratigráfico indica la probable existencia de un paleo-relieve sobre el que se depositaron los materiales a lo largo de este periodo (López-Gómez *et al.*, 2019). Aunque las estructuras no están suficientemente estudiadas en

el sector central cantábrico, hacia el este, en el borde de la cobertura mesozoica vascocantábrica, sí se ha determinado una dirección de extensión aproximadamente SO-NE (Espina *et al.*, 1996).

En la plataforma continental noribérica, hacia el Cantábrico occidental, se desarrolló una cuenca sedimentaria post-varisca donde los espesores de materiales pérmicos son más modestos que en el continente (Cadenas *et al.*, 2018). La base de esta cuenca es bastante planar y de bajo de relieve, no es, por tanto, coherente ni con la existencia de grandes paleo-relieves ni con la presencia de fallas normales de alto ángulo limitando cuencas profundas, lo que se ha interpretado como indicativo de que, en el tránsito entre el Pérmico y el Triásico, el relieve varisca asociada a la raíz orogénica había sido ya denudado (Llana-Fúnez *et al.*, 2019).

El episodio de extensión principal en el noroeste peninsular tiene lugar a finales del Jurásico y principios del Cretácico (p. ej., Cadenas *et al.*, 2020). Se desarrolla en dos dominios diferenciados: el cantábrico y el atlántico. En el Golfo de Vizcaya se caracteriza por una extensión aproximada N-S que culmina con la formación de corteza oceánica y un adelgazamiento de la corteza continental, especialmente hacia el este (p. ej., Tugend *et al.*, 2015; Cadenas *et al.*, 2018). En el sector atlántico, se caracteriza por una extensión continental aproximada O-E que culmina con la formación de varios miles de kilómetros de corteza oceánica y un adelgazamiento de la corteza continental (p. ej., Vázquez *et al.*, 2008; Nirrengarten *et al.*, 2018; Somoza *et al.*, 2021). En el margen continental cantábrico se han descrito numerosas estructuras extensionales sumergidas que muestran una geometría coherente con la extensión N-S (Cadenas y Fernández-Viejo, 2017), pero en el continente, estas estructuras son menos reconocibles al haber sido afectadas por la deformación compresiva posterior durante el ciclo alpino (p. ej., Uzkeda *et al.*, 2016). En el margen continental atlántico también se han descrito numerosas estructuras extensionales sumergidas (p. ej., Vázquez *et al.*, 2008; Nirrengarten *et al.*, 2018). En el continente, algunas de las estructuras cartográficas que afectan a la formación de relieve también se pueden asociar, por su orientación N-S, con la extensión jurásica, sin embargo, no se han reportado estructuras menores en la zona emergida asociadas a este episodio.

Registro estructural de la convergencia alpina

Durante el Paleógeno, el borde septentrional de la Península Ibérica constituyó el límite de placas activo entre Iberia y Eurasia (Boillot y Malod, 1988). La convergencia, en dirección N-S produjo, primero, el levantamiento de los Pirineos, y posteriormente, de la Cordillera Cantábrica (p. ej., Teixell *et al.*, 2018). En el sector central de la Cordillera Cantábrica supuso la reactivación de algunas de las estructuras previas orientadas favorablemente para la compresión N-S, especialmente en la zona emergida, y la formación de cabalgamientos y fallas inversas de dirección E-O, entre ellos, el cabalgamiento basal con vergencia sur que levanta la cordillera y la hace cabalgar sobre la Cuenca

del Duero (Alonso *et al.*, 1996; Pulgar *et al.*, 1999). Este cabalgamiento es la estructura principal de la cordillera que controla los rasgos principales de su relieve actual (Alonso *et al.*, 2007).

Entre el Oligoceno y el Mioceno, el frente activo se traslada al margen meridional de Iberia, interrumpiéndose la actividad tectónica en el norte peninsular (Srivastava *et al.*, 1990). La convergencia en el límite septentrional de Iberia tiene una corta duración, y se atenúa progresivamente hacia el oeste. En el sector emergido de la Cordillera Cantábrica, se pueden diferenciar dos dominios tectónicos de acuerdo al tipo de estructuras que acomodan esta convergencia decreciente en intensidad hacia el oeste lo que, a su vez, está directamente relacionado con la cantidad del acortamiento: un dominio asturleonés caracterizado por cabalgamientos y fallas inversas de dirección E-O que acomodan mayor acortamiento; y un dominio asturgalaico en el que el menor acortamiento se acomoda mediante un sistema principal de fallas de alto ángulo en dirección NO-SE y otro sistema conjugado de fallas subverticales que acomoda un menor acortamiento de dirección NE-SO (Llana-Fúnez y López-Fernández, 2015).

Características de la zona de estudio

El sector de la costa estudiado se encuentra en el límite autonómico entre Asturias y Galicia e incluye, por una parte, una sección costera de acantilado rocoso orientado E-O común a ambas comunidades y, por otra parte, las secciones N-S de las dos orillas de la desembocadura del río Eo, la ría del Eo (o de Ribadeo) (Fig. 1). Dentro del marco tectónico regional descrito, la zona de estudio se encuadra en dos zonas de interés en dos momentos diferentes de la historia

tectónica, uno, a finales del ciclo varisco, y el otro, en el ciclo alpino. Con respecto a la estructura varisca, el sector de costa estudiado se localiza en el flanco normal de pliegues acostados de entidad cartográfica pertenecientes al manto de Mondoñedo, en los que la foliación tiene una dirección subparalela a la línea de costa y relativa poca inclinación. Esta zona está próxima al frente del manto, donde los pliegues de fase 1 se encuentran relativamente erguidos o verticalizados, adoptando una disposición coincidente con la de los pliegues de fase 3, también subverticales y homoaxiales con los de fase 1 (ver figura 4 en Bastida y Pulgar, 1978). La posición de la anisotropía en las rocas del basamento, relativamente tendida al encontrarse en el flanco normal de pliegues acostados, es importante de cara a registrar los diferentes episodios de extensión, todos con una componente de extensión en posición horizontal y sin haber sufrido rotaciones sustanciales posteriores. Con respecto a la estructuración alpina, la zona de estudio se encuentra aproximadamente en el tránsito entre el dominio asturleonés y el asturgalaico, que coincide con la progresiva desaparición de la elevación regional de la rasa costera principal (López-Fernández *et al.*, 2020).

La presencia de una falla a lo largo de la ría del Eo ya fue recogida por Adaro y Junquera (1916) en un corte E-O de la costa, en el que además se indica su carácter de falla normal y una inclinación hacia el oeste. Esta estructura fue incorporada en algunos de los trabajos clásicos posteriores (Bastida y Pulgar, 1978; Fernández-Catuxo, 1990), pero no en el mapa geológico nacional (Marcos y Bastida, 1980).

Sucesión litológica

Las bases de la estratigrafía del Paleozoico en el área de estudio fueron establecidas por los trabajos de Färber

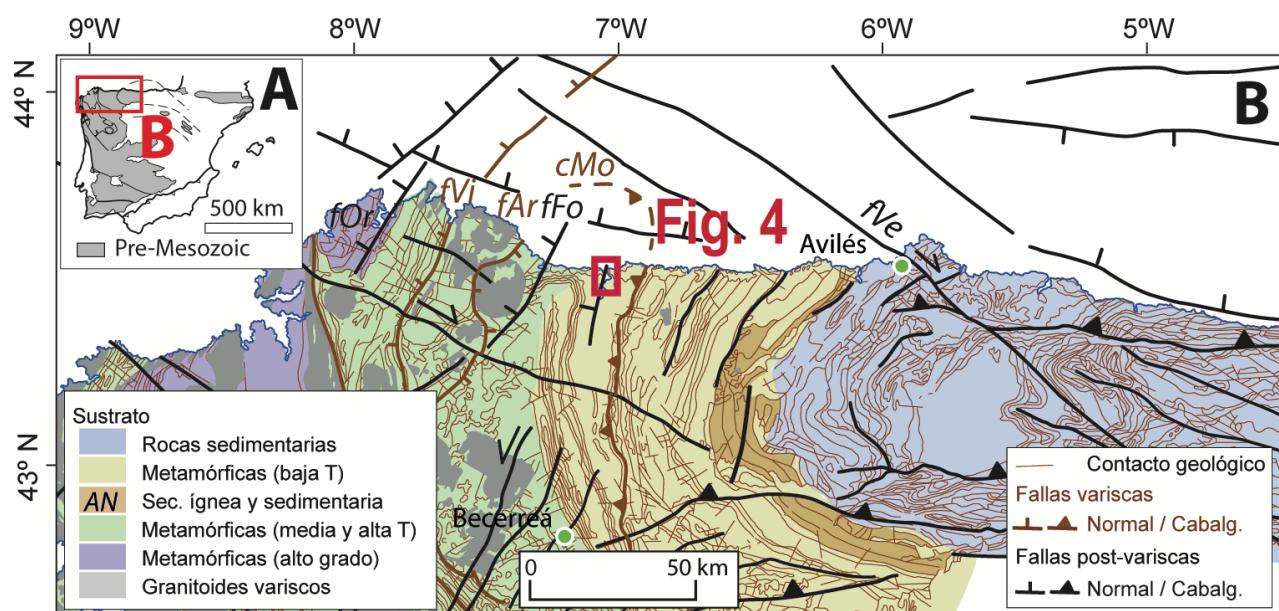


Fig. 1.- A) Mapa de la Península Ibérica mostrando la distribución de sustrato rocoso Pre-Mesozoico. B) Mapa geológico del noroeste de la península Ibérica, basado en el Mapa Geológico de España a 1:1 000 000 (IGME) del que se muestra la geología de fondo (contactos geológicos, en marrón, y tipos de rocas). Destacadas en negro, se encuentran fallas posteriores al orógeno varisco. Abreviaturas para las estructuras: fOr, falla de Ortigueira; fVi, falla de Vivero; fAr, falla de Areoura; cMo, cabalgamiento de Mondoñedo; fFo, falla de Foz; fVe, falla de Ventaniella. En la leyenda, AN: Antiforme del Narcea.

y Jaritz (1964) y Jaritz y Walter (1970) y más tarde en el sector septentrional de la ZAOL por Marcos (1973), Marcos y Bastida (1980). Posteriormente, Marcos y Pérez-Estaún (1981) distinguieron varios miembros cartográficos dentro de una de las unidades estratigráficas más potentes, la Serie de los Cabos. Posteriormente, Fernández-Catuxo (1990) aporta una cartografía de detalle de la zona de estudio, aplicando la subdivisión de la Serie de los Cabos propuesta por Marcos y Pérez-Estaún (1981) a detalles de la cartografía recogidos en la hoja 10 del mapa geológico nacional (ver información complementaria en Marcos y Bastida, 1980). Con algunas modificaciones y precisiones, estas cartografías constituyen la base del presente trabajo. A continuación, se describen brevemente las unidades que conforman la columna estratigráfica regional, basada en los autores mencionados que, de manera sintética, se muestra en la figura 2.

Las Capas de Transición constituyen la unidad superior del Grupo Cándana, de edad Cámbrico Inferior. Están constituidas por pizarras verdosas con intercalaciones de areniscas, margas y dolomías. Si bien, el Grupo Cándana está dominado en otras zonas del noroeste peninsular por la presencia de cuarcitas, dentro del manto de Mondoñedo se presenta en facies más pelíticas y con reducción de espesores en el flanco normal de los pliegues (Marcos, 1973; Arias, 1991). En el entorno de la mina de Rubiales, situada en el autóctono del manto de Mondoñedo, Arias (1990) distingue tres miembros dentro de esta unidad. Datos de geoquímica obtenidos cerca de este yacimiento serán utilizados, más adelante, como referencia geoquímica de los litotipos dominantes en esta unidad.

La Fm. Vegadeo se caracteriza por la presencia de calizas y dolomías entre pizarras verdosas. A pesar de sus modestos 100-300 m de potencia, esta unidad de edad Cámbrico Inferior, constituye un nivel guía importante a nivel regional que se ha utilizado, frecuentemente, para la estimación de los saltos en las fallas variscas (Marcos, 1973; Arias, 1991; Arias *et al.*, 2002).

La Serie de los Cabos, de edad Cámbrico Medio y Superior, es una unidad de rocas siliciclasticas que supera los 4 km de potencia (Marcos, 1973). Marcos y Pérez-Estaún (1981) diferenciaron varios tramos. El tramo más bajo de esta serie está constituido por pizarras verdes entre las que se intercalan niveles margosos y capas milimétricas y centimétricas de dolomías (Fig. 3A, B). En la literatura aparecen también denominadas como Capas de Riotorto

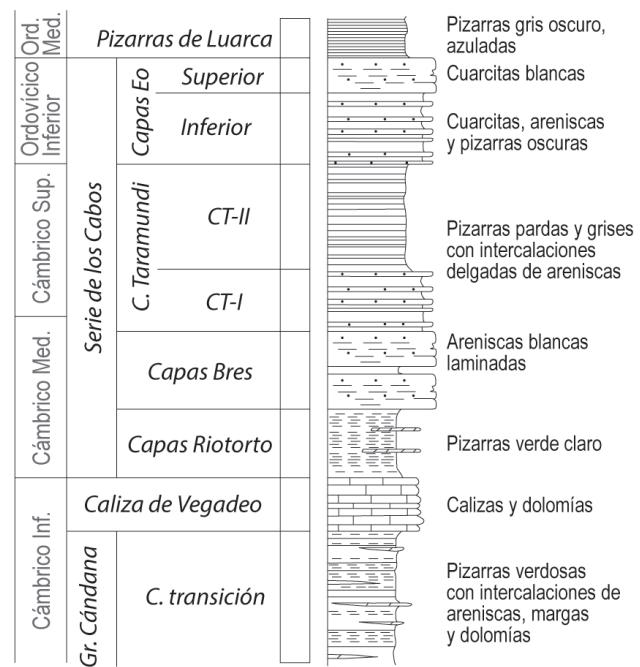


Fig. 2.- Columna estratigráfica idealizada en el Dominio del Manto de Mondoñedo (según Marcos, 2013 y referencias incluidas). La columna incorpora la subdivisión en unidades cartográficas de Marcos y Pérez-Estaún (1981).

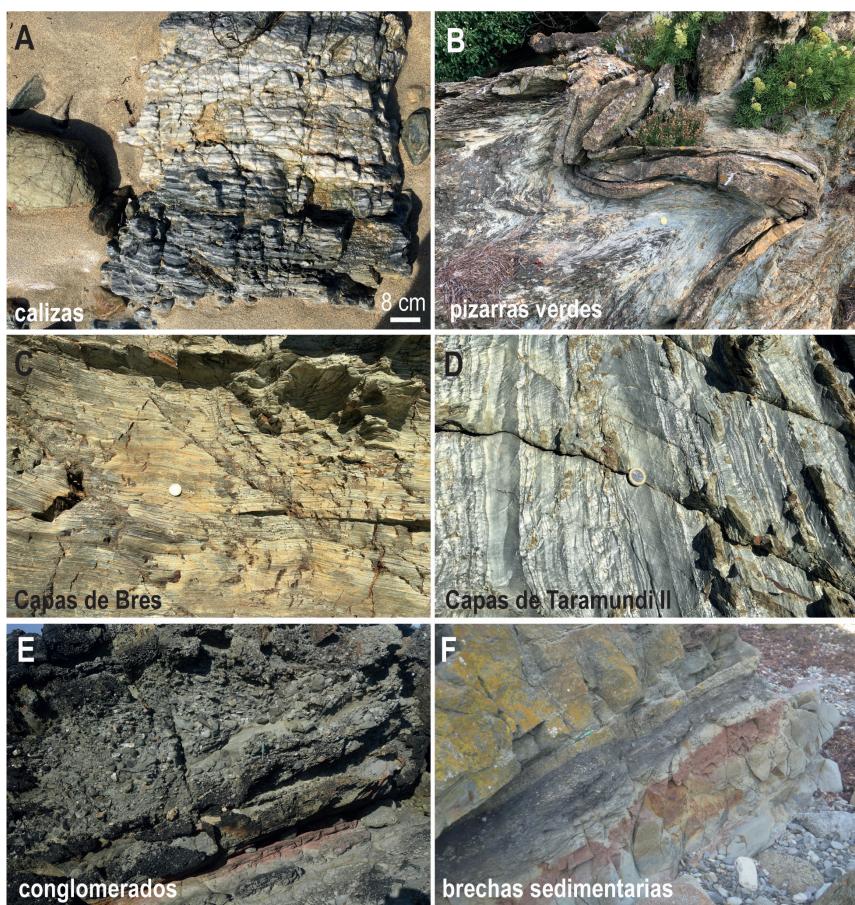


Fig. 3.- Rocas características en la zona de estudio: A) niveles de calizas próximas a la Fm. Vegadeo; B) pizarras verdes con niveles centimétricos de dolomías; C) pizarras y areniscas intercaladas en las Capas de Bres; D) pizarras oscuras y niveles limolíticos de las Capas de Taramundi II; y E) conglomerados de cantos angulosos discordantes sobre la Serie de los Cabos; y F) brechas sedimentarias dentro de la sucesión carbonífera discordante sobre el paleozoico inferior.

(Marcos, 2013). En estos términos de pizarras verdes, Barrois (1882) reconoce la presencia de trilobites, hallados en el entorno de la ría del Eo. Posteriormente, Färber y Jaritz (1964) consideran estos términos como margas con fauna (“faunenmergel”) y las vinculan cartográficamente con las calizas de Vegadeo. Sobre ellas se disponen las Capas de Bres, dominadas por areniscas con frecuentes estructuras sedimentarias (Fig. 3C). Por encima se sitúan las Capas de Taramundi I, constituidas por pizarras grises y niveles aislados de areniscas y, en la parte estratigráficamente más alta, las Capas de Taramundi II, que se caracterizan por alternancias de niveles centimétricos de lutitas oscuras con niveles limolíticos claros (Fig. 3D).

En la Punta del Cuerno o del Torno (Fig. 4), se disponen en contacto angular sobre la Serie de los Cabos conglomerados formados por cantos angulosos y subredondeados de pizarras y areniscas (Fig. 3E), que van reduciendo notablemente la angulosidad en sentido estratigráficamente

ascendente. También se observan niveles lutíticos por encima de las facies más conglomeráticas, algunos de los cuales contienen fragmentos angulosos y aspecto de brechas sedimentarias (Fig. 3F). Esta sucesión discordante ha sido datada con flora como Estefaniense B (Färber y Jaritz, 1964; Álvarez Ramis, 1966; Bastida y Marcos, 1980; Gómez Miranda y Asensio Amor, 1984). El término de punta del Cuerno fue utilizado por Färber y Jaritz (1964) y Gómez Miranda y Asensio Amor (1984). La punta del Torno es el topónimo actual que recoge el Instituto Geográfico Nacional.

Métodos

La adquisición de datos estructurales se ha realizado utilizando la aplicación *Fieldmove Clino* en un móvil iPhone 6S (Allmendinger *et al.*, 2017). Los datos exportados en formato *csv* se ordenan, seleccionan y agrupan en localidades en una hoja Excel. Las localizaciones de los datos estructurales, previa comprobación, se incorporan a un archivo de datos puntuales *shapefile* para su integración en el mapa geológico mediante la aplicación QGIS. En la elaboración del mapa geológico se han utilizado datos topográficos vectoriales, ortoimágenes y el modelo digital del terreno con una resolución de 5 m (MDT05) del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La proyección de los datos estructurales se ha realizado con *Stereonet* (Cardozo y Allmendinger, 2013), en todos los casos sobre el hemisferio inferior de una proyección equiárea. El cálculo de los valores propios en las distribuciones de polos para obtener la dirección dominante de los ejes de los pliegues, así como el eje de los pliegues a partir de los datos de estratificación y/o foliación, se ha realizado también en *Stereonet*. Los contornos de densidades para los polos de los planos de falla y de diaclasa se realizan según Kamb con un intervalo de 2-sigma.

La sucesión litoestratigráfica del Paleozoico inferior en la ZAOL contiene numerosos términos pélticos, algunos dentro de la Serie de los Cabos y otros en unidades infra- y suprayacentes, que son susceptibles de confusión. Con el propósito de establecer, en primer lugar, diferencias objetivas entre los diferentes tipos de pizarras y, en segundo lugar, para su comparación

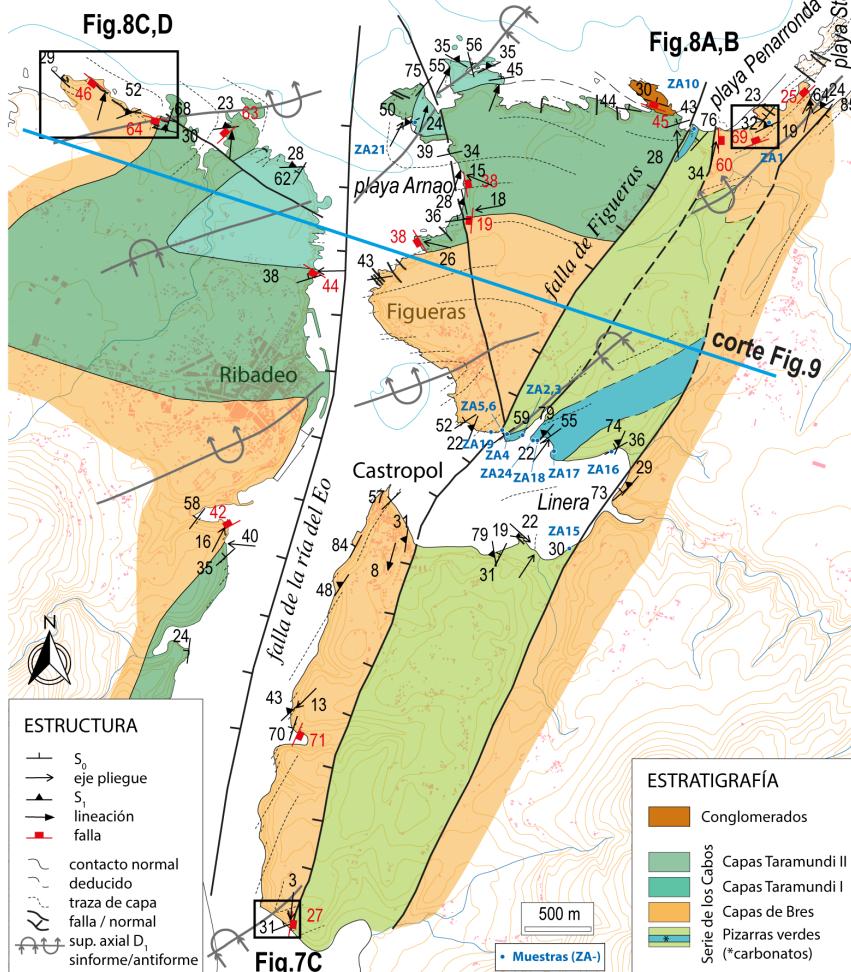


Fig. 4.- Mapa geológico del área de estudio, basado en el trabajo previo de Bastida y Pulgar (1978), Marcos y Bastida (1980) y Fernández-Catuxo (1990). Base topográfica del IGN, escala 1:25.000, con curvas de nivel cada 10 m. La incorporación de nuevas observaciones de relación entre foliación y estratificación ha permitido identificar pliegues menores de fase 1 no recogidos en cartografías previas. El nivel carbonatado en la orilla septentrional de Linera se encuentra en posición de flanco normal, teniendo tanto a techo como a muro las pizarras verdes de la base de la Serie de los Cabos.

muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	L.O.I	TOTAL
ZA 15	50,12	15,19	5,58	0,04	7,10	4,99	0,14	4,51	0,60	0,14	11,40	99,80
ZA 16	47,87	13,95	5,90	0,06	7,01	8,07	0,22	4,02	0,54	0,12	12,16	99,91
ZA 17	53,76	16,47	7,13	0,03	5,16	3,60	0,13	5,13	0,65	0,17	7,50	99,73
ZA 17*	53,76	16,49	7,13	0,03	5,17	3,59	0,12	5,14	0,65	0,17	7,50	99,75
ZA 19	46,44	14,01	5,65	0,06	7,48	7,13	0,24	4,34	0,56	0,13	13,51	99,55
ZA 18	44,01	13,70	4,33	0,08	10,20	7,63	0,31	3,27	0,64	0,15	15,61	99,92
ZA 19B	47,99	18,54	5,60	0,03	9,60	2,87	0,13	4,17	0,71	0,16	10,11	99,91
ZA 16B	49,21	19,91	4,97	0,01	7,14	2,29	1,40	4,84	0,77	0,16	8,66	99,35
ZA 1	59,11	18,76	6,80	0,03	3,55	0,16	0,18	5,91	0,81	0,11	4,52	99,93
ZA 21	55,81	21,22	8,28	0,06	2,72	0,04	0,89	4,41	1,02	0,09	4,98	99,52
ZA 24 ⁺	3,68	1,05	0,82	0,14	19,40	28,07	0,27	0,32	0,04	0,02	46,13	99,94

* réplica, ⁺ muestra de dolomía

Tabla 1.- Datos geoquímicos de elementos mayores (%) de las muestras analizadas por fluorescencia de rayos X (FRX).

con los datos de geoquímica disponibles en la literatura, se han recogido un total de 9 muestras de pizarra en el área de estudio (Tabla 1). Ocho muestras proceden de pizarras verdes de diferente tonalidad aflorantes en la ensenada de Linero, en el margen derecho de la ría del Eo (Fig. 3B), una procede de las pizarras grises, características de las Capas de Taramundi II (Fig. 3D). Cuatro de las muestras de pizarras verdes superan los 2 kg de peso, el resto son muestras de mano. En ambos casos, las muestras fueron primero trituradas y luego pulverizadas. Los polvos fueron analizados por fluorescencia de rayos X en los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Oviedo utilizando un espectrómetro Phillips PW2404. La reproducibilidad de los análisis se comprobó con la repetición de los análisis en una de las muestras (ZA-17). Se incluye el análisis de una muestra de dolomía dentro de las pizarras verdes (ZA-24).

Resultados

Geoquímica

Las descripciones de la sucesión de pizarras verdes en las Capas de Transición incluyen litologías similares a las de las pizarras verdes en la base de la Serie de los Cabos, aunque como veremos, existen diferencias significativas en la geoquímica. Los resultados de los análisis químicos en las 10 muestras recogidas se presentan en la tabla 1. A pesar de la variedad química que pueden presentar las lutitas, no hay una clasificación universal para este tipo de rocas (Rollinson y Pease, 2021), por lo que se utilizarán combinaciones de diferentes óxidos para caracterizar diferentes aspectos de la geoquímica de las muestras y litotipos, particularmente las de pizarras verdes. Los datos aportados en este trabajo se contrastarán con los existentes en pizarras de techar, que aportan análisis de pizarras en unidades que van desde el Precámbrico hasta el Devónico (Cárdenes *et*

al., 2013). También se han tenido en cuenta los numerosos análisis existentes para los diferentes litotipos de las Capas de Transición en el entorno del yacimiento Pb-Zn de Rumbiales (Arias, 1991) algunos de los cuales presenta similitudes con las pizarras grises del área de estudio.

El gráfico que enfrenta los contenidos en escala logarítmica de Fe₂O₃/K₂O frente a SiO₂/Al₂O₃ (Herron, 1988) permite clasificar, tanto las pizarras verdes como las pizarras grises (Capas de Taramundi II), como lutitas, solapando parcialmente los datos disponibles en los términos pélticos de las Capas de Transición, pero en claro contraste con las pizarras ordovícicas de unidades superiores de la secuencia estratigráfica de la ZAOL, en general todas con mayores contenidos en sílice (Fig. 5A).

Los contenidos en MgO frente a SiO₂ han sido útiles a la hora de diferenciar los diferentes litotipos de pizarras de techar de diferentes facies y edades (Fig. 5 en Cárdenes *et al.*, 2013). La figura 5B muestra claras diferencias entre las pizarras verdes en la parte baja de la Serie de los Cabos, con un mayor contenido en MgO, con respecto a las infrayacentes de las Capas de Transición y, también, respecto a las de las pizarras del Ordovícico, en ambos casos con contenidos significativamente inferiores en MgO.

Los datos de geoquímica, de acuerdo a los contenidos de SiO₂/20, K₂O + Na₂O y TiO₂ + MgO + Fe₂O₃ en un diagrama ternario, proporcionan información sobre el grado de madurez de los sedimentos detríticos (Kroonenberg, 1990). Como se aprecia en la Fig. 5C, las pizarras verdes se encuentran en una posición intermedia entre las pizarras ordovícicas, relativamente muy poco maduras, y las lutitas de las Capas de Transición, más maduras y próximas al vértice más rico en sílice. Si bien, en los análisis de Arias (1991) no se dispone de analítica de TiO₂, la contribución esperada sobre el tercer vértice de este óxido es menor en comparación con la de Mg y Fe, mucho más abundantes. Aunque la geoquímica de las lutitas grises de las Capas de Taramundi II es similar a la de la formación Agüeira (Fig.

5A y B), no ocurre lo mismo con el grado de madurez, que permite diferenciar las lutitas grises de las pizarras del ordovícico superior (Fig. 5C).

El último análisis de los datos geoquímicos se realiza en el contexto del contenido relativo de carbonatos. Basándose en Brumsack (1989) y Niebuhr (2005), el diagrama ternario representando los tres componentes más importantes de sedimentos carbonatados (filosilicatos en el vértice de $5 \times \text{Al}_2\text{O}_3$, cuarzo SiO_2 y carbonato $2 \times \text{CaO}$), permite representar los términos de mezcla entre lutitas y carbonatos, que siguen la línea recta entre las composiciones promedio de lutitas y el vértice de CaO . En la Fig. 5D se representa la composición promedio de las pizarras de la Fm. Luarca y la Fm. Agüeira (en ambos casos, correspondientes a los litotipos que se explotan para pizarra de techar, extraídos de los datos de Cárdenes *et al.*, 2013),

con contenidos bajos de calcio, como en algunas de las pizarras verdes y como en la muestra de pizarras grises de las Capas de Taramundi II. Sobre este diagrama ternario se han representado los términos carbonatados y lutíticos ricos en CaO de los miembros Medio-Superior e Inferior de las Capas de Transición (Arias, 1991), que muestran desde el vértice carbonatado una progresiva mezcla con composiciones lutíticas siguiendo la línea de mezcla de las margas. En la mayor parte de las muestras de pizarras verdes, sí se aprecia un creciente contenido en componente carbonatado, el cual sigue la línea de mezcla de las margas. La clasificación de estos materiales como margas solo fue realizada anteriormente por Färber y Jaritz (1964), ya que todos los autores posteriores únicamente se han referido a ellas como pizarras, sin precisar la presencia de una componente carbonatada en estas rocas de grano fino.

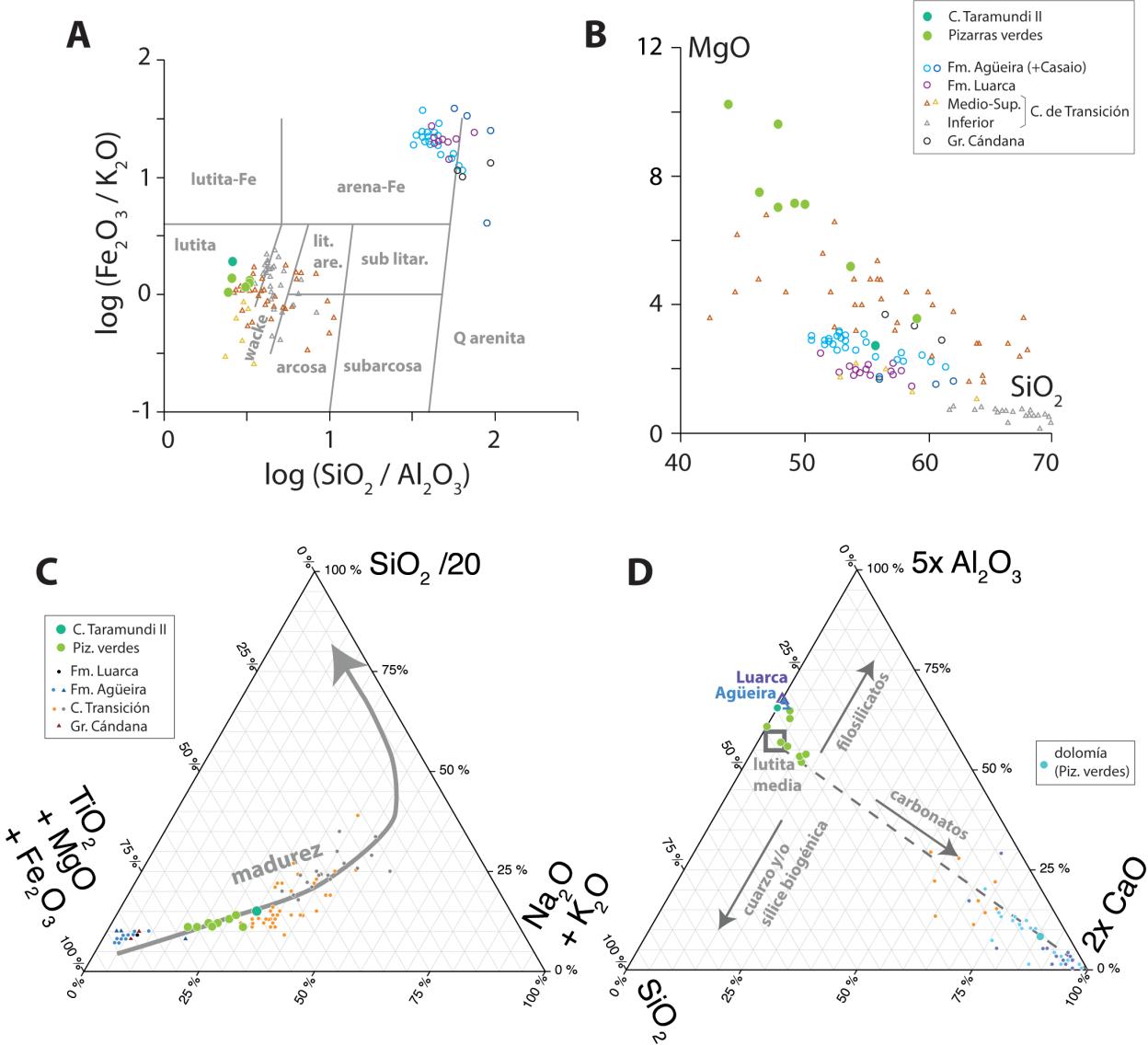


Fig. 5.- Caracterización geoquímica de pizarras y carbonatos. En A) se muestra en escala logarítmica las relaciones entre Fe y K frente a Si y Al, que permiten distinguir los diferentes litotipos en rocas detriticas (según Herron, 1988). B) Contenido en Mg frente a Si, que permite discriminar los diferentes litotipos de pizarras de techar en la ZAOL (Cárdenes *et al.*, 2013). C) Diagrama ternario mostrando la madurez de materiales terrígenos a partir de datos de geoquímica de elementos mayores (según Kroonenberg, 1990). D) Diagrama ternario que enfrenta Ca, Si y Al y que permite determinar la mezcla entre carbonatos y lutitas (según Nieburgh, 2005). Explicación de resultados en el texto principal.

Estructura

La mayor parte de la sección costera se encuentra en posición de flanco normal de pliegues acostados dentro del manto de Mondoñedo. Hacia el este de la playa de Santa Gadea comienza la franja de deformación asociada al frente del manto, donde predominan pliegues subverticales, tanto de fase 1 como de fase 3 (Bastida y Pulgar, 1978). El límite con la zona frontal asociada al manto de Mondoñedo lo forma la falla de Figueras, que desde la playa de Penarronda recorre la zona de estudio en dirección SSO-NNE (Fernández-Catuxo, 1990). Esta falla es subvertical y debido la aparición de pizarras verdes y calizas en el bloque oriental, bien pertenecientes a la base de la Serie de los Cabos o a la Fm. Vegadeo, se ha interpretado que la falla hunde el bloque occidental (Fernández-Catuxo, 1990 y referencias incluidas). Los niveles carbonatados hacia el este en Linera (Fig. 4), en posición de flanco normal, tienen tanto a techo como a muro pizarras verdes, motivo por el cual ha sido necesario precisar la unidad de pertenencia de las pizarras que los contienen (la Tabla 1 recoge los datos de muestras tanto a techo como a muro). La caracterización geoquímica de las pizarras verdes realizada en este trabajo, descrita en el apartado precedente, refuerza la interpretación de las pizarras verdes y sus carbonatos intercalados como pertenecientes a la parte basal de la Serie de los Cabos.

El mapa de la figura 4 mantiene los rasgos principales de las cartografías previas, pero distingue la existencia de un flanco inverso siguiendo el margen derecho de la ría, no obstante, no tiene mayor impacto en el reconocimiento de las estructuras más tardías, objeto de este trabajo. La estructura más conspicua en toda el área estudiada es una foliación tectónica de carácter regional, S_1 , que es especialmente penetrativa en los términos pelíticos, y menos perceptible o incluso inexistente en los términos más ricos en cuarzo. Está asociada a pliegues acostados de entidad

cartográfica, algunos de los cuales aparecen representados en el mapa de la figura 4 y que fueron definidos en trabajos previos (Bastida y Pulgar, 1978; Marcos y Bastida, 1980; Fernández-Catuxo, 1990). En los flancos normales de los pliegues acostados, muy tendidos, es difícil separar la foliación tectónica de la estratificación porque el ángulo entre ambas es muy bajo. En los flancos inversos, donde la estratificación está más verticalizada y el ángulo entre ambas estructuras es mayor, sí es más fácil reconocer y diferenciar ambas estructuras (Fig. 3D).

La proyección conjunta de todos los datos de la estratificación, S_0 , y de la foliación tectónica regional, S_1 , recogidos en la zona de estudio, permite apreciar algunos aspectos estructurales relevantes (Fig. 6A). Por ejemplo, que la estratificación y la foliación están afectadas por pliegues con ejes homoaxiales que pinchan entre 20 y 30° hacia N20. También, que los datos de la lineación de intersección entre la estratificación y la foliación, L_1 , así como de la lineación mineral, coinciden con la mencionada posición del eje de plegamiento local, y además con la de los ejes de un buen número de pliegues medidos en el campo. Existe, no obstante, una serie de ejes de pliegues en una posición casi perpendicular a la dirección regional que no se han podido correlacionar con ninguna estructura cartográfica.

La proyección estereográfica conjunta de estructuras frágiles, tanto diaclasas dominantes como fallas/estrías, permite realizar observaciones sobre la estructura local (Fig. 6B). Se aprecia una mayor concentración de polos de diaclasas en el entorno de la dirección de plegamiento regional, lo que indicaría que una gran parte de las diaclasas son perpendiculares a los ejes de los pliegues. Respecto a las fallas, se pueden deducir dos cosas, por una parte, la mayoría de los polos se centran en el medio de la proyección, indicando la presencia de fallas de relativo bajo ángulo. Por otra parte, se aprecian tres submáximos: el dominante se sitúa en el cuadrante suroriental, el segundo en

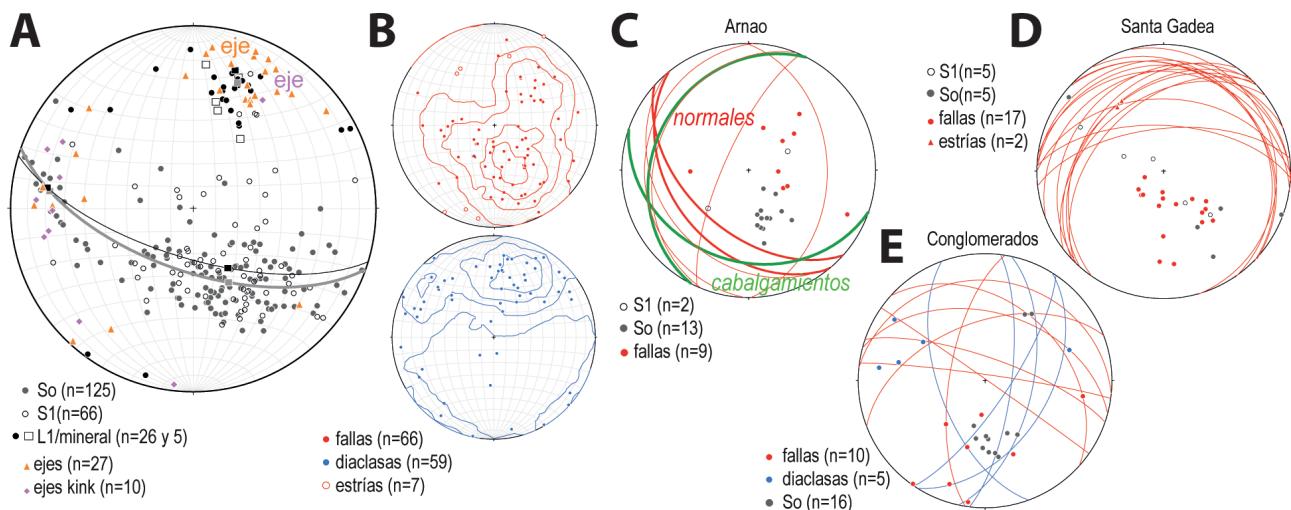


Fig. 6.- Proyección estereográfica de datos estructurales en la zona de estudio. A) Proyección equiárea global de datos de estratificación (S_0), foliación tectónica regional (S_1), lineación mineral y de intersección L_1 , y ejes de pliegues. B) Proyección equiárea global de polos de fallas (en rojo) y diaclasas (en azul) sobre la que se muestran los contornos de densidad de los mismos datos. Datos estructurales de estratificación, foliación tectónica, planos de falla, estrías y diaclasas en tres localidades específicas: C) en la playa de Arnao, D) en la playa de Santa Gadea, y E) en los conglomerados carboníferos discordantes en la punta del Torno. Se indica el número de medidas de cada elemento en todas las proyecciones.

el cuadrante nororiental y el tercero, mucho más tenue, se encuentra en dirección E-O.

Las superficies de deslizamiento asociadas a las fallas son, en general, superficies lisas, es decir, que en su mayoría no presentan estrías. Las superficies tienen dimensiones

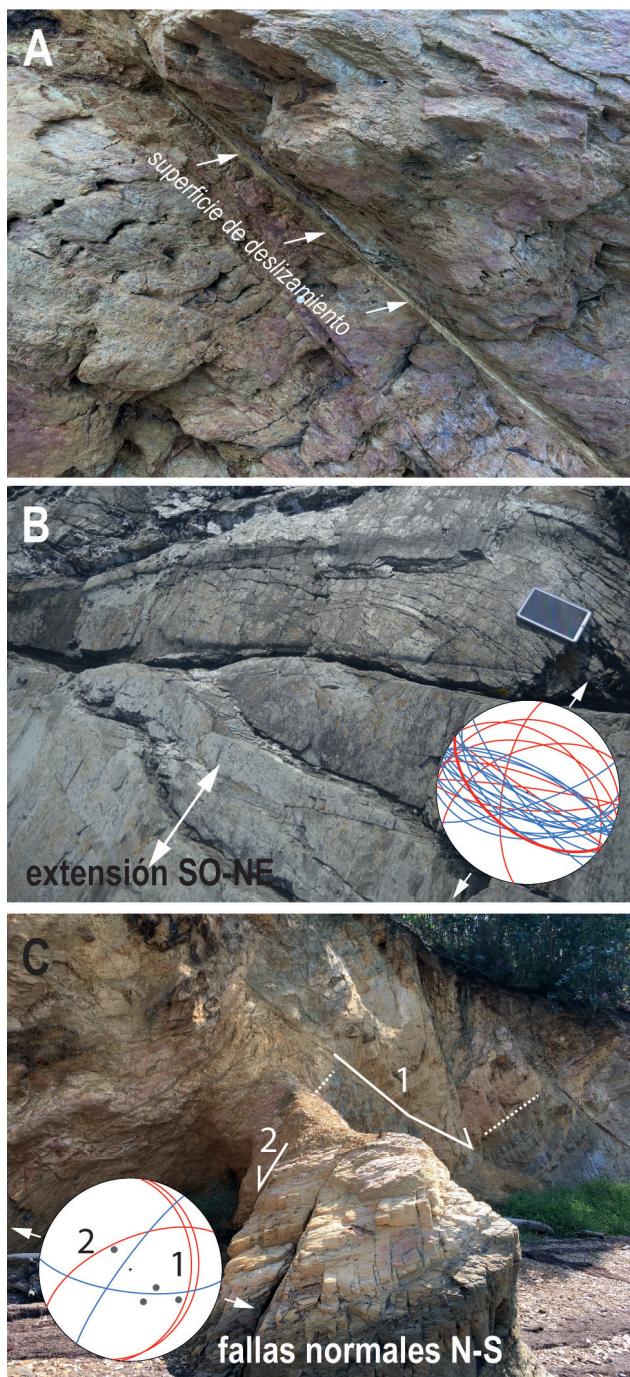


Fig. 7.- A) Superficie de deslizamiento en falla de ángulo intermedio a bajo en la playa de Santa Gadea. B) Estiramiento en dirección suroeste-noreste (SO-NE) en una sección paralela a la estratificación. La sección en la imagen es un talud inclinado hacia el mar. C) fallas normales en la desembocadura del río Eo. Las principales, de dirección N-S, están indicadas con (1) y las secundarias, de dirección NE-SO con (2). Ver localización de las imágenes en la Fig. 4. En las proyecciones, aparecen en rojo planos de falla y en azul diaclasas. Los polos de plano en gris oscuro corresponden a la estratificación, los huecos a la foliación S_1 .

métricas a decamétricas. Muchas de las fallas desarrollan harinas de fallas en bandas milimétricas (Fig. 7A), que desaparecen en los taludes expuestos a la acción erosiva del mar, aunque persisten las superficies de baja rugosidad sobre el bloque inferior. En el bloque superior de estas superficies, son frecuentes grietas de extensión (Fig. 7.B) que pueden utilizarse para deducir la dirección de transporte en las superficies de cizalla, en general, siempre próxima a la línea de máxima pendiente. No existen marcadores que permitan cuantificar los saltos, pero en general, se trata de saltos centimétricos a decimétricos para las fallas que no llegan a tener expresión cartográfica (Figs. 7C, 8A, B).

Si bien, de manera conjunta las fallas no muestran un patrón de orientación común tan bien definido como el de las estructuras dúctiles, localmente sí existen tendencias destacables, como ya se ha anticipado con el análisis de la orientación de superficies de falla en proyección estereográfica. En el sector oriental, entre las playas de Penarronda y Santa Gadea, existen numerosas fallas de bajo ángulo con dirección NE-SO (Fig. 6C), que sugieren una dirección de extensión NO-SE (Fig. 8). Algunas de las fracturas, están acompañadas por venas y diques de cuarzo (Fig. 8B, C), que en secciones perpendiculares a la foliación tectónica parecen corresponder con cuellos asimétricos de budines (Fig. 8D). En el sector más occidental estudiado (Fig. 4), existe una orientación preferente de las fallas normales con dirección NO-SE y extensión NE-SO (Figs. 6C y 7B). Finalmente, el extremo sur de la zona de estudio, se han podido reconocer fallas normales de dirección N-S y con buzamiento hacia el este (Fig. 7C).

La última localidad que proporciona datos estructurales de interés regional es la punta del Cuerno o del Torno donde afloran los conglomerados carboníferos (Fig. 3E, F), que no registran la larga historia tectónica varisca dúctil. La proyección estereográfica en la Fig. 6E muestra la presencia de numerosas fracturas con una dirección dominante E-O y una posición dominante de diaclasas subverticales con dirección N-S.

Exceptuando la falla de dirección N-S que sigue el trazado de la ría, en los otros casos, no es evidente la presencia de una estructura cartográfica mayor con la que pudieran estar relacionadas las superficies de deslizamiento halladas. La falla que sigue la ría, aunque ha sido cartografiada por los autores previos, sin embargo, no se ha realizado una estimación del salto acumulado.

Discusión: interpretación de los tres sistemas de fallas normales reconocidas

La presencia de una secuencia sedimentaria Carbonífera sinorogénica sobre las pizarras del Paleozoico inferior en el sector costero entre Galicia y Asturias, indica que el nivel de erosión había sido suficiente como para haber expuesto las pizarras en superficie. La consecuencia principal de la posición de estas rocas en la corteza en los eventos tectónicos posteriores, es que todos los fenómenos de deformación se enmarcan en condiciones corticales relativamente superficiales y, por tanto, no son esperables cambios significativos en la mineralogía de las rocas de

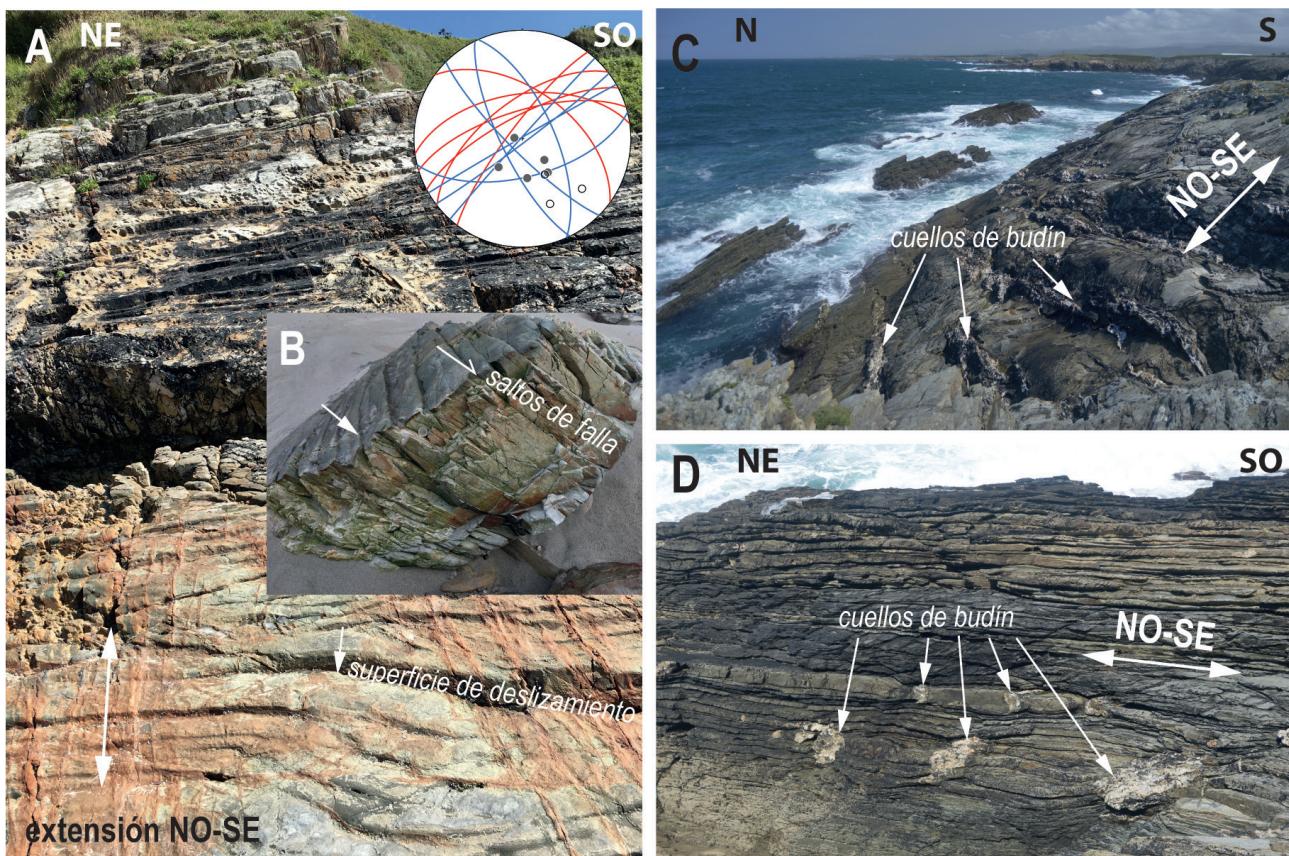


Fig. 8.- Estructuras asociadas a la extensión NO-SE. A) fracturación con una dirección de extensión NO-SE en flanco normal. La imagen muestra una superficie de estratificación afectada por numerosas fallas (los planos de falla aparecen en sombra). B) En una sección transversal de la fracturación que se muestra en la foto anterior, se aprecian los saltos asociados a cada una de las fallas (indicada con flechas una de las fallas). C) Relación de las venas de cuarzo, precipitadas en cuellos de budín, con la extensión vista sobre el plano de la estratificación. Fotografía paralela a la costa, mirando hacia el E. D) Ídem de la anterior, en una vista perpendicular a la estratificación. Notar la localización de las venas en los cuellos de budines de las capas competentes. Ver localización de los afloramientos en la Fig. 4. La proyección estereográfica en A muestra en rojo planos de falla, en azul diaclasas, en gris planos de estratificación y en blanco planos de la foliación S_1 .

falla asociadas a las estructuras. Gran parte de la historia tectónica posterior ha estado dominada por episodios de extensión de variada magnitud. El primero, en la fase final del orógeno varisco, a comienzos del Pérmico. El segundo, a finales del Pérmico e inicios del Triásico. Y el tercero, a partir del Jurásico. Si bien la cinemática de las estructuras puede ser variada localmente en relación a fenómenos de difracción por cambios en el contraste de propiedades elásticas de cuerpos geológicos (p. ej., Faulkner *et al.*, 2006), la reducida extensión del área de estudio y la ausencia de grandes contrastes reológicos entre las unidades estratigráficas del Paleozoico inferior, permiten asumir que durante cada uno de los eventos extensionales mencionados, dicha cinemática ha debido ser relativamente constante en cada uno de ellos.

La presencia de estructuras mayores extensionales en el entorno regional del área de estudio con cinemática similar a las aquí descritas, permite considerar esta asunción como factible. Las principales y más próximas de dichas estructuras reconocidas en las etapas finales de la orogenia varisco son la falla de Vivero (Lopez-Sánchez *et al.*, 2015) y la falla de Areoura (Marcos, 2013). El desplazamiento acumulado en cada una de ellas es del orden de varios ki-

lómetros. El elevado ángulo de la falla de Vivero implica que el adelgazamiento de la raíz cortical varisca ha debido de ser relativamente modesto, y mayor en el caso de la de Areoura por su buzamiento más tendido (20° según Marcos, 2013). Ambas fallas forman un sistema conjugado de fallas extensionales con una dirección aproximadamente perpendicular al trazado de la fábrica varisca, esto es, en dirección NO-SE. Esta dirección es coherente con la extensión más penetrativa observada en las capas competentes de cuarcitas entre pizarras en la sección entre las playas de Penarronda y Santa Gadea, donde además dominan las fallas normales con buzamiento hacia el noroeste. El budinaje en capas competentes y la precipitación de venas de cuarzo en los cuellos de los budines (Fig. 8C y D) implica una cinemática, con estiramiento en dirección NO-SE, que es coherente con el episodio de extensión al final de la orogenia varisca en este sector de la cadena.

Los restantes y posteriores episodios de extensión son menos evidentes en el área de estudio que el ya mencionado. Las fallas son menos frecuentes, están muy espaciadas y muestran una distribución local. El siguiente episodio de extensión tras la finalización del orógeno varisco, con una dirección de extensión NE-SO, se puede relacionar genéticamente con la formación de la cuarcita de Vivero (López-Sánchez *et al.*, 2015).

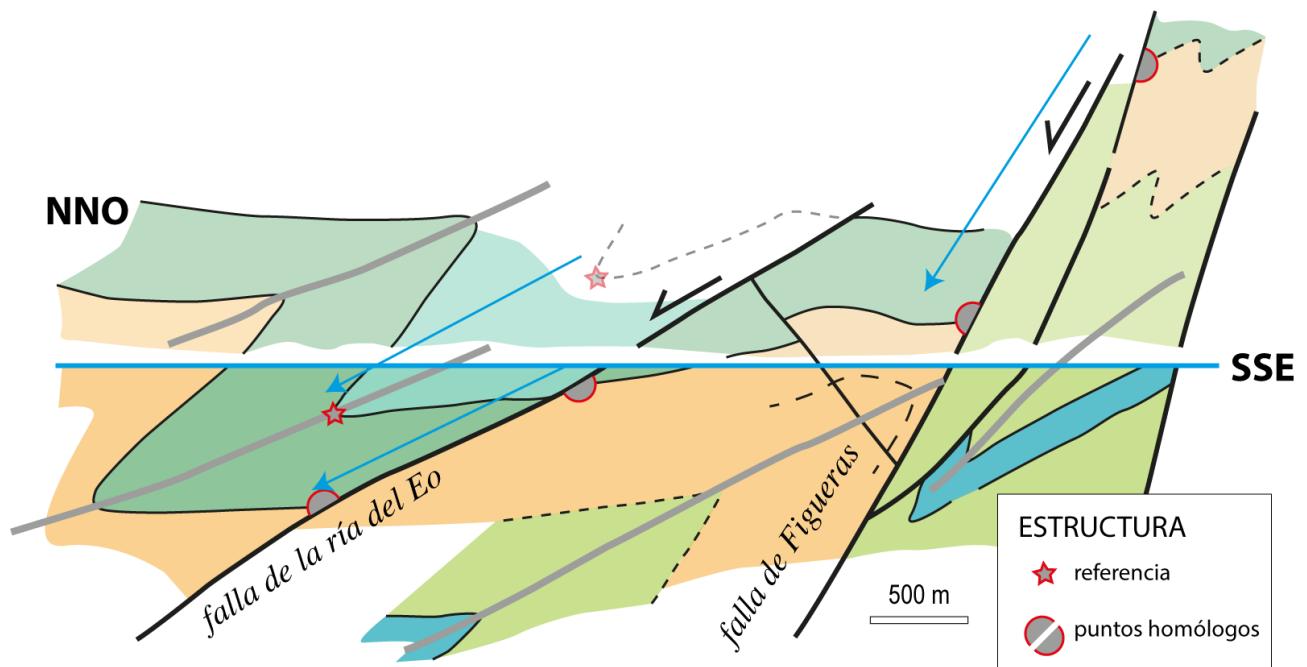


Fig. 9.- Corte geológico en dirección NNO-SSE a través de la desembocadura del río Eo (localización de la línea de corte en la Fig. 4). La orientación del corte es perpendicular a la dirección de los pliegues que afectan tanto a la estratificación como a la foliación tectónica regional (Fig. 6). Sobreimpuestos al corte se muestran marcas de referencia para el cálculo del salto en las dos estructuras principales atravesadas, siendo la primera la falla bajo la ría y, la segunda, la falla de Figueras, desde la playa de Penarronda. Aunque no se encuentra aflorante, una falla de bajo ángulo, explica la repetición del pliegue sinformal en ambos bloques de la falla que aprovecha la ría. La leyenda de las unidades es la misma que en la figura 4.

camente con las fallas que cobijan cuencas permotriásicas en el sector central de Asturias (Arche y López-Gómez, 1996; López-Gómez *et al.*, 2019). La estructura principal en el sector central cantábrico es la falla de Ventaniella, que no solo se encuentra alejada de la zona de estudio, sino que además afecta al bloque más rígido, que sobrevive a varios episodios de extensión (Ziegler, 1988). Las fallas observadas en la costa de la playa de Arnao (Fig. 4) muestran un buzamiento bajo que podría asociarse con este episodio de extensión (Fig. 6E).

La apertura del océano Atlántico se inicia en el Jurásico, edad de la corteza oceánica más antigua. En relación a este episodio tectónico de escala global, el noroeste de la península Ibérica se encuentra en una situación muy particular, puesto que registra tanto la extensión E-O que produce la formación de un océano de más de 3000 km de ancho en esta latitud, como parte de la extensión asociada a una rama de dirección perpendicular a la principal que da lugar al Golfo de Vizcaya (p. ej., Tugend *et al.*, 2015). La confluencia de los dos dominios de extensión y su relativa proximidad, permite anticipar la presencia de estructuras con cinemáticas locales muy diferentes. Sin embargo, el registro estructural no es homogéneo. En la proyección estereográfica de la Fig. 6B se observa un submáximo que implica la presencia de fallas de dirección N-S que, en contraste con las agrupaciones de fallas anteriores, no se encuentran limitadas a zonas concretas, sino que aparecen más o menos distribuidas por la zona costera estudiada. A diferencia de las anteriores, estas mesoestructuras se podrían correlacionar con las fallas N-S de entidad cartográfica que se muestran en la figura 4 afectando la ría

y su entorno. Fallas normales no aflorantes como la que se interpreta que se encuentra bajo la ría, han sido descritas en zonas adyacentes, especialmente hacia el oeste. El mapa geológico de la figura 1 ya recoge alguna de estas estructuras. Por ejemplo, la falla de Ortigueira, descrita por Marcos y Farias (1999) en el entorno del complejo de Cabo Ortegal, para la que estiman un salto vertical de entre 1 y 2 km; o la falla de Foz, que para Marcos (2013) excede el kilómetro de salto vertical. En ambos casos, las fallas hunden el bloque occidental y los saltos se acomodan, aparentemente, en estructuras de alto ángulo.

Para la estimación del salto en la falla principal que define la posición de la ría, se ha realizado un corte geológico en dirección N110E, perpendicular a la dirección de los pliegues de fase 1 y fase 3. El eje del sinforme acostado de fase 1, que aparecen a ambos lados de la ría y de la falla, constituye, por tanto, la línea homóloga de referencia en ambos bloques de falla sobre la que se calculará el salto de la falla. Puesto que el trazado del corte es prácticamente perpendicular a la traza de la falla normal, el salto calculado en esta sección será muy cercano al movimiento paralelo a la dirección de máxima pendiente del plano de falla, minimizando la contribución en dirección. La inclinación de 30° del eje del pliegue regional (Fig. 6A) implica que un corte vertical constituye una sección oblicua a los pliegues y estructura varisca, pero es suficiente para establecer un rango de movimiento de esta falla. La magnitud del salto obtenida, del orden de 1,4 km, es similar a la determinada para fallas de similar cinemática mencionadas previamente y, probablemente, para otras en el dominio de extensión jurásica atlántica que reproduzcan mejor la extensión asociada a la formación del océano Atlántico.

Conclusiones

La mitad occidental de Iberia ha experimentado varios episodios de extensión cortical desde el final de la orogenia varisca. El registro tectónico de los diferentes episodios extensivos es evidente en los márgenes del continente, pero testimonial en el dominio continental que, mayormente, no ha sido afectado. El estudio de detalle de fallas menores (en algunos casos con superficies de deslizamiento asociadas) afectando al basamento en el entorno de la desembocadura del río Eo, ha permitido discriminar varios episodios de extensión que se han intentado correlacionar con las fases de extensión fini- y post-varisca reconocidas en la literatura. La primera de ellas y más penetrativa se ha asimilado a la extensión fini-varisca, que con una dirección de estiramiento NO-SE produjo, con una orientación subperpendicular, las principales fallas cartográficas y también abundantes fallas menores. Un segundo grupo de fallas, de dirección NO-SE, podrían ser correlacionadas de manera tentativa con estructuras del sector cantábrico central, formadas durante la extensión permotriásica. El último grupo de estructuras considerado corresponde a fallas cartográficas de dirección N-S, que serían compatibles con la extensión jurásica que da lugar la apertura del océano Atlántico. Por otra parte, a pesar de que la zona de estudio se encuentra localizada en el dominio cantábrico de la extensión jurásica, es decir, el dominio asociado a la formación del Golfo de Vizcaya, el tipo y orientación de estructuras encontradas en la zona de estudio sugieren que la extensión asociada a la apertura del océano Atlántico ha tenido una mayor prevalencia en el registro estructural de la zona emergida del continente.

Agradecimientos y financiación

Parte del trabajo asociado a este manuscrito se ha financiado en el marco del proyecto CGL-2017-86487-P de la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y en el marco de una ayuda a grupos de investigación del Gobierno del Principado de Asturias (GEOCANTABRICA, GRUPIN14-044). Algunos de los datos de fallas normales menores han sido extraídos del TFG de M. González Pérez, presentado en la Universidad de Oviedo en 2020. SLF agradece a Álvaro Rubio la ayuda en el uso de la geoquímica para caracterizar objetivamente algunas de las rocas estudiadas. La revisión por parte de Pablo Valverde Vaquero y Pedro Pablo Hernández Huerta de una versión previa del manuscrito ha mejorado, sin duda, la calidad del trabajo. SLF quiere destacar los cuarenta años que abarcan dos de las aportaciones de Alberto Marcos, entre 1973 y 2013, a la geología regional de la zona de estudio. Estas publicaciones relacionan dos de sus zonas de trabajo favoritas. Sirva como pequeño homenaje a la figura de Alberto Marcos Vallaure, geólogo de la Universidad de Oviedo y editor de esta revista entre los años 1992 y 1996.

Contribución de autores

Una parte de las observaciones de estructuras presen-

tadas proceden del trabajo realizado por M.G.P. para su trabajo fin de grado. El planteamiento inicial, así como las tareas de coordinación, supervisión y obtención de financiación para el resto de trabajo presentado fue realizado por S.L.F.

Referencias

- Adaro, L., Junquera, G., 1916. Hierros de Asturias. En: Criaderos de hierro de España. Memorias del IGME, Tomo 2, (Adaro y Madro, L. Ed). IGME, Madrid, 610 p.
- Allmendinger, R.W., Siron, C.R., Scott, C.P., 2017. Structural data collection with mobile devices: Accuracy, redundancy and best practices. *Journal of Structural Geology*, 102: 98-112. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2017.07.011>
- Alonso, J.L., Pulgar, F.J., García-Ramos, J.C., Barba, P., 1996. Tertiary basins and alpine tectonics in the Cantabrian Mountains. En: *Tertiary Basins of Spain: the Stratigraphic Record of Crustal Kinematics* (P.F. Friend, C.J. Dabrio, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, pp. 214-227. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511524851.031>
- Alonso, J.L., Pulgar, J.A., Pedreira, D., 2007. El relieve de la Cordillera Cantábrica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15.2: 151-163.
- Álvarez Ramis, C., 1966. La flora fósil Estefaniense de la punta de la Rubia, Figueras, Asturias. *Boletín Real Sociedad Española de Historia Natural*: 64, 151-153.
- Arche, A., López-Gómez, J., 1996. Origin of the Permian-Triassic Iberian Basin, central-eastern Spain. *Tectonophysics*, 266: 443-464. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(96\)00202-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00202-8)
- Arias, D., 1991. La caracterización geoquímica y mineralógica del yacimiento de Pb-Zn de Rubiales (Lugo, España). Tesis Doctoral, Univ. Oviedo, 263 p.
- Arias, D., Farias, P., Marcos, A., 2002. Estratigrafía y Estructura del Antiforme del Ollo de Sapo en el área de Viana do Bolo-A Gudiña (Provincia de Orense, NO de España): nuevos datos sobre la posición estratigráfica de la Formación porfiroide Ollo de Sapo. *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 23: 9-19.
- Barrois, Ch., 1882. Recherches sur le terrains anciens des Asturias. *Mémoires de la Société Géologique Du Nord*: 2, Memoir 1, 630 p, 20 Planches.
- Bastida, F., Martínez Catalán, J.R., Pulgar, J.A., 1986. Structural, metamorphic and magmatic history of the Mondoñedo nappe (Hercynian belt, NW Spain). *Journal of Structural Geology*, 8: 415-430. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(86\)90060-X](https://doi.org/10.1016/0191-8141(86)90060-X)
- Bastida, F., Pulgar, J.A., 1978. La estructura del manto de Mondoñedo entre Burela y Tapia de Casariego (costa Cantábrica, NW de España). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 10: 75-124.
- Boillot, G., Malod, J., 1988. The North and North-West Spanish continental margin: a review. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1: 295-316.
- Brumsack, H.J., 1989. Geochemistry of recent TOC-rich sediments from the Gulf of California and the Black Sea. *Geologische Rundschau*, 78 (3): 851-882. <https://doi.org/10.1007/BF01829327>
- Cadenas, P., Fernández-Viejo, G., 2017. The Asturian Basin within the North Iberian margin (Bay of Biscay): seismic characterization of its geometry and its Mesozoic and Cenozoic cover. *Basin Research*, 29: 521-541. <https://doi.org/10.1111/bre.12187>
- Cadenas, P., Fernández-Viejo, G., Pulgar, J.A., Tugend, J., Manatschal, G., Minshull, T.A., 2018. Constraints Im-

- posed by Rift Inheritance on the Compressional Reactivation of a Hyperextended Margin: Mapping Rift Domains in the North Iberian Margin and in the Cantabrian Mountains. *Tectonics*, 37: 2016TC004454, 28 p. <https://doi.org/10.1002/2016TC004454>
- Cadenas, P., Manatschal, G., Fernández-Viejo, G., 2020. Unravelling the architecture and evolution of the inverted multi-stage North Iberian-Bay of Biscay rift. *Gondwana Research*, 88: 67-87. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.06.026>
- Cárdenas, V., Rubio-Ordoñez, A., Monterroso, C., Calleja, L., 2013. Geology and geochemistry of Iberian roofing slates. *Chemie der Erde*, 73: 373-382. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2012.11.004>
- Cardozo, N., Allmendinger, R.W., 2013. Spherical projections with OSXStereonet. *Computers & Geosciences*, 51: 193-205. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.07.021>
- Espina, R.G., Alonso, J.L., Pulgar, J.A., 1996. Growth and propagation of buckle folds determined from syntectonic sediments (the Ubierna Fold Belt, Cantabrian Mountains, N Spain). *Journal of Structural Geology*, 18 (4): 431-441. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(95\)00103-K](https://doi.org/10.1016/0191-8141(95)00103-K)
- Farias, P. y Marcos, A., 2019. Geodynamic evolution of the San Vitero basin, a foreland-type basin developed in the hinterland of the Variscan Orogen (Zamora, NW Spain). *Journal of Iberian Geology*, 45: 529-551. <https://doi.org/10.1007/s41513-019-00108-w>
- Färber, A.V., Jaritz, W., 1964. Die Geologie des westasturischen Küstengebietes zwischen San Esteban de Pravia und Ribadeo (NW-Spanien). *Geologisches Jahrbuch*, 81: 679-738.
- Faulkner, D., Mitchell, T.M., Healy, D., Heap, M.J., 2006. Slip on 'weak' faults by the rotation of regional stress in the fracture damage zone. *Nature*, 444: 922-925. <https://doi.org/10.1038/nature05353>
- Fernández-Catuxo, F., 1990. Nuevas aportaciones al conocimiento geológico de la Ría del Eo (NW España). *Geogaceta*, 8: 109-112.
- Gómez Miranda, M.J., Asensio Amor, I., 1984. Nota sobre depósitos Estefaniense B y Cuaternario de la Punta del Cuello (Límite Galaico-Astur). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 7: 241-253.
- Herron, M.M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58 (5): 820-829. <https://doi.org/10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Jaritz, W., Walter, R., 1970. Faziesuntersuchungen im Altpaläozoikum Nordwest-Spaniens (Asturien un Prov. Lugo). *Geologisches Jahrbuch*, 88: 509-552.
- Kroonenberg, S.B., 1990. Geochemistry of quaternary fluvial sands from different tectonic regimes. *Geochemistry of the Earth's surface and of mineral formation*. 2nd international Symposium: 88-91. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(90\)90172-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(90)90172-4)
- Llana Fúnez, S., Marcos, A., Alonso, J.L., Fernández Viejo, G., 2019. Interpretación tectónica de la sección cortical del orógeno Varisco en el noroeste de la península Ibérica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27.3: 293-300.
- Llana-Fúnez, S., Marcos, A., 2007. Convergence in a thermally softened thick crust: Variscan intracontinental tectonics in Iberian plate rocks. *Terra Nova*, 19: 393-400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2007.00763.x>
- Llana-Fúnez, S., López Fernández, C., 2015. The seismogenic zone of the continental crust in Northwest Iberia and its relation to crustal structure. *Tectonics*, 34: 1751-1767. <https://doi.org/10.1002/2015TC003877>
- López-Fernández, C., Llana-Fúnez, S., Fernández-Viejo, G., Domínguez-Cuesta, M.J., Díaz-Díaz, L.M., 2020. Comprehensive characterization of elevated coastal platforms in the north Iberian margin: A new template to quantify uplift rates and tectonic patterns. *Geomorphology*, 364: 107242. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107242>
- López-Gómez, J., Martín-González, F., Heredia, N., de la Horra, R., Barrenechea, J.F., Cadenas, P., Juncal, M., Diez, J.B., Borruel-Abadía, V., Pedreira, D., García-Sansegundo, J., Farias, P., Galé, C., Lago, M., Ubide, T., Fernández-Viejo, G., Gand, G., 2019. New lithostratigraphy for the Cantabrian Mountains: A common tectonostratigraphic evolution for the onset of the Alpine cycle in the W Pyrenean realm, N Spain. *Earth-Science Reviews*, 188: 249-271. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.11.008>
- López-Sánchez, M.A., 2013. Análisis Tectónico de la Falla de Vivero (Galicia, NO de España). Tesis Doctoral, Univ. de Oviedo, 164 p y anexos.
- López-Sánchez, M.A., Marcos, A., Martínez, F.J., Iriondo, A., Llana-Fúnez, S., 2015. Setting new constrains on the age of crustal-scale extensional shear zone (Vivero fault): implications for the evolution of Variscan orogeny in the Iberian massif. *International Journal of Earth Sciences*, 104: 927-962. <https://doi.org/10.1007/s00531-014-1119-1>
- Marcos, A., 1973. Las series del Paleozoico Inferior y la estructura hercíniana del Occidente de Asturias (NW de España). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 6: 3-113.
- Marcos, A., Bastida, F., 1980. Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 10 (Ribadeo). IGME, Madrid.
- Marcos, A. 2013. Un nuevo mapa geológico de la parte septentrional del Domo de Lugo (Galicia oriental, NO de España): implicaciones sobre la estratigrafía, estructura y evolución tectónica del Manto de Mondoñedo. *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 33: 171-200.
- Marcos, A., Farias, P., 1999. La estructura de las láminas inferiores del Complejo de Cabo Ortegal y su autóctono relativo (Galicia, NO de España). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 21: 201-221.
- Marcos, A., Pérez-Estaún, A., 1981. La estratigrafía de la Serie de los Cabos en la Zona de Vegadeo (Zona Asturoccidental-Leonesa, NW de España). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 11: 89-94.
- Martínez, F.J., Carreras, J., Arboleya, M.L., Dietsch, C., 1996. Structural and metamorphic evidence of local extension along the Vivero fault coeval with bulk crustal shortening in the Variscan chain (NW Spain). *Journal of Structural Geology*, 18: 61-73. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(95\)00080-W](https://doi.org/10.1016/0191-8141(95)00080-W)
- Matte, P., 1968. La estructura de la virgation hercynienne de Galice (Espagne). *Geologie Alpine*, 44: 155-280.
- Niebuhr, B., 2005. Geochemistry and time-series analyses of orbitally forced Upper Cretaceous marl-limestone rhythmites (Lehrte West Syncline, northern Germany). *Geological Magazine*, 142 (1): 31-55. <https://doi.org/10.1017/S0016756804009999>
- Nirrengarten, M., Manatschal, G., Tugend, J., Kusznir, N., Sauter, D., 2018. Kinematic Evolution of the Southern North Atlantic: Implications for the Formation of Hyperextended Rift Systems. *Tectonics*, 37: 89-118. <https://doi.org/10.1002/2017TC004495>
- Pérez-Estaún, A., Bastida, F., Martínez Catalán, J.R. 1991. Crustal thickening and deformation sequence in the footwall to the suture of the Variscan belt of northwest Spain. *Tectonophysics*, 191: 243-253. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(91\)90060-6](https://doi.org/10.1016/0040-1951(91)90060-6)
- Pulgar, J.A., Alonso, J.L., Espina, R.G., Marín, J.A., 1999. La deformación alpina en el basamento varisco de la Zona

- Cantábrica. Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo, 21, 283-294.
- Rollinson, H. Pease, V., 2021. Using Geochemical Data. To Understand Geological Processes. Cambridge University Press, Cambridge, 346 p. <https://doi.org/10.1017/9781108777834>
- Santanach, P., 1994. Las Cuencas Terciarias gallegas en la terminación occidental de los relieves pirenaicos. Cuadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 19: 57-71.
- Somoza, L., Medialdea, T., Terrinha, P. Ramos, A., Vázquez, J.T., 2021. Submarine Active Faults and Morpho-Tectonics around the Iberian Margins: Seismic and Tsunamic Hazards. *Frontiers in Earth Science*, 9: 653639. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.653639>
- Srivastava, S.P., Roest, W.R., Kovacs, L.C., Oakey, G., Lévesque, S., Verhoef, J., Macnab, R., 1990. Motion of Iberia since the Late Jurassic: results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophysics*, 184: 229-260. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90442-B](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90442-B)
- Teixell, A., Labaume, P., Ayarza, P., Espurt, N., de Saint Blanquant, M., Lagabrielle, Y., 2018. Crustal structure and evolution of the Pyrenean-Cantabrian belt: A review and new interpretations from recent concepts and data. *Tectonophysics*, 724-725: 146-170. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.01.009>
- Tugend, J. Manatschal, G., Kusznir, N.J., 2015. Spatial and temporal evolution of hyperextended rift systems: Implication for the nature, kinematics, and timing of the Iberian-European plate boundary. *Geology*, 43: 15-18. <https://doi.org/10.1130/G36072.1>
- Uzkeda, H., Bulnes, M., Poblet, J., García-Ramos, J.C., Piñuela, L., 2016. Jurassic extension and Cenozoic inversion tectonics in the Asturian Basin, NW Iberian Peninsula: 3D structural model and kinematic evolution. *Journal of Structural Evolution*, 90: 157-176. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2016.08.003>
- Vazquez, J.T., Medialdea, T., Ercilla, G., Somoza, L., Estrada, F., Fernández Puga, M.C., Gallart, J., Gràcia, E., Maestro, A., Sayago, M., 2008. Cenozoic deformational structures on the Galicia Bank Region (NW Iberian continental margin). *Marine Geology*, 249: 128-149. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.09.014>
- Ziegler, P.A., 1988. Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Tethys. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 43: 1-198. <https://doi.org/10.1306/M43478>

MANUSCRITO RECIBIDO: 06-09-2022

REVISIÓN RECIBIDA: 30-11-2022

MANUSCRITO ACEPTADO: 09-12-2022

ENRIQUE DUPUY DE LÔME VIDIELLA (1885-1965), UN PIONERO DE LA EXPLORACIÓN DE PETRÓLEO EN ESPAÑA

Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (1885-1965), a pioneer of oil exploration in Spain

Jorge Navarro Comet

jorge.ncomet@gmail.com

Abstract: Spanish mining engineer Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (1885-1965) was a pioneer in systematic oil exploration in Spain. His publications and reports on the geology of Spain and its oil possibilities were references in the 1930s and 1940s. At the time he was considered one of the greatest experts in Spain on petroleum geology and was called as a specialist for any consultation or technical work related to this matter. He began his professional career at the Geological Institute of Spain (IGE) where he completed several tasks, among many others the geological study of the tunnel project in the Strait of Gibraltar to link Europe and Africa. He participated in missions on behalf of the Institute to several oil-producing countries: the United States, Romania, Mexico, and Venezuela, where he acquired knowledge and experience about this industry for its later application in Spain, a country with hardly any oil tradition. He collaborated with CAMPSA, CEPSA and its subsidiary CIEPSA from their first exploration activities until the end of the 1940s. During the Civil War (1936-1939) he was director of the Spanish Geological and Mining Institute (IGME) under the regime of the Republic. Once the war was over, he was subjected to several political trials, being convicted to twelve years and a day of confinement on the island of Lanzarote. A sentence that he partially served on the island and later in different parts of mainland Spain, which allowed him to barely combine his conviction and collaboration with CIEPSA until 1947, when he was finally released from all charges.

Keywords: Enrique Dupuy de Lôme, pioneer, oil exploration, Spain.

Resumen: El ingeniero de minas español Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (1885-1965) fue un pionero en la exploración sistemática de petróleo en España. Sus publicaciones e informes sobre la geología de España y sus posibilidades petrolíferas fueron referentes en las décadas de 1930 y 1940. En su momento fue considerado uno de los mayores expertos en España sobre geología del petróleo y era convocado como especialista para cualquier consulta o trabajo técnico relacionado con esta materia. Comenzó su carrera profesional en el Instituto Geológico de España (IGE) donde desempeñó varias labores, entre otras muchas el estudio geológico del proyecto de túnel en el Estrecho de Gibraltar para unir Europa y África. Participó en misiones en representación del Instituto a varios países productores de petróleo: Estados Unidos, Rumanía, México y Venezuela, en los que adquirió conocimientos y experiencia sobre esta industria para su posterior aplicación en España, un país sin apenas tradición petrolera. Colaboró con CAMPSA, CEPSA y su filial CIEPSA desde sus primeras actividades de exploración hasta finales de los años 1940. Durante la Guerra Civil (1936-1939) fue director del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) bajo el régimen de la República. Una vez terminada la guerra fue sometido a varios juicios políticos, siendo condenado a la pena de doce años y un día de confinamiento en la isla de

Lanzarote. Una condena que cumplió parcialmente en la isla y posteriormente en diferentes puntos de la España peninsular, lo que le permitió compaginar a duras penas su condena y la colaboración con CIEPSA hasta que en 1947 fue finalmente liberado de todos los cargos.

Palabras clave: Enrique Dupuy de Lôme, pionero, exploración de petróleo, España.

Navarro Comet, J., 2022. Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (1885-1965), un pionero de la exploración de petróleo en España. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35 (2): 73-91.

Introducción

El ingeniero de minas español Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (1885-1965) fue un pionero de la exploración sistemática de petróleo en España, llegando a ser un gran conocedor de su geología y sus posibilidades petrolíferas, un aspecto que destaca a lo largo de los últimos años de su trayectoria profesional (Fig. 1). En su momento fue considerado uno de los mayores expertos en España sobre geología del petróleo y era convocado como especialista para cualquier consulta o trabajo relacionado con esta materia, prestando su apoyo a las compañías que llevaban a cabo prospecciones petrolíferas en España en la primera mitad del siglo XX. Sus trabajos y publicaciones sobre la geología y sus posibilidades petrolíferas fueron pioneros en la España de los años 1930 y 1940. Fue la persona de referencia para cualquier visitante extranjero que quisiera conocer la geología de España e investigar su potencial petrolífero. Colaboró con los departamentos de exploración

de CAMPSA, CEPSA y su filial CIEPSA, desde que estas compañías iniciaron sus actividades de investigación en los años treinta hasta finales de la década de 1940, cuando Dupuy cesó definitivamente su actividad profesional.

Desde sus comienzos en el Instituto Geológico de España (IGE) se empezó a familiarizar con la exploración petrolífera y la industria del petróleo, en un momento en el que apenas había conocimientos ni expertos sobre esta materia en España, un país que por aquel entonces tenía escasa o nula tradición petrolera y cuya industria energética estaba basada principalmente en el carbón. Su dominio de varios idiomas le convirtió en un candidato idóneo para visitar países productores de petróleo. El IGE envió al joven Dupuy a Estados Unidos en los años veinte del siglo pasado, donde visitó campos de petróleo en producción, se entrevistó con geólogos e ingenieros norteamericanos y fue asimilando los conceptos y técnicas petroleras para luego aplicarlas de manera sistemática en la evaluación del potencial petrolífero del subsuelo español.

Evaluó las diferentes regiones geológicas de España con posible potencial exploratorio, y las clasificó según prioridades. Elaboró un primer catálogo de indicios de hidrocarburos en la superficie de la España peninsular, un trabajo inaudito para la época. Hizo un exhaustivo inventario de los pozos perforados hasta los años treinta, con comentarios sobre su localización y sus resultados. Los pocos sondeos realizados hasta esa fecha eran en general poco profundos, perforados con una maquinaria deficiente y rara vez ubicados con unos trabajos geológicos adecuados. En la mayoría de sus publicaciones insiste en la escasa actividad de investigación de las riquezas que puede albergar nuestro subsuelo en comparación con la que se estaba llevando a cabo en otros países europeos e inicia una labor divulgadora de los conocimientos que había adquirido en sus viajes a países con una industria consolidada en la exploración y producción de hidrocarburos.

Las principales fuentes de información para la redacción de este pequeño homenaje a un gran ingeniero y geólogo de la exploración de petróleo en España han sido sus publicaciones desde 1912 en el Boletín del Instituto Geológico de España, los excelentes y numerosos trabajos de campo, informes y estudios que realizó para CAMPSA, CEPSA y su filial CIEPSA durante las décadas de 1930 y 1940, así como sus memorias inéditas “Recuerdos de mi vida” (Dupuy de Lôme, 1943), notas personales (Dupuy de Lôme, 1967) y el expediente de los varios juicios políticos a los que fue sometido tras la Guerra Civil archivado en el Centro Documental de la Memoria Histórica (CDMH, 1940-1948).

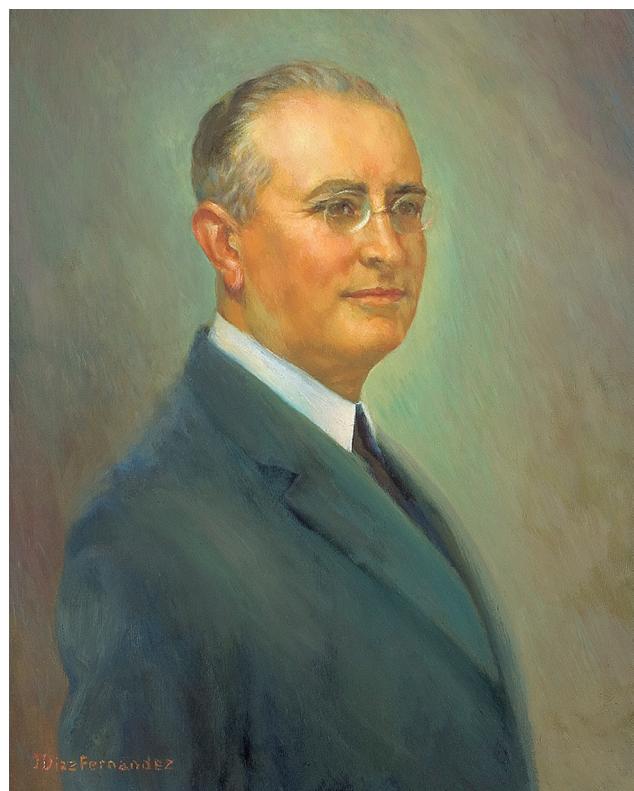


Fig. 1.- Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (1885-1965). Retrato expuesto en la galería de directores en la sede del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en Madrid.

Antecedentes familiares

Enrique Dupuy de Lôme Vidiella nació el 3 de diciembre de 1885 en Berlín (Alemania), donde su padre, el diplomático español Enrique Dupuy de Lôme Paulín (Valencia, 1851-París, 1904) había sido destinado como primer secretario de la embajada de España en 1884. Su madre, Adela Vidiella Andreu (1858-1937), pertenecía a una familia originaria de Cataluña que en el segundo tercio del siglo XIX había emigrado a Uruguay, donde se dedicaron a la vitivinicultura y al comercio con España a través de la compañía 'Vidiella y Cía.' (Bonfanti, 2015), trasladándose la familia a vivir a Cádiz en 1873 (Dupuy de Lôme, 1943).

Los Dupuy de Lôme procedían de una noble familia francesa, que huyendo de los episodios de terror y represión tras la Revolución Francesa se había asentado en Valencia a finales del siglo XVIII, donde adquirieron y modernizaron una fábrica de hilandería de seda (Losano, 2017). El padre de Enrique Dupuy de Lôme Vidiella fue destinado como diplomático a varias capitales asiáticas, europeas y americanas. Su primer destino fue Japón, donde se convirtió en un prolífico y conocido estudioso de la historia y geografía de este país (Losano, 2017). Un hecho bastante conocido fue cuando, siendo embajador de España en Washington, en febrero de 1898 le fue interceptada y hecha pública una carta privada suya en la que criticaba a William McKinley (1843-1901), el entonces presidente de los Estados Unidos. El momento no podía ser más inoportuno, ya que existía una gran tensión política entre los Estados Unidos y España por las insurgencias independentistas en Cuba. La publicación de la carta obligó al diplomático español a dimitir como embajador (García-Barrón, 1979). El Gobierno de España pidió disculpas inmediatamente, pero a los dos días tuvo lugar la misteriosa explosión y hundimiento del acorazado norteamericano 'Maine' en la bahía de La Habana, que sirvió de pretexto a los Estados Unidos para declarar la guerra contra España, lo que supondría la pérdida de Cuba y el fin de la presencia de España en América.

Primeros años en el Instituto Geológico de España

Enrique Dupuy de Lôme Vidiella estudió en la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid, terminando sus estudios en 1908 a los 22 años (Dupuy de Lôme, 1943). Comenzó trabajando como "meritorio sin sueldo" en la mina de plomo El Guindo en La Carolina (Jaén), donde vivió algo más de dos años (Dupuy de Lôme, 1943). En 1911 se incorpora en el Instituto Geológico de España (IGE) junto a otros dos jóvenes ingenieros de minas, Juan Gavala La-borde (1885-1977) y Pedro de Novo Fernández-Chicarro (1884-1953), en un momento en el que el IGE comienza a interesarse en los temas relacionados con la exploración y producción de hidrocarburos, para lo cual, Luis de Adaro y Magro (1849-1915) entonces director de IGE, seleccionó a los tres recién incorporados ingenieros, Gavala, Novo y Dupuy, para que se especializaran en geología del petróleo.

Entre los primeros trabajos de Dupuy en el IGE se encuentra la revisión del mapa geológico de la provincia de Toledo (Fig. 2), nada más ni nada menos que de la mano

del reconocido ingeniero de minas, geólogo, paleontólogo, profesor y escritor Lucas Mallada Pueyo (1841-1921), cuyo ensayo literario 'Los males de la patria' ejerció una gran influencia en los componentes de la generación del 98. Mallada, ya jubilado y con 70 años, le enseñó a Dupuy geología práctica, siendo el trabajo de la provincia de Toledo "fruto de varios meses de trabajos de campo recorriendo miles de kilómetros, casi todo en coche y tartana y pernociendo en cientos de infectas posadas" (Dupuy de Lôme, 1943). Según Dupuy (1943) "A Mallada debo lo que sé de geología y sobre todo me enseñó a observar en el campo, a anotar con orden y a redactar pues era castizo literato, amén de gran geólogo. Mucho sentí, no poder trabajar más que un par de años con él y más la muerte de tan excelente amigo".

Un joven Dupuy, que además de español hablaba francés, inglés y alemán, comienza sus viajes internacionales comisionado por el IGE al XII Congreso Geológico Internacional que se celebró en agosto de 1913 en Toronto (Canadá), donde tuvo la oportunidad de visitar las minas de níquel, cobalto, oro y plata de Ontario. Uno de los asuntos que se trataron en el Congreso Geológico fue la elección y propuesta de los países en los que habría de celebrarse los próximos congresos. Si bien el acuerdo recayó en que el siguiente se celebrara en Bruselas, se propuso que el XIV se celebrara en Madrid (Fábrega *et al.*, 1914). Esta experiencia en Toronto sería de gran utilidad a Dupuy cuando fue nombrado secretario general de la organización del XIV Congreso Geológico Internacional que finalmente tuvo lugar en Madrid en mayo de 1926.

A partir de 1913 comienza para Dupuy una época de intensa actividad en la organización y dirección de varias minas de plomo, fosfatos y estaño repartidas por la península (Dupuy de Lôme, 1943). También comienza a participar en la 'Comisión Arbitral de Litigios Mineros de Marruecos', lo que le obligó a realizar largas estancias en París hasta 1922, incluso alguna vez durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918).

A parte del mapa geológico ya mencionado de la provincia de Toledo, durante sus 28 años en el Instituto, Dupuy llegó a elaborar unas 13 hojas del mapa geológico de España a escala 1:50.000, lo que representa "una superficie de unos 10.000 km² recorridos palmo a palmo" (Dupuy de Lôme, 1943). Entre otros trabajos, llevó a cabo estudios de hidrogeología en Cieza y Lorca (Murcia), Valdepeñas (Ciudad Real), Valencia y Palma de Mallorca. Hizo una recopilación de los yacimientos de magnesita en España, cuya publicación le valió ser considerado como un especialista en la materia. La mayoría de todos estos estudios y trabajos que llevó a cabo en el Instituto fueron publicados posteriormente en el Boletín del Instituto Geológico (y Minero) de España.

En 1920, Novo y Dupuy fueron enviados por el IGE a América con el objetivo de conocer el funcionamiento de la industria petrolera americana. Viajan primero a Estados Unidos donde visitan los estados de Pensilvania, Oklahoma, Virginia y California (Dupuy de Lôme y Novo, 1925; Dupuy de Lôme, 1943). Deciden quedarse el mayor tiempo posible en la ciudad de Los Ángeles (California), donde es-

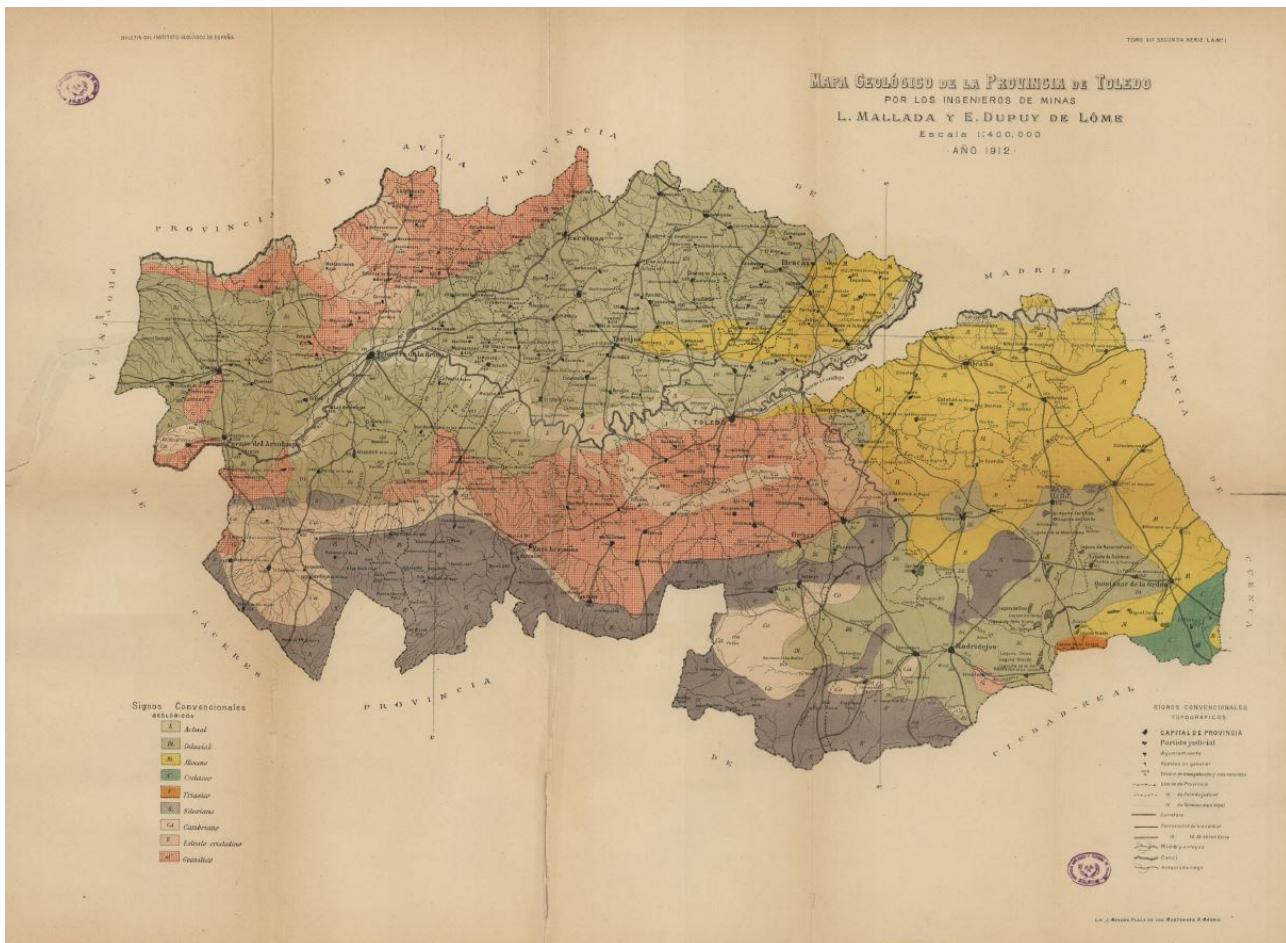


Fig. 2.- Mapa geológico de la provincia de Toledo realizado por los ingenieros de minas Lucas Mallada y Enrique Dupuy de Lôme (Mallada y Dupuy, 1912).

peraban aprender mucho más sobre la geología e industria del petróleo debido a la amistad de Dupuy con la familia de Gregorio del Amo (1858-1941). Este médico, filántropo y diplomático español nacionalizado estadounidense hizo una inmensa fortuna a raíz del descubrimiento de petróleo en 1922 dentro del Rancho San Pedro, propiedad de la familia de su esposa Susana Domínguez (1844-1931), situado en lo que hoy es la gran ciudad de Los Ángeles. Gracias a esta amistad, en apenas unos pocos días Dupuy y Novo visitan los grandes campos de petróleo y refinerías de California en las cuencas de Los Ángeles y San Joaquín, por aquel entonces en plena producción (Dupuy de Lôme, 1962).

A continuación, visitan México, entonces el segundo país productor de petróleo del mundo detrás de los Estados Unidos. Sin embargo, tienen la mala suerte de coincidir con huelgas de ferrocarril y los últimos movimientos armados de la Revolución Mexicana, que les dificultan los movimientos por el país. Aun así, tuvieron la oportunidad de visitar Tampico, en ese momento la región petrolera más rica del país, donde son testigos de la prosperidad y la vorágine de la producción de petróleo, donde “brotaban pozos con rendimientos iniciales de 100.000 barriles diarios”, pero no pueden acceder a los campos de petróleo ya que las compañías operadoras no les concedieron el permiso para visitarlos (Dupuy de Lôme, 1943).

En mayo de 1921, una vez de vuelta en España, Dupuy y Novo redactaron un informe que presentaron al director del IGE. Elaboraron un plan de investigación sistemático de petróleo en España basándose en las observaciones de su viaje a América y la comparación de los terrenos de América con formaciones geológicas españolas. Diferenciaron tres regiones de la Península dependiendo de su potencial petrolero: una con indicios de hidrocarburos en superficie que merecía la mayor investigación; otra región sin indicios, pero cuya composición y estructura no excluía la posibilidad de albergar hidrocarburos; y una tercera, donde presuponían la no existencia de petróleo y que por lo tanto carecía de interés exploratorio (Dupuy de Lôme y Novo, 1925; Novo, 1925). Inmediatamente proceden a realizar un rápido reconocimiento geológico de la Cuenca Vasco-Cantábrica, la región que consideran más prospectiva, reservándose el IGE algunas áreas de exploración, entrando en competición con el creciente número de empresas interesadas en la exploración de petróleo que dio origen al *boom* petrolero que tuvo lugar en España durante los años veinte (Puche y Navarro, 2019).

Dupuy recibe el encargo del director de IGE para realizar un estudio sobre la legislación minera del petróleo en distintos países productores (Estados Unidos, México y Rumanía), un tema que el mismo Dupuy reconocía por aquel entonces que no le era familiar. En su informe con-

cluye con una serie de disposiciones generales a tener en cuenta en una futura legislación sobre el petróleo, tales como no otorgar concesiones a las compañías que no tengan un porcentaje de capital español, realizar un pago al Estado de un tanto por ciento de la producción o la acción tutelar del Estado en la figura del IGE, al cual todos los que soliciten concesiones deberían presentar sus informes (Dupuy de Lôme y Novo, 1925).

Dupuy comienza a elaborar en 1921 el primer catálogo de indicios de la superficie peninsular de España y del entonces Protectorado Español en Marruecos, con un análisis de los hidrocarburos presentes e identificación de las formaciones en las que se encuentran (Dupuy de Lôme, 1962). Años más tarde publicaría un extracto de este catálogo en el Boletín del Instituto Geológico y Minero de España (Dupuy de Lôme, 1937a), que serviría de base para un trabajo más exhaustivo que llevó a cabo para la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, S.A. (CIEPSA), fundada en 1940 como filial de CEPSA (Dupuy de Lôme, 1941).

Dupuy, ya entonces vocal del IGE, imparte algunas conferencias por España con el objetivo de divulgar la formación y origen del petróleo, las investigaciones petrolíferas que se estaban llevando a cabo en España y la importancia del petróleo en la economía mundial. En una conferencia en Córdoba en octubre de 1923 (Dupuy de Lôme, 1923b), organizada por la Academia de Ciencias, Dupuy manifiesta: "La anterior guerra representó la lucha por el hierro. La nueva ha de ser la contienda por el petróleo. Yo deseo el petróleo para mi Patria, porque le concedería plena independencia económica" (*Diario de Córdoba*, 11-X-1923).

En 1923 elaboró un proyecto para la compañía 'Aguas potables de Valdepeñas S.A.' con el objetivo de abastecer de agua potable al pueblo de Valdepeñas (Ciudad Real). En 1926, a raíz del éxito de la ejecución del proyecto, le dedicaron a Dupuy de Lôme una calle con su nombre, que fue suprimida del callejero en 1992 por el Ayuntamiento de Valdepeñas.

Dupuy lleva a cabo varias visitas junto a Pedro Novo a los emplazamientos de los sondeos de exploración de petróleo que se estaban perforando en España en la década de los años veinte, en alguno de los cuales participaba el Estado a través del IGE (Puche y Navarro, 2019). Dupuy es habitualmente comisionado por el IGE para visitar y estudiar aquellos lugares de España donde se reporta la aparición de indicios de petróleo, como ocurrió en la ciudad de Cuenca en mayo de 1928, donde al perforar un túnel bajo la ciudad para desviar las aguas del río Huécar al Júcar aparecieron exudaciones de "un líquido amarillento y oleaginoso con intenso olor a petróleo" (*El Día de Cuenca*, 13-V-1928) impregnando unas areniscas, que bien pudieran tratarse de areniscas de la Formación Utrillas. O como la repentina aparición de petróleo en Garrucha (Almería), cuando a raíz de un movimiento sísmico en agosto de 1930 surgió petróleo en cuatro pozos de agua (Dupuy de Lôme, 1933a; 1941). Curiosamente, todavía existe una muestra de este petróleo que se exhibe en las vitrinas del Museo Geominero en la sede del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en Madrid.

En mayo de 1926 se celebró en Madrid el XIV Congreso Geológico Internacional organizado por el Instituto Geológico de España (IGE). Las sesiones científicas tuvieron lugar en el nuevo edificio del IGE de la calle Ríos Rosas, en la sala que se había construido especialmente para el Congreso y que hoy ocupa el Museo Geominero. Dupuy fue nombrado en 1924 secretario general del Congreso. Participó activamente en su preparación durante dos intensos años. Organizó dieciséis excursiones geológicas y mineras, algunas a Canarias y Marruecos. Colaboró en la realización, traducción, edición y publicación en varios idiomas de las guías de campo correspondientes. Organizó una recepción con el Rey Alfonso XIII (1886-1941) en el Palacio Real y leyó el discurso de clausura del Congreso (Fig. 3), en el cual destacó la decisión de formar comités nacionales de sondeos y de investigaciones geofísicas, así como "la importancia extraordinaria que han tenido los trabajos de las secciones que han tratado de la génesis de los yacimientos metalíferos y de la prospección por medio de los modernos procedimientos geofísicos" (Dupuy de Lôme, 1926; Ayala-Carcero *et al.*, 2005). Finalmente, tras el Congreso, Dupuy tendría que editar los 'Comptes Rendus' y las memorias en "8 gruesos volúmenes en cuarto, con muchísimos planos y fotografías, en total cerca de 4.000 páginas", labor que le llevaría un par de años (Dupuy de Lôme, 1943).

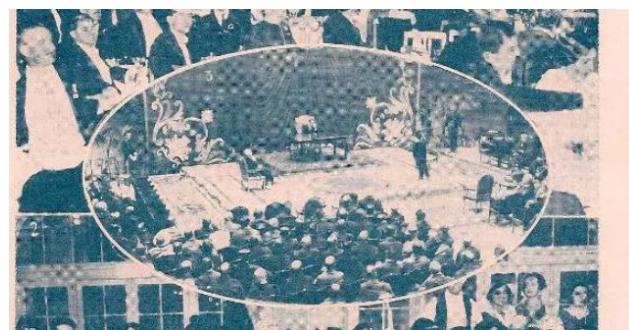


Fig. 3.- Clausura del XIV Congreso Geológico Internacional celebrado en mayo de 1926 en la sede del Instituto Geológico de España (IGE) en Madrid del cual Dupuy fue secretario general. En el ovalo central aparece Dupuy leyendo su discurso en la sesión de clausura. Se encuentra de espaldas y de pie en la parte derecha de la foto marcado con una X (*Blanco y Negro*, 6-VI-1926).

En marzo de 1927 Dupuy viaja a Río de Oro, Villa Cisneros, La Agüera y otros lugares del Sahara español. El viaje lo hace en compañía de Joaquín Mendizábal Gortazar (1886-1954), ingeniero de minas y vocal en el IGE, con el objetivo de implantar y perforar pozos para obtener agua potable (*El Correo*, 2-III-1927). Una expedición geológica que finalmente resultó ser un fracaso tras varios días de viaje por el interior y ante la "imposibilidad de hacer pozos artesianos cerca de la costa" (Dupuy de Lôme, 1943).

En abril de 1928, el Consejo de Ministros nombró una Comisión Interministerial presidida por Luis de la Peña y Braña (1868-1945), entonces director del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), para el estudio de la

viabilidad del proyecto de construcción de un túnel submarino bajo el Estrecho de Gibraltar para unir Europa y África según un proyecto del teniente coronel de artillería Pedro Jevenois Labernade (1878-1941). Esta Comisión sería la encargada del estudio preliminar del trazado del túnel, los estudios geológicos en ambas orillas del Estrecho y otras características de orden técnico. De la geología de la parte española se ocupa Juan Gavala y de la parte africana Dupuy, vocal de la Comisión de estudios y autor de varios trabajos geológicos en la zona norte del Protectorado Español en Marruecos en el sector de Ceuta, Tetuán, Tánger y Larache (Dupuy de Lôme, 1929, 1943; González y Gomis, 2007). Durante los 8 años que duraron los estudios, se perforaron dos sondeos de investigación en tierra de unos 500 m de profundidad, uno en cada margen del Estrecho, y se realizaron importantes trabajos submarinos, oceanográficos y de cartografía geológica. A raíz de estos estudios se propuso que el túnel comenzara en Tarifa (Cádiz) y saliera en el lado africano en Punta Ferdigua (Anghera). Finalmente, en julio de 1936, coincidiendo con el estallido de la Guerra Civil, la Comisión cesó su actividad y el proyecto tuvo que ser abandonado.

El viaje de CAMPSA a América y la creación de CEPSA

En junio de 1927, siendo José Calvo Sotelo (1893-1936) ministro de Hacienda de la dictadura del general Miguel Primo de Rivera (1870-1930), se estableció por Real Decreto Ley el monopolio de petróleos en la España peninsular e Islas Baleares (*Gaceta de Madrid*, 30-VI-1927). En octubre de 1927 se adjudicó la administración del monopolio a la Compañía Arrendataria del Monopolio de Petróleos, S.A. (CAMPSA) controlada por varios bancos españoles y el Estado (*Gaceta de Madrid*, 21-X-1927). En el contrato que a continuación suscribió CAMPSA con el Estado se estipulaba que una de las obligaciones especiales de la compañía era: "Adquirir yacimientos petrolíferos en los países productores, y especialmente en la América española, ya mediante compra directa, ya por medio del control de las Sociedades propietarias" (*Gaceta de Madrid*, 12-I-1928).

En mayo de 1929 el ministro Calvo Sotelo convocó a seis hombres en su despacho con el encargo de viajar a América para estudiar "las posibilidades económicas, financieras e industriales de adquirir yacimientos, obtener concesiones" y, si fuera posible "controlar sociedades petrolíferas en marcha" (Faes, 2020). Con esta expedición el ministro pretendía conseguir petróleo para que CAMPSA lo refinara y distribuyera, ya que CAMPSA estaba teniendo serias dificultades en los mercados internacionales para asegurarse su abastecimiento. Se trataba de una misión bien compleja, por no decir imposible, dado que los países de América que iban a visitar prohibían taxativamente celebrar contratos de compra de yacimientos de petróleo por parte de empresas concesionarias de monopolios petrolíferos del Estado.

Tres de los elegidos para esta importante misión eran representantes del Estado: Manuel Durán de Cottes (1870-1961), abogado y consejero de Estado; José María de

Lapuerta y de las Pozas (1897-1968), abogado del Estado; y Enrique Dupuy de Lôme, vocal del IGME. Los otros tres eran representantes de CAMPSA: Fernando Merry del Val García-Zapata (1902-1962), ingeniero de minas y jefe del laboratorio de CAMPSA; Josep Maluquer i Nicolau (1883-1960), ingeniero industrial, jefe del departamento de distribución en CAMPSA y un apasionado naturalista con numerosas publicaciones sobre malacología y oceanografía; y Demetrio Carceller Segura (1894-1968), ingeniero textil y subdirector técnico de CAMPSA, que fue quien ostentó el liderazgo de la comitiva (Dupuy de Lôme, 1943, 1962; Tortella *et al.*, 2003; Faes, 2020).

Los seis comisionados recibieron la orden de partir inmediatamente hacia América. Se desplazaron en tren a París, donde mantuvieron alguna reunión con empresarios franceses interesados en la industria petrolífera española. De París viajaron al puerto de Cherburgo, desde donde salieron en un lujoso transatlántico rumbo a Nueva York, ciudad en la que desembarcaron el 21 de junio de 1929, tras cuatro días de navegación y apenas una semana antes de la llegada del poeta granadino Federico García Lorca, quien luego escribiría su famoso libro 'Poeta en Nueva York' tras su estancia en la ciudad de los rascacielos.

La comisión tuvo una intensa agenda en Nueva York, aunque también tuvieron tiempo para el ocio. Llegaron a ver por primera vez en su vida una película sonora y fueron espectadores el 27 de junio en el Yankee Stadium del combate de boxeo entre el alemán Max Schmeling y el español Paulino Uzcudun (Dupuy de Lôme, 1943; Faes, 2020). Viajaron a los estados de Connecticut, Pensilvania y California, donde visitaron refinerías y campos de petróleo. Se reunieron con directivos de compañías petroleras y fábricas metalúrgicas norteamericanas, así como con firmas de abogados, que les confirmaron lo imposible de su misión, ya que las leyes norteamericanas no permitían firmar contratos con monopolios extranjeros (Dupuy de Lôme, 1962).

Tras su periplo por los Estados Unidos, la comisión viajó a Venezuela, que en 1928 se había convertido en el segundo país productor de petróleo detrás de los Estados Unidos. Durante los primeros días de estancia en Caracas los miembros de la comisión se reunieron con directivos de las principales compañías petroleras operando en el país, tales como Caribbean Sun Oil Co., Panhepec Oil Co, o la Colon Oil Development, con las que analizaron las diferentes opciones de compra, arrendamiento u cualquier otro tipo de contrato petrolífero.

Parte de la comisión viajó a Maturín, capital del Estado de Monagas, no sin antes pasar por la isla de Trinidad, donde visitaron el famoso lago de la brecha o 'Pitch Lake' (Dupuy de Lôme, 1943). En Maturín, entonces el centro petrolífero más importante del este de Venezuela, visitaron varios campos de petróleo y concesiones. De vuelta en Caracas se entrevistaron en Maracay con el presidente de la República de Venezuela, el general y dictador Juan Vicente Gómez (1857-1935), para tratar sobre las concesiones de petróleo de su propiedad y de su familia (Faes, 2020). El general y sus allegados tenían el monopolio de todo tipo de productos en el país, y por supuesto también disponían

de concesiones de petróleo. Según cuenta Dupuy (1943) el dictador los recibió a las 6 de la mañana en su zoológico particular en la espléndida hacienda ‘Las Delicias’ en Maracay, la ciudad a la que el general había trasladado su residencia y el Gobierno de la nación, protegido por unos “10.000 soldados andinos de su guardia pretoriana”. A continuación, parte de la comisión viajó en automóvil hacia el oeste del país, donde visitaron los campos petrolíferos situados alrededor del Lago Maracaibo.

En agosto de 1929, cuando la comisión española estaba repartida entre Caracas y Maracaibo, recibieron con sorpresa la noticia de que en España se había constituido la sociedad financiera ‘Crédito Nacional, Peninsular y Americano’ (crípticamente llamada Olpya por las dos últimas y tres primeras letras de las cinco palabras del nombre) creada por un grupo de bancos y empresarios españoles y dirigida por el financiero catalán Francesc Recasens i Mercadé (1893-1965), cuyo hermano mayor Eduard Recasens (1884-1939) era vocal en el consejo de administración de CAMPSA. Los comisionistas no salían de su asombro cuando se enteraron de que la sociedad Olpya había adquirido la compañía norteamericana Falcon Oil Corporation, con la cual los expedicionarios habían mantenido varias reuniones a su llegada a Nueva York y con la que habían abierto negociaciones para su compra durante su estancia en Venezuela (Faes, 2020). Falcon Oil poseía concesiones de exploración de petróleo repartidas por el territorio venezolano, cubriendo un total de 1.560 km², principalmente en el Estado de Monagas, y además disponía del 5% de toda la producción de petróleo que Lago Petroleum Corporation obtenía en la orilla oriental del Lago Maracaibo, lo que representaba para Falcon Oil unos 4.100 barriles diarios. Para sorpresa de la delegación, esta operación de compra se había concretado en agosto de 1929 en París con el beneplácito del Gobierno de España y prácticamente al mismo tiempo que la comisión estaba negociando con Falcon Oil durante su estancia en Venezuela (Faes, 2020). Esta operación daría lugar unas pocas semanas después, el 26 de septiembre de 1929, a la constitución en Madrid de la Compañía Española de Petróleos, S.A. (CEPSA) con el objeto social de explotar los activos petrolíferos que habían sido adquiridos por Olpya en Venezuela y vender sus productos preferentemente en España. La escritura notarial de constitución de CEPSA fue firmada por Francesc Recasens, el artífice de la compra de Falcon Oil, quien pasaría a ser el primer consejero delegado de la compañía.

Sorprende la actitud del Gobierno de España que envía una importante y costosa comisión a negociar la compra de activos petrolíferos en Venezuela y por otro lado da su visto bueno a una operación de un grupo privado de bancos y empresarios españoles mediante la cual adquieren un activo que casualmente estaba siendo negociado por su propia comisión. ¿Dio el Gobierno su beneplácito a esta operación por la imposibilidad de que CAMPSA pudiera adquirir activos petroleros en América? ¿Alguno de los expedicionarios estaba al tanto de esta operación paralela? No está nada claro, aunque todas las sospechas recaen en

Demetrio Carceller, próximo a los hermanos Recasens, que puede que sí estuviera al tanto de la operación que se estaba fraguando en París, e incluso puede que hubiera tenido algún papel en el asunto a espaldas de los otros miembros de la comisión durante la estancia en Venezuela, aunque no es posible asegurarlo.

Poco después, la comisión se desplazó en barco a México vía Panamá y La Habana. En México, la situación legal para la adquisición de activos petroleros era aún peor que en los Estados Unidos. No solo era ilegal, sino que también se encontraron con un sentimiento nacionalista muy fuerte en contra de todas las empresas petroleras extranjeras, además de la unánime oposición a que un monopolio como CAMPSA entrara en el país (Dupuy de Lôme, 1962). La mayor parte de la comisión se quedó en la capital, mientras Dupuy y Merry del Val se dedicaron a visitar los campos de petróleo e instalaciones petrolíferas del estado de Veracruz y de la región de Tampico-Misantla.

Los miembros de la comisión de CAMPSA regresaron a España en noviembre de 1929, apenas unos días después del *crack* la bolsa de Nueva York. El viaje por América, cuyo coste se estima ascendió a medio millón de pesetas oro (Tortella *et al.*, 2003), había resultado demasiado caro y un fracaso para CAMPSA, que no obtuvo resultado alguno y no le quedó más remedio que seguir recurriendo a la compra de petróleo en el mercado internacional para abastecerse, y para colmo, la recién creada CEPSA pasó a ser uno de sus proveedores.

Es significativo que en 1930 tres de los seis comisionistas comenzaron a trabajar para CEPSA. En junio de 1930 Carceller asumió la dirección y gerencia de CEPSA. Merry del Val fue nombrado secretario de la nueva compañía y Dupuy, que seguía siendo vocal del IGME, fue contratado como colaborador en el “departamento de producción petrolífera” que había sido creado en 1930 dentro de la organización de CEPSA (CEPSA, 1953). Según Dupuy (1943) este viaje a América sería determinante en su carrera profesional, ya que “los seis meses del viaje de Campsa fueron los más interesantes de mi vida y los que más influencia tuvieron en las actividades ulteriores mías, pues cambiaron completamente la esfera de mis trabajos”.

A finales de 1930, Dupuy viajó de nuevo a los Estados Unidos, esta vez de la mano de CEPSA. Visitó Texas con el objetivo de adquirir participaciones en activos de petróleo en producción, una compra que fue abortada por el Gobierno de España al no disponer de las divisas suficientes para efectuar los primeros pagos de una adquisición que estaba prácticamente cerrada con la compañía independiente Golding-Murchison Oil Co. (CEPSA, 1954; Ballester, 1989). Uno de los campos incluidos en la operación era el East Texas Oil Field que acababa de ser descubierto en octubre de 1930, poco antes de la visita de Dupuy (Dupuy de Lôme, 1962). Apenas un año después de su visita se comprobó que era un yacimiento gigante, con una extensión de unos 450 km² y que contaba con unas reservas iniciales de petróleo superiores a los 6.000 millones de barriles. Entre los años 1932 y 1933 Dupuy viajó en varias ocasiones a Estados Unidos, siempre con objetivos petroleros y para CEPSA.

Viajes a Rumanía y Protectorado Español en Marruecos

En mayo de 1931, acompañado de Demetrio Carceller, director y gerente de la recién creada CEPSA, Dupuy viajó a Rumanía (Dupuy de Lôme, 1933a, 1943; Faes, 2020), uno de los principales países productores de petróleo en Europa y sustancial exportador de crudo a España. En Bucarest mantuvieron una serie de reuniones con compañías petroleras operando en el país. A continuación, acompañado por David M. Preda (1886-1963), geólogo del petróleo rumano y subdirector del Instituto Geológico de Rumanía, Dupuy visitó los campos de petróleo más importantes del país, “examinándolos tanto desde el punto de vista geológico como industrial”, con el objetivo de aplicar su conocimiento a la investigación de posibles yacimientos petrolíferos en España (Dupuy de Lôme, 1933a).

A su llegada a Madrid redactó un exhaustivo informe sobre la geología petrolera, los campos de petróleo y la industria petrolífera de Rumanía, que publicó como artículo en el Boletín del Instituto Geológico y Minero de España y que firmó como vocal del IGME (Dupuy de Lôme, 1933a). Acompañó el artículo con fotografías de varios campos rumanos en producción y diversos cortes geológicos, ilustrando la importante tectónica salina de la región petrolera de los Cárpatos, donde destacaba el espectacular diapiro de sal en cuyos flancos se encuentra el yacimiento Moreni, entonces productor del 50% del petróleo de Rumanía. Un campo que visitó y en el que fue testigo del incendio del pozo Moreni No.160, que había comenzado a arder dos años antes tras un reventón, generando un gran cráter y que en la fecha de su visita aún continuaba en llamas (Fig. 4). Este incendio es conocido como ‘The Torch of Moreni’ (La antorcha de Moreni), el cual, tras múltiples intentos y varias pérdidas de vidas humanas, fue finalmente sofocado en septiembre de 1931 (Spencer and Furcuta, 2018).

En una segunda parte de su artículo, mencionaba las similitudes entre la geología y tectónica de algunas zonas de la Península Ibérica con la región petrolera de los Cárpatos, para a continuación hacer un repaso de las dos regiones de España que él consideraba que tenían mayor potencial exploratorio, el Pirineo Catalán y la Cordillera Cantábrica. Se trataba de su primera publicación en solitario dedicada al estudio del potencial petrolífero de España.

En la parte final del artículo, analizó la geología y el potencial exploratorio de la región de Larache en la costa Atlántica del entonces Protectorado Español en Marruecos, una zona cuya geología Dupuy conocía muy bien, ya que la había estudiado y cartografiado en múltiples ocasiones junto a Javier Miláns del Bosch (1887-1961), también ingeniero de minas en el IGME, y que llegó a visitar en más de 100 ocasiones desde 1913 hasta 1936, muchas de ellas en plena Guerra del Rif (Dupuy de Lôme, 1943). En el artículo mencionaba la presencia de interesantes indicios de petróleo en superficie e identificaba anticlinales asociados a diapirios de sal triásica que podían actuar como trampas de petróleo y recomendaba la intervención del Estado en su investigación. Dupuy advertía que los franceses habían empezado a investigar este concepto en el colindante Protectorado Francés, “con gran orden, inteligencia y crecidísimo gasto”

donde ya habían realizado trabajos geológicos de detalle, un gran número de sondeos someros y prospección geofísica, empleando el método gravimétrico y de resistividad eléctrica (Dupuy de Lôme, 1933a, 1943), y aunque no lo menciona, en la zona francesa ya se habían llevado a cabo algunos descubrimientos marginales de petróleo, como los de Jebel Tselfat en 1919 y Ain Hamra en 1923.

Trabajos para CAMPSA

Con la implantación del monopolio de petróleos en 1927 y el otorgamiento de su gestión a CAMPSA en 1928



Lám. 3.^a — Sonda incendiada de Moreni.

Fig. 4.- El pozo Moreni No.160 en llamas durante la visita de Dupuy a Rumanía en mayo de 1931 (Dupuy de Lôme 1933a). Hacía dos años que el pozo había reventado durante su perforación, creando un gran cráter e incendiándose. El pozo ardió hasta septiembre de 1931 cuando finalmente fue extinguido por M. M. Kinley Company, una empresa estadounidense especializada en la extinción de incendios de pozos petroleros. El pozo pasó a ser conocido como la ‘Antorcha de Moreni’.

se paralizó prácticamente toda la exploración en España. La actividad de las compañías privadas que se habían dedicado a la exploración de petróleo durante el frenético *boom* que vivió este sector en España durante los años veinte (Puche y Navarro, 2019) cesó completamente y la oficial casi desapareció en su totalidad. De tal manera que la exploración quedaba casi exclusivamente en manos de CAMPSA que, entre otras, había contraído con el Estado la obligación especial de “intensificar y estimular, de acuerdo con el Gobierno y conforme a la legislación que rija sobre el particular, los trabajos de sondeo encaminados al alumbramiento de petróleos naturales en el subsuelo de España” (*Gaceta de Madrid*, 12-I-1928).

Sin embargo, CAMPSA no llevó a cabo ninguna actividad de exploración hasta diciembre de 1932, cuando el Consejo de Ministros de la República aprobó la creación de un ‘Comité de Investigaciones Petrolíferas’ cuyo principal objeto era “encauzar la investigación de las zonas que puedan presentar posibilidades de tener riqueza petrolífera” (Dupuy de Lôme *et al.*, 1934; Dupuy de Lôme, 1937b). Y como no, Dupuy fue nombrado representante del IGME en este Comité.

Aunque hoy en día nos sorprenda, en aquella época era legalmente posible que siendo funcionario de la administración pública se pudieran desempeñar actividades para la empresa privada, de tal manera que Dupuy podía compaginar su trabajo en el IGME, desde donde realizó trabajos para CAMPSA, siendo a su vez colaborador de

CEPSA, empresa privada que era la competencia de la estatal CAMPSA.

El IGME, a instancias del ‘Comité de Investigaciones Petrolíferas’, emitió en febrero de 1933 un informe firmado por Dupuy donde, después de repasar el estado actual de la investigación petrolífera en España, hizo una relación de los 80 sondeos perforados en España hasta la fecha, las escasas prospecciones geofísicas realizadas y todos los trabajos publicados por el personal del Instituto acerca de estos problemas, para posteriormente señalar las siete regiones del subsuelo español más favorables para albergar yacimientos de petróleo, expresando asimismo el orden en el que se debía llevar a cabo su estudio, que quedó establecido por orden de prioridad de la siguiente manera: Soria, Cataluña, Santander-Burgos, Vascongadas, Andalucía, Levante-Aragón y el Protectorado Español en Marruecos (Dupuy de Lôme *et al.*, 1934; Dupuy de Lôme, 1937a).

En 1933 y una vez aprobado por CAMPSA, el IGME llevó a cabo una campaña de estudios geológicos en la provincia de Soria, la región establecida como prioritaria para la investigación petrolífera. El estudio fue dirigido por Dupuy que quedó plasmado en un detallado informe (Fig. 5A), donde participó Joaquín Mendizábal, vocal del IGME y Marcos Pérez, ingeniero de CAMPSA (Dupuy de Lôme *et al.*, 1934). En el informe se definieron tres áreas de la provincia de Soria como Reservas del Estado con el fin de estudiar e investigar la existencia de petróleo, en las cuales se suspendieron los derechos a registrar minas durante dos

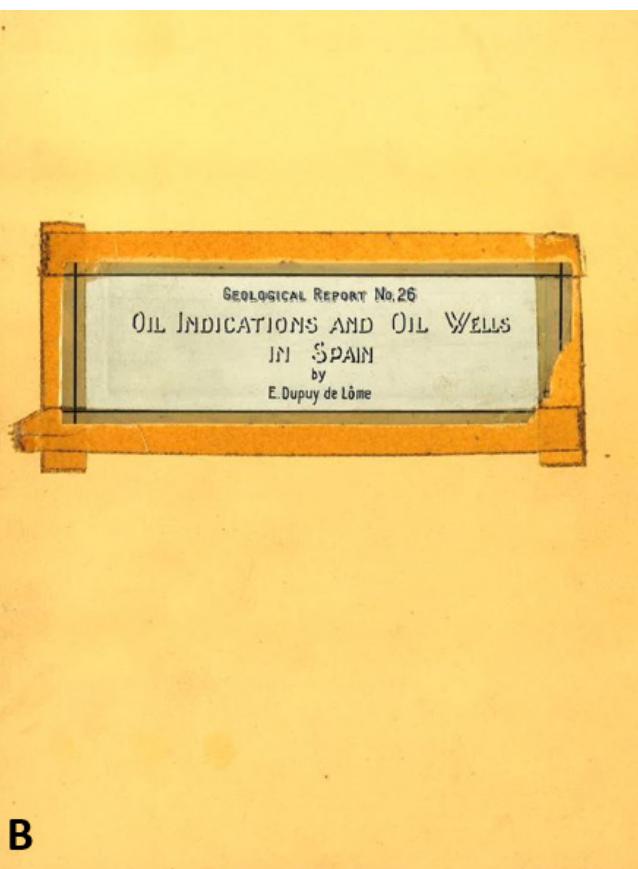
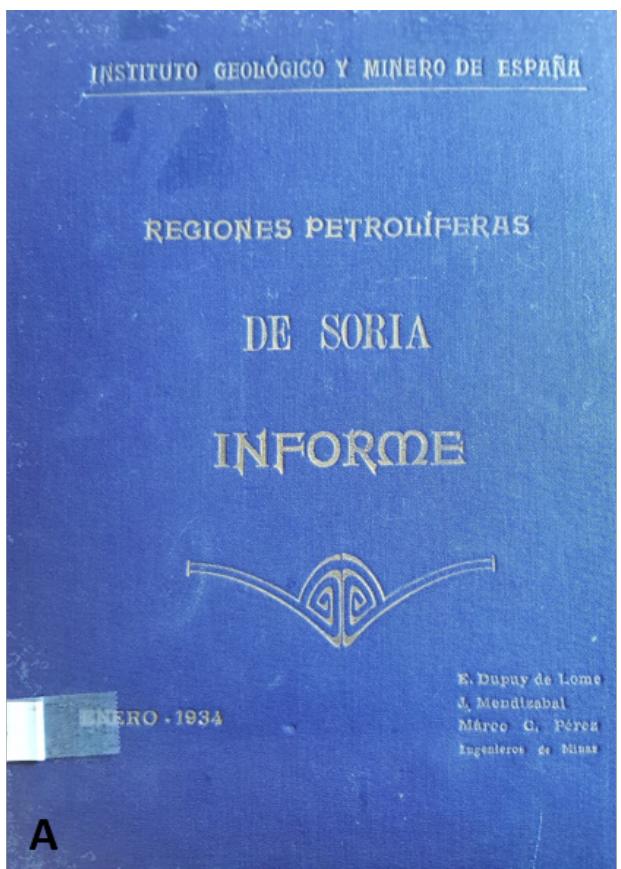


Fig. 5.- A) Portada del informe de Dupuy de Lôme et al. (1934) “Regiones Petrolíferas de Soria” para el IGME. B) Portada del informe de Dupuy de Lôme (1941) “Oil indications and oil wells in Spain. Geological Report No. 26.” para CIEPSA.

años (*Gaceta de Madrid*, 7-IV-1933). Tras este primer estudio no hubo continuidad del Comité y habría que esperar hasta el año 1937, en plena Guerra Civil, cuando CAMPSA creó su ‘Sección de Prospección’, para que se llevaran a cabo algunos trabajos de geología de campo durante 1938 en las provincias de Burgos y Soria.

Ingreso en Izquierda Republicana y la masonería

Dupuy, que no ocultaba sus simpatías por las ideas republicanas, se afilió a Izquierda Republicana en abril de 1934, nada más fundarse este partido por Manuel Azaña (1880-1940), quien había ingresado en la masonería en 1932 y que llegaría a ser presidente de la República en los años 1936 a 1939. Dupuy también ingresó en la masonería en junio de 1934, siendo inscrito en la logia ‘Génesis nº 20’ de Madrid, con el nombre simbólico de ‘Progreso’.

Según la declaración de retractación de Dupuy en el juicio sumarísimo al que fue sometido tras la Guerra Civil (CDMH, 1940-1948), aseguraba que se inscribió en la masonería más que nada por curiosidad, pero además porque veía que con la instauración de la República en abril de 1931 “su carrera científica se truncaba” (CDMH, 1940-1948). Si bien es cierto que tras la proclamación de la Segunda República en abril de 1931 hubo una gran incorporación de políticos, técnicos y científicos en la masonería,

ría, entre estos una gran mayoría de militantes de partidos republicanos de centro e izquierda, ya que existía cierta afinidad ideológica entre republicanismo y masonería, con una seria voluntad por ambas partes de reforma y progreso en la sociedad española. Muchos de los nuevos miembros de la masonería llegaron a ser cargos públicos, altos funcionarios de la administración, parlamentarios, gobernadores civiles, alcaldes, ministros y presidentes del consejo de ministros durante la República. En apartados posteriores se podrán comprobar las graves consecuencias que tuvo en la vida de Dupuy su afiliación política en Izquierda Republicana y su pertenencia a la masonería.

Viaje por una España en estado de preguerra

A finales de 1935 la compañía CEPSA decide que para llevar a cabo las investigaciones petrolíferas en España era necesario hacerse con la ayuda de técnicos extranjeros y a ser posible asociarse a una gran compañía petrolífera (Dupuy de Lôme, 1943). Dupuy inicia conversaciones con Socony Vacuum Oil Co., compañía que había resultado de la unión en 1931 de la Standard Oil of New York (Socony) y Vacuum Oil Co., la cual años después y tras varias fusiones y cambios de nombre daría lugar a la actual ExxonMobil.

El 14 de mayo de 1936, llega a Madrid Robert Van Vleck Anderson (1884-1949), geólogo norteamericano de la Socony Vacuum Oil Co. procedente de su sede en Hamburgo (Alemania). Anderson tenía una gran experiencia internacional y múltiples publicaciones sobre la geología del petróleo de California y Argelia. Dupuy y Anderson inician un recorrido en coche de unos 3.500 km durante tres semanas por los afloramientos más interesantes del territorio peninsular desde el punto de vista petrolero (Fig. 6). Hacían un reconocimiento geológico de varias regiones del norte y sur de la Península donde existen indicios en superficie de petróleo y asfaltos, y visitan algunos emplazamientos donde se habían perforado pozos de exploración de petróleo (Anderson, 1936; Dupuy de Lôme, 1943, 1962). Visitan entre otros, las minas de petróleo de Riutort (Barcelona), las arenas asfálticas de Fuentetoba (Soria), los asfaltos de Atauri (Álava), las arenas asfálticas de Robredo-Abedo (Burgos) y los emplazamientos de antiguos sondeos y manifestaciones de petróleo en Villamartín y Conil (Cádiz).

El 4 de junio de 1936 Anderson tiene que abandonar rápidamente España por la frontera francesa debido a la inestable y alarmante situación política que se vive en el país (Dupuy de Lôme, 1962). Según escribe Dupuy: “Antes de despedirnos en Gerona me manifestó que su informe era favorable a que la Standard (refiriéndose a la Socony Vacuum Oil Co.) colaborase con nosotros, con lo cual se había dado el paso decisivo hacia la resolución metódica del problema de la existencia del petróleo en España” (Dupuy de Lôme, 1943), lo que plasmaría Anderson en un informe (Anderson, 1936). Apenas un mes y medio después de la salida precipitada de Anderson hacia Alemania estalló la Guerra Civil, y aunque habían quedado sentadas las bases para una cooperación técnica entre geólogos españoles y americanos, todos los planes de exploración tuvieron que cancelarse.

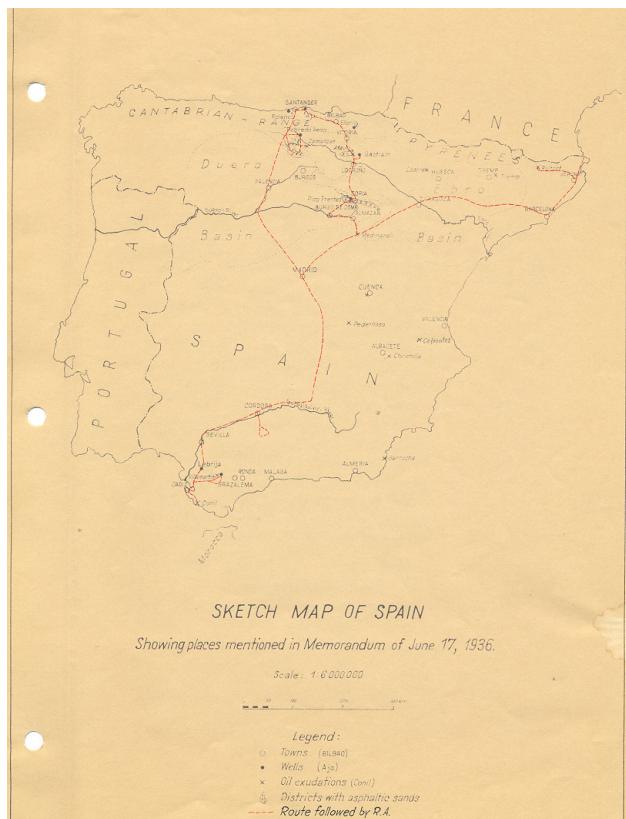


Fig.6.-Mapa del recorrido (unos 3.500 km aproximadamente) que hicieron juntos Anderson y Dupuy por España en mayo y junio de 1936, visitando los afloramientos con interés petrolífero y las localizaciones de antiguos pozos de exploración de petróleo (Anderson, 1936).

Director del IGME (1936-39)

Dupuy fue nombrado director del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) el 30 de julio de 1936, pocos días después de iniciada la sublevación militar del 18 de julio que llevaría a una larga y cruenta Guerra Civil. Dupuy ya estaba propuesto para este cargo antes del levantamiento militar. Lo había propuesto José Royo Gómez (1895-1961), geólogo y paleontólogo del Museo de Ciencias Naturales de Madrid, que acababa de ser nombrado director general de Minas (*Gaceta de Madrid*, 30-VI-1936). A raíz de su nombramiento, se le asignó a Dupuy un sueldo anual de 15.000 pesetas, computándose para el mismo el que ya tenía asignado como ingeniero primero del Cuerpo Nacional de Minas que ascendía a 8.000 pesetas (*Gaceta de Madrid*, 4-VIII-1936).

Al estallar la guerra, la sede del IGME en Madrid quedó bajo control del Gobierno de la República. La actuación del IGME, que permaneció abierto durante la guerra, fue muy reducida y “tuvo un carácter puramente científico, sin ayudar en nada absolutamente a la rebelión marxista”, según manifestó Dupuy en su declaración ante varios tribunales que lo juzgaron una vez terminada la guerra (CDMH, 1940-1948). La guerra supuso para el IGME la interrupción de la edición del Mapa Geológico de España escala 1:50.000, sin apenas poder editar publicaciones, de tal manera que tanto el Boletín del Instituto como Notas y Comunicaciones solo publicaron un tomo en los tres años de guerra. El edificio del IGME sufrió algunos daños causados por el impacto de proyectiles, principalmente roturas de cristales y destrozos en algunas paredes y muros. Cuenta Dupuy en sus memorias “el susto que me dio un proyectil de grueso calibre que explotó en un despacho debajo del mío y que me hizo dar un buen salto de la silla donde me hallaba ante mi mesa de trabajo” (Dupuy de Lôme, 1943).

En uno de los juicios a los que fue sometido tras la guerra, Dupuy alegó que como resultado de su actuación en el IGME consiguió proteger y salvar durante la Guerra Civil a los miembros del IGME que eran considerados de derechas o cercanos al bando sublevado y dar salvoconductos y avales para los mismos y sus familiares, muchos en edad militar, con lo cual se les salvó de una muerte casi segura. Recuerda Dupuy en sus memorias cuando en noviembre de 1936, en un Madrid asediado y bombardeado por el ejército franquista, llegaron huyendo a su casa su compañero en el IGME Juan Gavala, su mujer y su hija, después de que su casa hubiera sido bombardeada, “y no pudo venir la madre de Juan porque una bomba de aviación la había matado”, y continúa “Llegamos a dormir en casa, y en colchones esparcidos por el suelo hasta 22 personas” (Dupuy de Lôme, 1943).

En el aspecto material y científico, Dupuy declaró ante los tribunales haber conseguido preservar “colecciones de mineralogía, petrografía y paleontología, biblioteca, colección cartográfica y laboratorios, etc., con un valor de más de 10 millones de pesetas y aun mucho mayor desde un punto de vista científico, pues toda la tradición geológica de España, en su mayor parte irremplazable, se hallaba en dicho Instituto Geológico” (CDMH, 1940-1948).

A Dupuy, siendo director del IGME, no le quedó más remedio que seguir al Gobierno y altos cargos de la Administración en sus desplazamientos por el traslado de la capital de la República ante el asedio de Madrid por las tropas nacionales. Primero desde Madrid a Valencia, ciudad a la que se traslada en enero de 1937 con su familia e instala su oficina (Dupuy de Lôme, 1943). En noviembre de 1937 se traslada sin la familia a Barcelona, para volver a finales de 1938 de nuevo a Valencia, donde presta sus servicios en la Jefatura de Minas hasta que fue detenido en abril de 1939, apenas tres semanas después de que se diera por terminada la Guerra Civil.

Prisión, juicios, condena y absolución (1939-1948)

Desde el inicio de la Guerra Civil, el régimen dictatorial del general Francisco Franco (1892-1975) comenzó la depuración de todos aquellos que no hubieran estado de su lado durante la contienda e inició la instrucción de expedientes, consejos de guerra y juicios sumarísimos, especialmente a aquellos que hubieran desempeñado cargo público o colaborado con la “causa roja”. Una de las obsesiones del régimen franquista era la persecución sistemática, castigo y exterminio de los masones y sus instituciones, a los cuales se les consideraba criminales

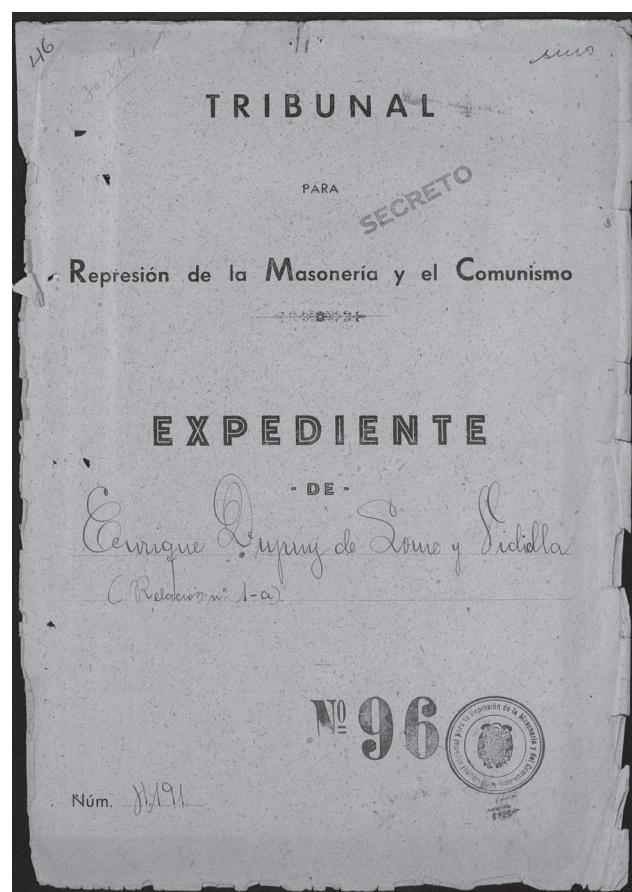


Fig. 7.- Primera página del expediente de Enrique Dupuy de Lôme Vidiella del ‘Tribunal para la Represión de la Masonería y el Comunismo’ de 1941 (Centro Documental de la Memoria Histórica, 1940-1948).

de rebelión y ser causantes de los graves daños inferidos a la grandeza y bienestar de la Patria, desde la pérdida del imperio colonial en 1898 hasta la caída de la monarquía en 1931. Hasta tal punto llegó el empeño de Franco con la represión de la masonería que fue objeto de un primer decreto en septiembre de 1936 en el cual se declaró la masonería fuera de la ley, el confiscamiento de todos sus bienes y a los miembros persistentes se les consideraba culpables del delito de rebelión. Incluso durante la Guerra Civil, el mero hecho de ser masón podía ser suficiente para, sin más, ser ejecutado sin juicio previo. Once meses después de terminada la Guerra Civil se promulga una ley específica denominada «Ley de 1º de marzo de 1940 sobre represión de la masonería y del comunismo» (*Boletín Oficial del Estado*, 2-III-1940). La ley establecía la creación del ‘Tribunal Especial para la Represión de la Masonería y del Comunismo’. Una ley en la que se mezclaban dos ideologías absolutamente incompatibles, pero su objetivo principal era poder encausar con carácter retroactivo a todos los que habían formado parte de la masonería en algún momento de su vida.

Dupuy no quedó ajeno a esta persecución. Nada más terminar la guerra fue detenido el 23 de abril de 1939 e ingresado en la cárcel celular de Valencia, para ser trasladado preso dos meses después a una cárcel en Madrid donde fue procesado por diferentes tribunales, en primer lugar, por la jurisdicción militar (Fig. 7). A finales de 1939 se le instruye un consejo de guerra, sumarísimo y de urgencia, en el que se acusa a Dupuy de diferentes cargos: ideología izquierdista, ingreso y graduación en la masonería y colaboración con la “causa roja”. En su declaración de retractación ante el capitán juez instructor, Dupuy admite su afiliación política y su anterior pertenencia a la masonería con la que declara haber roto sus compromisos. El juez militar, considerando que “no había habido colaboración de carácter político e ideológico con la causa marxista y que los hechos juzgados no eran constitutivos de delito”, lo absolvió y lo puso en libertad el 18 de abril de 1940 (CDMH, 1940-1948).

Por otro lado, en mayo de 1940 el juez de la ‘Comisión para la depuración del personal del Cuerpo de Minas’, que instruye el expediente sancionador de Dupuy, dispuso como castigo su separación definitiva del servicio en el IGME y su baja definitiva en el Escalafón del Cuerpo Nacional de Ingenieros de Minas (*Boletín Oficial del Estado*, 5-V-1940).

Pese a ser absuelto en el consejo de guerra, su expediente fue remitido al ‘Tribunal de Responsabilidades Políticas’, un tribunal creado en febrero de 1939, poco antes de terminar la Guerra Civil para juzgar a quienes hubieran colaborado con el bando republicano desde julio de 1936. Su expediente se envía para que, si dicho ‘Tribunal’ lo estimase oportuno, se le impusiera una sanción por su actuación al lado de la “causa roja” y su pertenencia a Izquierda Republicana, a la que Dupuy se había afiliado en 1934. En julio de 1941, Dupuy se ratificó en su militancia política ante este tribunal, tal y como había manifestado en su declaración de retractación en el anterior Consejo de Guerra, por lo que se procede a su procesamiento, pero considera-

rando las circunstancias del caso y la falta de peligrosidad, en septiembre de 1941 se procedió a decretar su libertad provisional, con la obligación de presentarse ante el Juzgado los días uno y quince de cada mes y siempre que fuera llamado. Finalmente fue absuelto de todos los cargos y el 19 de septiembre de 1941 se procedió a la libre absolución del procesado por el ‘Tribunal de Responsabilidades Políticas’.

A pesar de ello, su expediente se envió al ‘Tribunal Especial para la Represión de la Masonería y del Comunismo’, ya que parecía suficientemente probado que Dupuy había “pertенecido a esta secta”. En junio de 1941 el ‘Tribunal Especial’ inició el sumario presidido por el Capitán General Andrés Saliquet Zumeta (1877-1959), a quien no le temblaba el pulso a la hora de firmar las innumerables condenas a muerte que llegó a rubricar. El ‘Tribunal Especial’ acordó la suspensión de empleo y sueldo de Dupuy en la profesión de ingeniero de minas con categoría de ingeniero Jefe de Segunda Clase mientras durase la tramitación del sumario al que se le sometió (CDMH, 1940-1948). Un sumario cuyas vistas se celebraban a puerta cerrada y sin abogado defensor (Dupuy de Lôme, 1943).

Según declaró Dupuy ante el ‘Tribunal Especial’ su actividad masónica fue muy reducida. Únicamente asistió a algunas reuniones ordinarias de la logia ‘Génesis nº 20’ de Madrid, que serían unas doce o catorce veces en total. Según argumentaba, sus múltiples ocupaciones entre junio de 1934 y el 18 de julio de 1936, como vocal del IGME, miembro de la Comisión de Estudios Geológicos de Marruecos e ingeniero consultor para CEPSA, le obligaban a estar continuamente de viaje para llevar a cabo trabajos de campo, por lo menos 250 días al año para el IGME y unos 50 o 60 días al año en asuntos particulares, principalmente como ingeniero consultor para CEPSA. No asistió a ninguna asamblea nacional o internacional y no llegó a sustentar cargo alguno en la masonería. A sus compañeros masones en Madrid apenas los conocía debido al poco trato y su escasa asistencia a las logias, y de los que se acordaba, únicamente los conocía por sus nombres simbólicos: Bondad, Dantón, Verdad, Raúl de Guelis, Libertad, Catón, Newton, Sinceridad y algunos más que no recordaba (CDMH, 1940-1948).

Como masón transeúnte había sido trasladado en 1937 a la logia ‘Provisional nº 3’ en Valencia, y posteriormente, y por el mismo concepto, a la logia ‘Circunstancial nº 1’ en Barcelona, según su declaración de retractación (CDMH, 1940-1948). En Valencia no asistió a casi ninguna reunión de la masonería y solo conoció al ‘Venerable’ y al ‘Secretario’. En Barcelona solo llegó a conocer al ‘Venerable’ y al ‘Gran Maestre’, que había sido concejal socialista en el Ayuntamiento de Madrid y que había realizado en 1937 un viaje por Francia, Inglaterra y Bélgica para recabar ayuda económica de la masonería extranjera a favor del Gobierno de la República. Dada su escasa graduación y sus encuentros fugaces con la masonería, Dupuy manifestó desconocer sus actividades secretas, pues las reuniones “se limitaban a discursos de propaganda de la doctrina masónica y a la enseñanza del ritual” (CDMH, 1940-1948).

A pesar de sus declaraciones de retractación y de su

reducida actividad masónica, el 10 de octubre de 1941 el ‘Tribunal Especial para la Represión de la Masonería y del Comunismo’ lo consideró culpable por el solo hecho de haber sido masón y por no haber facilitado en su declaración de retractación “datos ni actividades de la secta, ni nombres de sus asociados” (CDMH, 1940-1948). El ‘Tribunal Especial’ lo separó definitivamente de cualquier cargo del Estado, corporaciones públicas u oficiales, gerencias y consejos de administración de empresas privadas, inhabilitación perpetua para los referidos empleos y lo condenó a la “mínima pena” de doce años y un día de confinamiento en la isla de Lanzarote, no siendo más grave la condena por reconocerse en la sentencia que “no existía delito masónico”. A continuación, se le ingresó en prisión, pero “gracias a activas gestiones” se le decreta prisión domiciliaria provisional, debiendo presentarse cada día ante el ‘Tribunal Especial’ hasta comenzar la pena de confinamiento (CDMH, 1940-1948).

Son inútiles los escritos de Dupuy, alegaciones y recursos de alzada que dirigió al Consejo de Ministros y al ‘Tribunal Especial’ (CDMH, 1940-1948). Tampoco sirvieron de mucho los testimonios de compañeros suyos en el IGME durante la guerra y los de acreditados personajes con los que había colaborado antes de la guerra, como el escrito favorable del general de brigada y gobernador militar Pedro Jevenois, uno de los artífices de los estudios del Túnel Submarino de Gibraltar (Jevenois, 1927). Agustín Marín y Bertrán de Lis (1877-1963), nombrado director

del IGME en 1940, describía a Dupuy en su escrito como “un gran ingeniero, y un buen geólogo y que sus trabajos pueden ser de gran utilidad para el país”, quien además le “trató de sacar cuando fue apresado y conducido a una checa” durante la guerra en el Madrid republicano (CDMH, 1940-1948). Fernando Merry del Val, secretario de CEPSA y compañero en la misión de CAMPSA a América en 1929, declaró conocer a Dupuy desde hace años y afirmaba que le “consta que el tiempo que estuvo en Madrid durante la dominación roja hizo cuanto pudo por ayudar a sus compañeros que estaban perseguidos por sus ideas derechistas”. Antonio Almela Samper (1903-1987), ingeniero de minas en el IGME, del cual será años después su director (1958-1965), también declaró en un extenso texto a su favor, resaltando la ayuda de Dupuy durante la guerra a todos los compañeros de derechas en el IGME. Dupuy también presentó escritos de parroquias mostrando su colaboración con la Iglesia Católica, certificando su “excelente conducta moral y religiosa” (CDMH, 1940-1948). Pero todo resultó inútil, en julio de 1942 se desestimaron todos los recursos contra la sentencia condenatoria y le confirmaron que debía cumplir la pena de confinamiento de doce años y un día en la isla de Lanzarote.

A principios de noviembre de 1942 no le queda más remedio que viajar a Lanzarote para cumplir la condena de confinamiento que le había sido impuesta. Allí residió un año, hasta noviembre de 1943 cuando el Consejo de Ministros acordó que el resto de la pena de confinamiento



Fig. 8.- Acción de 500 pesetas de la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas Sociedad Anónima (CIEPSA), domiciliada en Madrid y constituida el 20 de julio de 1940 con un capital social de 2,5 millones de pesetas.

la cumpliera en un lugar de la península a señalar por el ‘Tribunal Especial’, que finalmente quedó establecido en la ciudad de Burgos, a la cual llegó en diciembre de 1943.

En junio de 1944, CIEPSA, empresa con la que venía colaborando desde el fin de la Guerra Civil, escribió al ‘Tribunal Especial’ solicitando que Dupuy pudiera cumplir el resto de la pena de confinamiento en la ciudad de Burgo de Osma (Soria), donde la compañía estaba planeando perforar un pozo de exploración de petróleo y así poder contar con su asesoramiento. Para ello, argumentaba en la solicitud que Dupuy era “el único geólogo nacional con conocimientos profundos sobre la cuestión (refiriéndose a la exploración petrolífera) debido a largos períodos de permanencia en Estados Unidos, dedicado exclusivamente al estudio de esta materia”, y añadía “estimamos que los conocimientos de materia petrolífera de este ingeniero son insustituibles por la falta en España de especialistas” (CDMH, 1940-1948). El ‘Tribunal Especial’ accedió y en julio de 1944 autorizó que Dupuy fuera confinado temporalmente en Burgo de Osma, con permiso para desplazarse por las provincias de Burgos v

Soria, lugares donde CIEPSA llevaba a cabo sus trabajos de investigación petrolera. Dupuy permaneció confinado en Burgos ya que los trabajos de perforación se retrasaban. En febrero de 1945 el ‘Tribunal Especial’ le conmutó por problemas de salud el confinamiento en Burgos a Alicante, a donde viajó en marzo de 1945. También autorizó a Dupuy para que realizara viajes y traslados para llevar a cabo reconocimientos geológicos a los lugares que CIEPSA le requería, dando cuenta previa al ‘Tribunal Especial’ y presentándose a las autoridades locales correspondientes.

En marzo de 1947 se le conmuta la pena original reduciéndola a 6 años y un 1 día de confinamiento y es puesto en su profesión de ingeniero, pero sin poder “ostentar puestos de mando o confianza, ni jefaturas y debiendo quedar bajo las órdenes de un jefe” (CDMH, 1940-1948). El 11 de octubre de 1947 se da por cumplida su condena de confinamiento, liberado de todos sus cargos y regresa definitivamente a Madrid. Finalmente, en febrero de 1948, una vez cumplida la pena impuesta, se procedió al archivo de la causa.

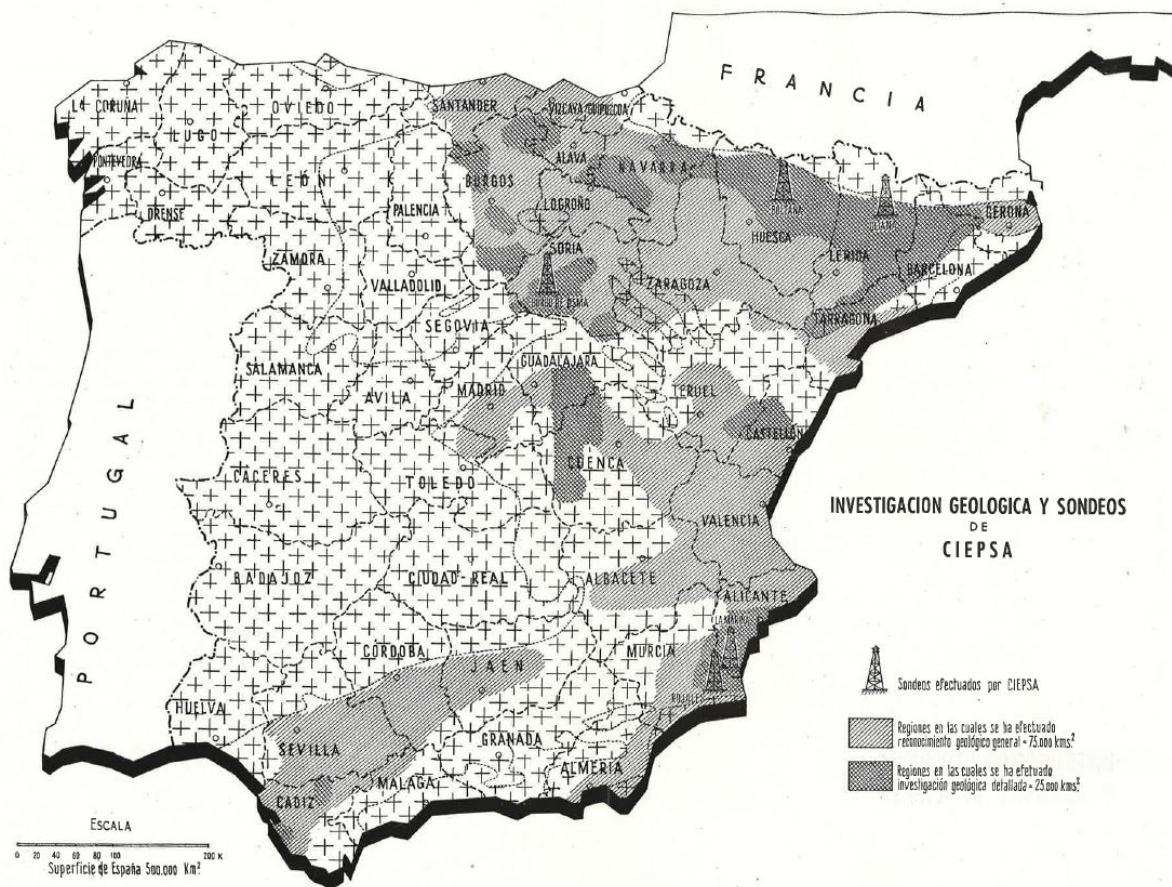


Fig. 9.- Mapa mostrando las áreas donde CIEPSA había llevado a cabo actividades de exploración petrolífera desde su fundación en 1940 hasta 1953 (CEPSA, 1953). Aparecen con diferentes sombreados las regiones en las cuales se había efectuado un reconocimiento geológico general y las regiones con investigaciones geológicas más detalladas. Se muestran la localización de los cinco pozos de exploración perforados por CIEPSA durante ese periodo: Oliana-1 (Lérida), Burgo de Osma-1 (Soria), La Marina-1 (Alicante), Rojales-1 (Alicante) y Boltaña-1 (Huesca). Los dos primeros, Oliana-1 y Burgo de Osma-1, fueron perforados en colaboración con Socony Vacuum Oil Co. Los dos pozos en la provincia Alicante fueron perforados por CIEPSA en solitario. CIEPSA contó con la colaboración de la compañía alemana Deilmann Bergbau GmbH para la perforación de Boltaña-1 (Dupuy de Lôme, 1962; Navarro y Puche, 2018).

CIEPSA (1940-1949)

La Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, S.A. (CIEPSA) fue constituida en julio de 1940 como filial de CEPSA (50%) asociada con Socony Vacuum Oil Co. (50%), compañía con la que ya CEPSA había entablado relaciones antes de la Guerra Civil (Fig. 8). CIEPSA tenía como objeto social la “prospección, investigación, exploración, estudio y explotación de toda clase de propiedades, concesiones, yacimientos y derechos mineros, especialmente petrolíferos que la compañía podrá obtener y adquirir”.

Dupuy colaboró con CIEPSA desde su fundación de una manera intermitente, según le iban permitiendo los juicios, condenas y confinamientos a los cuales le sometieron los tribunales del régimen franquista. El objetivo de sus trabajos, en solitario o en colaboración con jóvenes ingenieros de minas y geólogos, tanto españoles como norteamericanos, era seleccionar las regiones más prometedoras, hacer los estudios geológicos de detalle e identificar anticlinales donde solicitar permisos de investigación de hidrocarburos y poder perforar en un futuro sondeos de exploración (Fig. 9). Tareas que no serían nada fáciles debido a la situación en la que se encontraba el país tras una devastadora Guerra Civil, donde la falta de suministros, la escasez de vehículos y de carburantes entorpecía extraordinariamente los desplazamientos (Dupuy de Lôme Sánchez-Lozano, 1955).

En mayo de 1940, Dupuy inició la visita de afloramientos del norte de España en compañía de dos geólogos norteamericanos de la Socony Vacuum Oil Co., Arthur Earl Fath (1887-1976) y Brandon H. Grove (1903-1988). Fath era entonces gerente de exploración, tenía unos conocimientos profundos y prácticos de tectónica y había sido uno de los miembros fundadores en 1917 de la American Association of Petroleum Geologists (AAPG). Por su parte, Grove era doctor en geología y paleontología, tenía escasa experiencia en geología de campo, pero según Dupuy era muy inteligente (Dupuy de Lôme, 1962). Los tres visitaron el anticlinal de Gastiáin (Navarra) donde la compañía Pe-

trolera Ibero-Americana había perforado un pozo de explotación de petróleo en el año 1923, que llegó a alcanzar los 1.611 m de profundidad y que tuvo una pequeña producción de gas, pero no comercial (Puche y Navarro, 2019). Cuenta Dupuy en sus memorias que Grove se perdió por el monte en la visita a Gastiáin, pasó una noche sin encontrar refugio y no apareció hasta la mañana del día siguiente, fatigado y muerto de frío (Dupuy de Lôme, 1943). Esta accidentada visita daría lugar al primer informe geológico de CIEPSA (Fath *et al.*, 1940).

Durante 1940, Dupuy también llevó a cabo un detallado estudio para CIEPSA del Cretácico de la provincia de Burgos plasmado en siete diferentes informes (Dupuy de Lôme, 1940a-g). Entre ellos se encuentra un informe sobre la región de Basconcillos del Tozo (Burgos), conocida por las magníficas manifestaciones petrolíferas que allí se encuentran, impregnando las areniscas de la Formación Utrillas (Dupuy de Lôme Sánchez-Lozano, 1955).

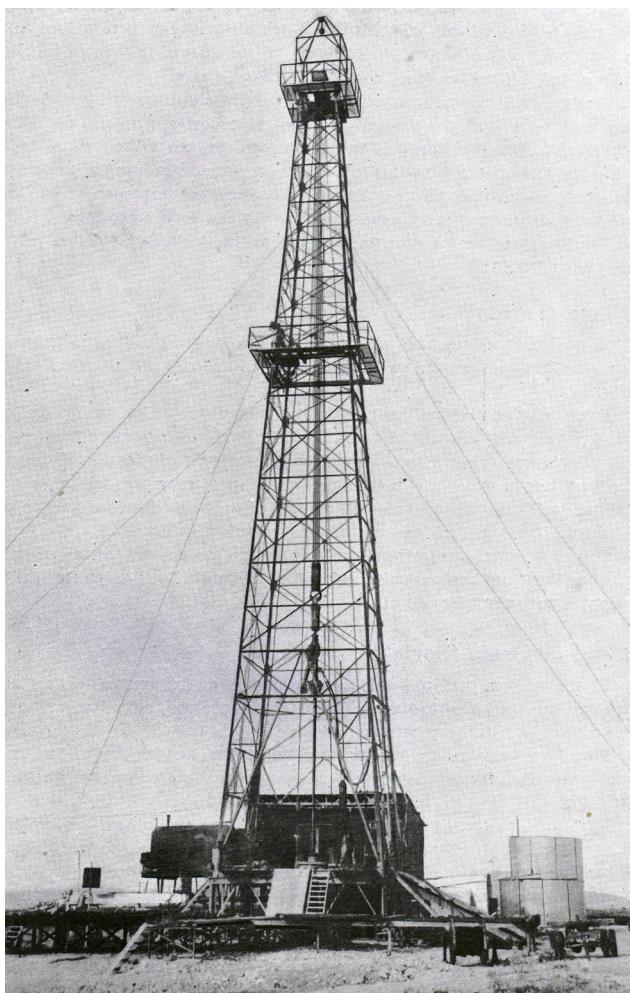
En 1941 Dupuy hizo un reconocimiento geológico de varias regiones de España acompañado por Grove, con quien Dupuy estableció una especial amistad durante al año que estuvo en España, hasta noviembre de 1941, cuando Grove regresó a su país de vacaciones, poco antes de la entrada de los Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial (diciembre 1941), tras lo cual ya no volvió a España. Diez años después, en 1951, Grove sería nombrado gerente general de Socony Vacuum Oil Co. en Egipto.

A partir de octubre de 1941, la obligación de presentarse primero diariamente y después cada dos semanas ante el ‘Tribunal Especial para la Represión de la Masonería y del Comunismo’ le impidió a Dupuy ausentarse de Madrid y llevar a cabo trabajos de geología de campo que era su gran pasión. En febrero de 1942 suplicó por escrito al ‘Tribunal Especial’ y al Consejo de Ministros poder trasladarse temporalmente a hacer reconocimientos geológicos para CIEPSA en Cataluña, Alicante y Cádiz, pero la solicitud le fue denegada con lo que no le quedó más remedio que permanecer en Madrid y dedicarse a la redacción de los informes en inglés y a labores de supervisión de los trabajos de



Fig. 10.- Mapa del sur de la península Ibérica mostrando la localización de los pozos de exploración petrolera perforados hasta 1940 y los indicios superficiales de gas y petróleo en las provincias de Cádiz, Sevilla y Málaga (Garrido *et al.*, 1940).

campo y cartografía geológica que llevaban a cabo dos ingenieros de minas españoles del IGME, el ya mencionado Antonio Almela Samper y José María Ríos García (1910-1999), quien años después sería catedrático de geología en la Escuela de Minas de Madrid. A estos dos ingenieros se unió Julio Garrido Mareca (1911-1982), doctor en ciencias naturales y cristalógrafo reconocido internacionalmente, quien trabajó hasta 1946 como geólogo para CIEPSA tras serle denegada injustamente la cátedra de Cristalografía a la que había opositado en 1940 (Ordoñez y Barrera, 2000). Estos tres profesionales, Almela, Garrido y Ríos firmaron muchos trabajos juntos, y curiosamente años después, los tres serían nombrados académicos de la Real Academia de



Torre de sondeo de Oliana
(Lérida)

Fig. 11.- Torre de perforación Emsco G-450 en la localización del pozo de exploración Oliana-1 en 1947. Fue el primer pozo de exploración perforado por CIEPSA (CEPSA, 1953) y el pozo más profundo perforado en España en su momento. Su objetivo era investigar los carbonatos del Cretácico superior en el gran anticlinal de Oliana (Lérida), objetivo que no llegó a probar tras atravesar una serie continua y uniforme de arcillas calcáreas del Eoceno desde la superficie hasta la profundidad final de 2.323 m, muy próxima a la máxima capacidad de la torre de perforación.

Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España. Desde el año 1940 hasta 1946, asesorados por Dupuy, los tres se dedicaron a recorrer diferentes regiones del suelo peninsular realizando cartografía geológica a la búsqueda de posibles zonas y estructuras susceptibles de albergar yacimientos de petróleo. Tal y como relataba Ríos (1961): “Con Almela y Garrido, o con uno de los dos, o solo, estudié por cuenta de CIEPSA, la mayor parte de las zonas cantábricas y surpirenaicas, desde el Cantábrico al Mediterráneo”, y añadía: “Con los vehículos precintados, y privados de medios propios de transporte, nos dejaban, morral a la espalda, en cualquier pueblo terminal de línea, para salir quince días después un par de cientos de kilómetros más abajo. Hicimos también nuestros viajes y trasladados en bicicleta y en moto. Fuimos tomados por bandoleros, perseguidos muchas veces por la Guardia Civil y apresados alguna”. Ríos también recordaba de manera cariñosa que durante aquellos trabajos de cartografía geológica la mente de su amigo Julio Garrido “andaba más ocupada con problemas abstractos o concretos de cristalografía, que con las estructuras geológicas” (Ríos, 1976). En 1945, el geólogo norteamericano Verner E. Jones (1905-1977) de la Socony Vacuum Oil Co. se incorporó a este grupo después de haber participado como teniente coronel en la Segunda Guerra Mundial. En 1947, Jones se trasladó a Venezuela al ser nombrado gerente de exploración de Socony Vacuum Oil Co. en ese país. Jones terminó su carrera en 1969 como responsable de exploración y producción de la compañía Socony Mobil (Dupuy de Lôme, 1962).

En 1941 Dupuy elaboró un exhaustivo inventario de todos los indicios de petróleo y asfaltos que se habían reconocido en España, junto a una recopilación de los pozos de exploración de petróleo y gas perforados desde 1900 hasta la fecha, que ya había quedado reflejado en un mapa de la península (Fig. 10) en un informe previo elaborado junto a Garrido y Grove (Garrido *et al.*, 1940). Todo ello quedó finalmente plasmado en un completo informe para CIEPSA (Fig. 5B), reseñando la localización de indicios y pozos con una descripción geológica, comentarios, conclusiones y referencias bibliográficas (Dupuy de Lôme, 1941).

El equipo de José García-Siñeriz (1886-1974), ingeniero de minas en el IGME del cual sería años después su director (1947-1954) y pionero en España en la aplicación de los métodos de prospección geofísica a la exploración petrolera, llevó a cabo para CIEPSA en 1942 la adquisición de doce líneas sísmicas de refracción sobre el gran anticlinal de Oliana en la provincia de Lérida (García-Siñeriz *et al.*, 1944). Era uno de los primeros trabajos de sísmica que se llevaban a cabo en España con objetivos petroleros, pero resultó ser un estrepitoso fracaso. Dupuy emitió una dura crítica a los resultados obtenidos. Lo inapropiado del método y el equipo utilizado para resolver la geometría profunda del anticlinal de Oliana, hizo que la interpretación de la sísmica fuera considerada totalmente inútil para resolver la complejidad geológica de la estructura. Finalmente, en 1947 CIEPSA perforó el anticlinal de Oliana con el que sería su primer pozo de exploración en España, para lo cual fue necesario importar una torre de perforación de los Estados Unidos una vez superadas las dificultades tras la

Segunda Guerra Mundial en la importación de maquinaria pesada (Dupuy de Lôme Sánchez-Lozano, 1961). El pozo Oliana-1 llegó a una profundidad de 2.323 m, la mayor alcanzada en España en aquel momento, pero sin llegar a alcanzar su objetivo exploratorio debido a la limitada capacidad de la maquinaria de perforación (Fig. 11).

A partir de 1946, en los archivos de CEPESA y CIEPSA ya no se encuentran informes técnicos firmados por Enrique Dupuy de Lôme Vidiella, lo que lleva a pensar que fue entonces cuando dejó de realizar trabajos de geología de campo y se dedicó a una labor más gerencial y de supervisión técnica hasta finales de la década de 1940, que es cuando finalmente debió abandonar definitivamente su actividad profesional.

Epílogo

Enrique Dupuy de Lôme Vidiella fue un pionero de la exploración de petróleo en España, además de ser un gran conocedor de su geología y sus posibilidades petrolíferas. Fue el técnico indispensable para esta gran labor, extraordinario geólogo y con una vocación profesional realmente admirable. Un amante de la geología de campo, de bota, lupa, brújula y martillo, que se formó en el Instituto Geológico y Minero (IGE), el cual, y gracias a su dominio de varios idiomas, le envió en varias misiones a países productores de petróleo para que se familiarizara con las técnicas de exploración y producción de hidrocarburos, en un momento en que en nuestro país apenas existían ni conocimientos, ni expertos en esta materia. Años después, acompañó en visitas a campo a geólogos extranjeros que venían a evaluar el potencial petrolero de nuestro país. Fue director del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) durante los cruentos años de la Guerra Civil. Durante la República se afilió a Izquierda Republicana e ingresó en la masonería, lo que le acarriaría una dura condena una vez terminada la guerra y le impediría desarrollar con normalidad su gran pasión, que era el trabajo de geología de campo. Trabajó para CAMPSA y CEPESA durante los años 1930, en los comienzos de la exploración sistemática petrolera en nuestro país y colaboró decisivamente en las primeras actividades de CIEPSA tras la Guerra Civil hasta finales de los años 1940. Durante estos últimos años, Dupuy trabajó en exploración petrolera todo lo que le permitieron sus encarcelamientos y destierros, quien como muchos otros científicos, técnicos, académicos e intelectuales españoles fueron objeto de sanciones y duras represalias tras la Guerra Civil, o aún mucho peor para aquellos que no les quedó otra solución que partir al exilio, sin olvidar a aquellos que murieron durante y después de la contienda. Lo que supondría miles de vidas y carreras profesionales truncadas, produciendo una pérdida de un conocimiento científico y tecnológico que se había obtenido con grandes esfuerzos y que costaría varios años volver a recuperar.

Enrique Dupuy de Lôme Vidiella falleció en Madrid el 9 de octubre 1965, a la edad de 79 años. Su hijo Enrique Dupuy de Lôme Sánchez-Lozano (1923-2014), también ingeniero de minas tuvo una trayectoria profesional similar a la de su padre, primero en el IGME, donde llegó a ser vocal y luego en CIEPSA, compañía a la que se incorporó

a principios de los años 1950, donde fue Jefe de Investigaciones, llegando a ser su Director General hasta el año 1968, cuando fue nombrado Director General de Minas (1968-1972). El hecho de compartir padre e hijo el mismo nombre propio, primer apellido y profesión, así como trayectorias profesionales similares ha llevado en muchas ocasiones a confundirlos entre sí, y por esta razón en las referencias de este artículo hemos diferenciado al uno del otro incluyendo en ambos casos su segundo apellido.

Agradecimientos y financiación

Agradezco al nieto y bisnieto de Enrique Dupuy de Lôme Vidiella, ambos con el mismo nombre y primer apellido que su abuelo y bisabuelo, y también a sus nietos Luis y Sonia Dupuy de Lôme por toda la ayuda e información facilitada para la elaboración de este artículo. También agradezco a Isabel Rábano por todas sus sugerencias y comentarios al texto, así como los comentarios de Luis F. Mazadiego y, especialmente, al personal de la biblioteca del IGME por su inestimable ayuda a la hora de recopilar información para la elaboración de este artículo. La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Referencias

- Anderson, R.V., 1936. Oil Possibilities in Spain. Internal Report. CEPESA, Madrid (inédito). 18 p.
- Ayala-Carcedo, F.J., Perejón, A., Puche-Riart, O. y Jordá, L., 2005. El XIV Congreso Geológico Internacional de 1926 en España. Boletín Geológico y Minero, 116-2: 173-184.
- Ballesteros, A., 1989. Buscando petróleo. Espasa Calpe, Madrid, 330 p.
- Bonfanti, D., 2015. Plural ha sido la celeste historia. Consolidación y decadencia de las redes de poder de la élite modernizadora rioplatense, 1850-1930. Páginas. Revista digital de la Escuela de Historia. Universidad Nacional de Rosario, 15: 29-47. <https://doi.org/10.35305/rp.v7i15.168>
- CDMH (Centro Documental de la Memoria Histórica), 1940-1948. Ficha de encausado de Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (1940-1948), 192 p.
- CEPSA, 1953. Investigaciones petrolíferas en España. La labor de la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, S.A. (CIEPSA). Compañía Española de Petróleos, S.A. Helios Artes Gráficas, Madrid, 29 p.
- CEPSA, 1954. Biografía de una realidad (1929-1954). Compañía Española de Petróleos, S.A. Madrid, 95 p.
- Dupuy de Lôme Sánchez-Lozano, E., 1955. Labor de la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, S.A. Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, 38: 15-95.
- Dupuy de Lôme Sánchez-Lozano, E., 1961. Problemas en la investigación de hidrocarburos en el norte de España. En: Curso sobre investigación, explotación, transporte y refino de hidrocarburos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Geología, 1: 113-126.
- Faes, E., 2020. Demetrio Carceller (1894-1968). Un empresario en el Gobierno. Galaxia Gutenberg, 352 p.
- García Barrón, C., 1979. Enrique Dupuy de Lôme and the Spanish American War. The Americas, 36-1: 39-58. <https://doi.org/10.2307/981137>

- García Siñeriz, J., 1944. Seismic prospection on the Oliana structure. Comments by Dupuy de Lôme Vidiella, E. and Garrido Mareca, J., Geological Report No. 57. CIEPSA, Madrid (inédito), 24 p.
- González Bueno, A. y Gomis Blanco, A., 2007. Los territorios olvidados. Naturalistas españoles en el África hispana (1860-1936). Ediciones Doce Calles. Madrid. 552 p.
- Jevenois, P., 1927. El Túnel Submarino del Estrecho de Gibraltar (Estudio Científico de su Posibilidad). Editorial Voluntad, S.A., Madrid. 396 p.
- Losano, M.G. 2017., El valenciano Enrique Dupuy y el Japón del siglo XIX. Universitat de València, 336 p.
- Navarro Comet, J. and Puche Riart, O., 2018. A century of hydrocarbon exploration and production in Spain (1860-1960). In: Craig, J., Gerali, F., MacAulay, F. & Sorkhabi, R (eds). History of the European Oil and Gas Industry. Geological Society, London, Special Publications, 465: 345-360. <https://doi.org/10.1144/SP465.10>
- Novo Fernández-Chicarro, P., 1925. La investigación de petróleo en la Península. Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería, 76: 405-410.
- Ordóñez, S. y Barrera, J.L., 2000. Julio Garrido Mareca (1911-1982). La carrera truncada de un cristalógrafo o un fracaso académico de la Universidad Española. Geotemas, 1-3: 67-72.
- Puche Riart, O. y Navarro Comet, J., 2019. Una historia de la exploración y producción de hidrocarburos en España. De Re Metallica, 33: 3-32.
- Ríos García, J.M., 1961. Criterios cartográficos en prospección de petróleos. En: Curso sobre investigación, explotación, transporte y refino de hidrocarburos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Geología, 1: 75-95.
- Ríos García, J.M., 1976. Discurso de contestación. En: Taxonomía matemática y Filosofía de las formas de la naturaleza. Discurso leído en el Acto de su recepción por el Excmo. Sr. D. Julio Garrido Mareca y Contestación del Excmo. Sr. D. José María Ríos García el día 16 de junio de 1916. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 84 p.
- Spencer, J. and Furcuta, M., 2018. Myron Kinley and the 'Torch of Moreni'. In: Craig, J., Gerali, F., MacAulay, F. & Sorkhabi, R (eds). History of the European Oil and Gas Industry. Geological Society, London, Special Publications, 465: 375-380. <https://doi.org/10.1144/SP465.8>
- Tortella, G., Ballesteros, A. y Díaz Fernández, J.L., 2003. Del Monopolio al libre mercado. La historia de la industria petrolera española. LID Editorial empresarial. Madrid. 632 p.

Material suplementario: publicaciones, notas e informes de Enrique Dupuy de Lôme Vidiella

1912

Mallada Pueyo, L. y Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1912. Reseña geológica de la provincia de Toledo. Boletín del Instituto Geológico de España, 33: 9-101.

1914

Fábrega, P., Marín, A. y Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1914. Congreso Geológico Internacional de Canadá. Memoria acerca del mismo. Boletín del Instituto Geológico de España, 35: 11-367.

1917

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1917. Informe acerca de las minas de Navalespino. Informe interno Sociedad Anónima Minera Plomífera de Navalespino, Madrid (inédito), 9 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Miláns del Bosch, J., 1917. Estudios relativos a la geología de Marruecos. Zonas de Ceuta, Tetuán

y Zona Atlántica. Boletín del Instituto Geológico de España, 38: 39-170.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Novo Fernández-Chicarro, P., 1917. Estudios hidrogeológicos en la provincia de Alicante, Término de Lorca (Murcia) y Término de Cieza (Murcia). Boletín del Instituto Geológico de España, 38: 373-437.

1918

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Fernández de Caleya, D.C., 1918. Nota acerca de un yacimiento de mamíferos fósiles, en el Rincón de Ademuz (Valencia). Boletín del Instituto Geológico de España, 39: 297-337.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Maquieira de Borbón, C.F., 1918. Los yacimientos de carbonato de magnesia en España. Boletín del Instituto Geológico de España, 39: 253-293.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Miláns del Bosch, J., 1918. Los terrenos secundarios del Estrecho de Gibraltar. Boletín del Instituto Geológico de España, 39: 561-570.

O'Shea, G. y Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1918. Estudio de los criaderos de azufre de Benamaurel (Granada). Boletín del Instituto Geológico de España, 39: 229-251.

1921

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Miláns del Bosch, J., 1921. Estudio geológico de la Península Norte-Marroquí. Boletín del Instituto Geológico de España, 42: 27-142.

1922

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Novo Fernández-Chicarro, P., 1922. Los límites de las manchas arcaicas y primarias en los confines de la provincia de Huelva con el Alentejo en Portugal. Boletín del Instituto Geológico de España, 43: 233-270.

1923

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1923a. Estudio del Instituto Geológico de España acerca de la cuenca hidrológica de la Sierra de Mijas o Torremolinos. Redactado a instancia del Ayuntamiento por orden de la Dirección General de Minas, Metalurgia e Industrias Navales. Excmo. Ayuntamiento Constitucional de Málaga, 22 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1923b. El petróleo en España. Boletín de la Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba, 6: 31-37.

1924

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1924. Informe acerca de la cuenca hidrológica de la Sierra de Mijas. Boletín del Instituto Geológico de España, 45: 317-339.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Novo Fernández-Chicarro, P., 1924. Estudio para la investigación del Carbonífero oculto bajo el Secundario de Palencia y Santander. Boletín del Instituto Geológico de España, 45: 25-73.

1925

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Novo Fernández-Chicarro, P., 1925. Datos para la investigación de petróleo en España. Boletín Oficial de Minas y Metalurgia, 92: 23-47.

1926

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1926. Congreso Geológico Internacional. Reunión XIV celebrada en Madrid durante los meses de mayo y junio de 1926. Discurso de clausura del Congreso. Boletín Oficial de Minas y Metalurgia, 10: 482-487.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Novo Fernández-Chicarro, P., 1926a. Guías geológicas de las líneas férreas de España. Madrid-Sevilla. XIV Congreso Internacional de Geología. Guía F-2. Imp. y lit. L. Coullaut, Madrid. 139 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. y Novo Fernández-Chicarro, P., 1926b. Guías geológicas de las líneas férreas de España. Madrid-Irún. XIV Congreso Internacional de Geología. Guía F-3. Imp. y lit. L. Coullaut, Madrid. 151 p.

1927-1928

Comptes Rendus, 1927-1928. Comptes rendus de la XIVe session en Espagne. Congrès Géologique International. 4 vol. Gráficas Reunidas, Madrid.

1929

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1929. La geología de la orilla Africana del Estrecho de Gibraltar. Boletín del Instituto Geológico y Minero de España, 51: 37-70.

1932

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1932. Los sondeos profundos de Valencia. Boletín de Sondeos. Instituto Geológico y Minero de España, 3-1: 211-232.

1933

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1933a. Nota acerca de la industria petrolífera rumana y aplicación de sus datos geológicos a la investigación de algunos yacimientos petrolíferos españoles. Boletín del Instituto Geológico y Minero de España, 53: 137-217.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1933b. Informe acerca de las Minas de Tormaleo (Asturias). Informe interno, Nueva Imprenta Radio, 15 p.

1934

Dupuy de Lôme Vidiella, E., Mendizábal, J. y Pérez, M.C., 1934. Regiones petrolíferas de Soria. Informe Instituto Geológico y Minero de España, 100 p.

1935

Dupuy de Lome Vidiella, E. y Miláns del Bosch, J., 1935. La estructura de Mzora (El Utaüen). Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, 6: 53-58.

1936

Dupuy de Lome Vidiella, E., 1936. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000, hoja n.º 841 (Alcaraz). IGME, Madrid.

1937

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1937a. Las investigaciones de petróleo en España. Boletín del Instituto Geológico y Minero de España, 54: 333-386.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1937b. Terrenos petrolíferos españoles. Boletín Oficial de la Dirección General de Minas y Combustibles, 23: 83-100.

1940

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1940a. The Contreras structures. Province Burgos. Geological Report No. 12. CIEPSA, Madrid (inédito), 6 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1940b. The Torremocha de Ayllón Region. Province Soria. Geological Report No. 13. CIEPSA, Madrid (inédito), 5 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1940c. The Cuevas de San Clemente Area. Province Burgos. Geological Report No. 14. CIEPSA, Madrid (inédito), 5 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1940d. The Region North of Salas de los Infantes. Province Burgos. Geological Report No. 15. CIEPSA, Madrid (inédito), 4 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1940e. The Tejada structures. Province Burgos. Geological Report No. 16. CIEPSA, Madrid (inédito), 11 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1940f. The Basconcillos del Tozo Region. Province of Burgos. Geological Report No. 17. CIEPSA, Madrid (inédito), 10 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1940g. The Sedano Region. Province Burgos. Geological Report No. 18. CIEPSA, Madrid (inédito), 8 p.

Fath, A.E., Dupuy de Lôme Vidiella, E. and Grove, B.H., 1940. The Gastiáin Anticline. Geological Report No. 1. CIEPSA,

Madrid (inédito), 4 p.

Garrido Mareca, J., Grove, B.H. and Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1940. Geological program, January-June 1941. Geological Report No. 21. CIEPSA, Madrid (inédito), 15 p.

1941

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1941. Oil indications and oil wells in Spain. Geological Report No. 26. CIEPSA, Madrid (inédito), 101 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. and Garrido Mareca, J., 1941a. The Logroño - Estella region. Geological Report No. 23. CIEPSA, Madrid (inédito), 8 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. and Garrido Mareca, J., 1941b. Reconnaissance in the Sierra de Altamira. Geological Report No. 28. CIEPSA, Madrid (inédito), 16 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E. and Garrido Mareca, J., 1941c. The Sedano-Villalba region province of Burgos. Geological Report No. 35. CIEPSA, Madrid (inédito), 11 p.

Grove, B.H. and Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1941a. Reconnaissance in Southwestern Spain. Geological Report No. 22. CIEPSA, Madrid (inédito), 49 p.

Grove, B.H. and Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1941b. Reconnaissance in Southeastern Spain. Geological Report No. 27. CIEPSA, Madrid (inédito), 15 p.

Grove, B.H. and Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1941c. Reconnaissance in Central-Eastern Spain. Geological Report No. 30. CIEPSA, Madrid (inédito), 24 p.

Grove, B.H. and Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1941d. Reconnaissance in Albacete and northern Murcia. Geological Report No. 34. CIEPSA, Madrid (inédito), 18 p.

1943

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1943. Recuerdos de mi vida, 141 p. Archivo de la familia Dupuy de Lôme [Texto inédito escrito durante su confinamiento en la isla de Lanzarote].

1945

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1945. Comments on the Oliana anticline (Province of Lerida). Geological Report No. 65. CIEPSA, Madrid (inédito), 15 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., Almela, A. y Ríos J.M., 1945a. The Aliaga, Morella, Lucena Region (province of Castellón and Teruel). Geological Report No. 64. CIEPSA, Madrid (inédito), 20 p.

Dupuy de Lôme Vidiella, E., Almela, A. y Ríos J.M., 1945b. Os de Balaguer Sheet nº 327 (province of Lerida). Geological Report No. 66. CIEPSA, Madrid (inédito), 11 p.

1946

Almela, A. y Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1946a. Geological reconnaissance in the southern part of the province of Alicante. Geological Report No. 67. CIEPSA, Madrid (inédito), 16 p.

Almela, A. y Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1946b. The Enguera, Cofrentes, Carlet region (province of Valencia). Geological Report No. 71. CIEPSA, Madrid (inédito), 13 p.

1962

Dupuy de Lôme Vidiella, E., 1962. The first years of oil investigation in Spain. CIEPSA, Madrid (inédito), 7 p. [Notas mecanografiadas, con correcciones a lápiz, de una conferencia que impartió sobre sus experiencias en la exploración de petróleo en España].

MANUSCRITO RECIBIDO: 29-09-2022

REVISIÓN RECIBIDA: 02-11-2022

MANUSCRITO ACEPTADO: 03-11-2022

REVISORES Y REVISORAS DEL VOLUMEN 35, NÚMEROS 1 Y 2 (AÑO 2022)

REVIEWERS OF VOLUME 35, ISSUES 1 AND 2 (2022 YEAR)

La Revista de la Sociedad Geológica de España agradece a las personas que han participado en la revisión de los trabajos que componen los dos números del volumen 35 su esfuerzo y dedicación en la revisión de los manuscritos encomendados. Su trabajo ha mejorado indudablemente la calidad de la Revista.

Álvarez Fernández, I. (*Profesional independiente, sector hidrocarburos*)
 Bádenas Lago, B. (*Universidad de Zaragoza*)
 Biedermann, A.R. (*University of Bern*)
 Elorza, J. (*Universidad del País Vasco*)
 González Lodeiro, F. (*Universidad de Granada*)
 Hernaiz Huerta, P.P. (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)
 Hidalgo Estévez, M.C. (*Universidad de Jaén*)
 Jordá Pardo, J.F. (*Facultad de Geografía e Historia, UNED*)
 Martínez Catalán, J.R. (*Universidad de Salamanca*)
 Mazadiego, L.F. (*Universidad Politécnica de Madrid*)
 Parés, J.M. (*Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana*)
 Pedrera, A. (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)
 Proenza, J.A. (*Universitat de Barcelona*)
 Rábano, I. (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)
 Torró i Abat, L. (*Pontificia Universidad Católica del Perú*)
 Valverde Vaquero, P. (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)

Y 5 revisores/as anónimos/as pertenecientes a las siguientes instituciones:

Colegio Oficial de Geólogos
Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra UGR-CSIC
Universidad de Alicante
Universidad de Huelva
Universidade de Santiago de Compostela

AUTORES Y AUTORAS DEL VOLUMEN 35, NÚMEROS 1 Y 2 (AÑO 2022)

AUTHORS OF VOLUME 35, ISSUES 1 AND 2 (2022 YEAR)

- Casas, M. (*Universitat de Barcelona*)
 Casas-Sainz, A.M. (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)
 Escuder-Viruete, J. (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)
 Flor, G. (*Universidad de Oviedo*)
 Flor-Blanco, G. (*Universidad de Oviedo*)
 Garcia, D. (*Universitat de Barcelona*)
 García-Mayordomo, J. (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)
 García-Sellés, D. (*Universitat de Barcelona*)
 Gómez-Novell, O. (*Universitat de Barcelona, INGEO*)
 González Pérez, M. (*Universidad de Oviedo*)
 Guinau, M. (*Universitat de Barcelona*)
 León Garrido, M. (*Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía*)
 Leonardo-Docanto, F.J. (*Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, A Coruña*)
 Llana Fúnez, S. (*Universidad de Oviedo*)
 Macías, F. (*Universidad de Huelva*)
 Martínez del Olmo, W. (*Investigador jubilado*)
 Molins-Vigatà, J. (*Universitat de Barcelona, Universidad Complutense de Madrid*)
 Moreno González, R. (*Universidad de Huelva*)
 Navarro Comet, J. (*Geólogo independiente*)
 Nieto, J.M. (*Universidad de Huelva*)
 Olías, M. (*Universidad de Huelva*)
 Oliva-Urcia, B. (*Universidad Autónoma de Madrid*)
 Ortuño, M. (*Universitat de Barcelona*)
 Rábano, I. (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)
 Rey Ruanova, M. (*Universidad de Oviedo*)
 Román-Berdiel, T. (*Universidad de Zaragoza*)
 Ruiz Cánovas, C. (*Universidad de Huelva*)
 Saura, E. (*Universitat Autònoma de Barcelona, Lithica SCCL*)
 Soto, R. (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)
 Travé, A. (*Universitat de Barcelona*)

NORMAS DE PUBLICACIÓN EN LA REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

La Revista de la Sociedad Geológica de España es una publicación semestral de acceso abierto de la Sociedad Geológica de España que da cabida a trabajos de investigación científica, en español o en inglés, en relación con cualquier área de las Ciencias de la Tierra. Los trabajos de geología de la Península Ibérica y áreas próximas son particularmente bienvenidos, además de los relacionados con la Historia de la Geología, el Patrimonio Geológico, y temáticas similares. Los trabajos de revisión o recopilación de información de temas específicos con una perspectiva científica actualizada, también serán valorados para su posible publicación en la revista. Los trabajos deberán ser originales, es decir, no publicados (o no aceptados) en otra revista, sea íntegramente o por partes y/o en otro idioma. Todos los artículos serán revisados, al menos, por dos especialistas y por el Comité Editorial.

PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Organización del texto

El texto se elaborará siguiendo la Plantilla RSGE (formato DOC), disponible <http://www.revistasge.com>. El texto seguirá este orden: 1) Título en español e inglés. 2) Nombre y apellidos de autores/as. 3) Dirección postal y electrónica completa de autores/as. 4) Resumen en español e inglés, de 200 palabras para el idioma del manuscrito, de 400 en el segundo idioma. 5) Palabras clave (3 a 5, en español y en inglés). 6) Título corto para el encabezamiento, en el idioma del manuscrito. 7) Texto principal. Los encabezamientos del texto principal se ordenarán jerárquicamente en tres tipos, sin numeración alguna: **Apartado**, **Subapartado de primer orden** y **Subapartado de segundo orden**, con punto y seguido el texto. En el texto, se incluirán sólo citas de trabajos publicados o en prensa, con el apellido de autores/as y año de publicación en orden cronológico (ej., Pérez, 2004; Mateos y Jiménez, 2007; Teixell *et al.*, 2007). Las figuras y tablas se indicarán de forma correlativa (ej., Fig. 1, Fig. 2, Figs. 3-5, Tabla 1, Tabla 2...etc.). 8) Agradecimientos y financiación. Se citarán los agradecimientos personales y a las personas que han revisado el trabajo. Además, es necesario indicar las fuentes de financiación del estudio. 9) Contribución de autores/as. Se especificará, en un párrafo corto, la contribución individual de cada persona. 10) Referencias. Deberán ir ordenadas alfabéticamente por el apellido de autores/as y cronológicamente, en el caso de que se repitan. Deberán indicarse las referencias que dispongan de DOI con un enlace tipo <https://doi.org/...> (según los ejemplos indicados abajo). 11) Pies de figuras y tablas.

- Arce Durante, J.M., Fernández Tomas, J., Monteserín López, V., 1977. Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 24 (Mondoñedo). IGME, Madrid.
- Díaz Martínez, E., 1988. El Cretácico Inferior del sector de Jubera (norte de la Sierra de Los Cameros, La Rioja). II Congreso Geológico de España, Comunicaciones, 1: 67-70.
- Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., 2001. The sedimentary record of the post-glacial transgression on the Gulf of Cadiz continental shelf (Southwest Spain). *Marine Geology*, 178: 171-195. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00176-1)
- Ortega Gironés, E., Gil Ibarguchi, J.I., 1983. La Unidad de Malpica-Tuy. En: Libro jubilar, J.M. Ríos. *Geología de España*, Tomo I, (J. Comba, Ed.). IGME, Madrid, 430-440.
- Parra, J., 2001. Análisis paleoambiental de los sistemas continentales y el vulcanismo asociado del Neógeno del Valle del Cajón en los Andes Occidentales (Catamarca, República Argentina). Tesis Doctoral, Univ. Huelva, 272 p.
- Woodroffe, C.D., 2002. *Coasts*. Cambridge University Press, New York, 623 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316036518>

Figuras y tablas

Para el diseño de tablas y figuras (incluyendo dibujos y fotografías) se tendrá en cuenta el tamaño de caja de la revista (248 x 170 mm). Las figuras y tablas pueden ocupar la anchura de una columna (82 mm) o de una página (170 mm). Las tablas irán en formato DOC. El tamaño de letra deberá ser como mínimo de 7 ptos. y la anchura de línea oscilará entre 0,3 y 1,5 ptos. Las partes de una figura se denominarán con letras mayúsculas (A, B, C, etc.). Los dibujos deben tener una buena calidad en cuanto a tramas, tonos de grises y leyendas. Las fotografías deben ser claramente visibles, tener contraste suficiente y acabado brillante, y deben contener escalas u objetos que sirvan de referencia.

Extensión del manuscrito

Como norma general, la extensión del manuscrito, incluyendo texto y espacio equivalente de figuras y tablas, no podrá exceder 20 páginas. Una página de la Plantilla RSGE (en fuente Times New Roman 10, a espacio simple) equivale a unas 1000 palabras aproximadamente.

ENVÍO Y REVISIÓN DEL MANUSCRITO

El manuscrito será enviado electrónicamente a la Editora Principal (Nieves López-González) a través de la plataforma de Envío de Artículos en <https://sociedadgeologica.org/publicaciones/revista-sge> en 2 documentos: 1) el texto en formato DOC (*Plantilla RSGE*), y 2) las figuras y tablas en un documento PDF y numeradas correlativamente. En la plantilla, se deberá proporcionar el nombre, institución y correo electrónico de 5 posibles revisores/as. Existe la posibilidad de vetar a personas, siempre que esté debidamente justificado.

La Editora Principal valorará la adecuación del manuscrito a las normas de publicación. Si el trabajo se ajusta a las normas, será enviado para su revisión a 2 especialistas y, en caso de discrepancia, se remitirá a una tercera persona. Teniendo en cuenta la opinión de las personas que han revisado el trabajo, la Editora Principal decidirá si el trabajo es aceptado o requiere de modificaciones menores, moderadas o importantes, o si es rechazado. En caso de que sea aceptado con modificaciones, el manuscrito original deberá ser corregido siguiendo las observaciones de los/las revisores/as. La nueva versión del documento será enviada a la Editora Principal, quien valorará la necesidad de una segunda revisión o, en su caso, lo aceptará definitivamente.

MANUSCRITO ACEPTADO

Una vez aceptado el manuscrito se enviará por correo electrónico a la Editora Principal (nieves.lopez@ieo.csic.es), la versión final de las tablas (en formato DOC) y de las figuras (en formato JPG o TIFF), en archivos individuales. Si se usa el formato TIFF y la figura sólo contiene dibujos de líneas, la resolución deberá ser de 600 ppp. Si la figura tiene trama de grises o es en color, la resolución deberá ser de 300 ppp. Los/las autores/as recibirán: 1) las pruebas de impresión para la corrección de erratas, sin que se acepten modificaciones del texto original, y 2) el documento de Transferencia del Copyright a la Sociedad Geológica de España. Para resolver cualquier duda pueden contactar con la Editora Principal por correo electrónico: nieves.lopez@ieo.csic.es.

PUBLICATION RULES OF THE JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF SPAIN

The Journal of the Geological Society of Spain is an open access biannual publication of the Geological Society of Spain. This journal publishes original research contributions in Spanish or English that cover all Earth Science topics, in particular those concerning the Iberian Peninsula and nearby areas, as well as those related to the History of Geology, Geological Heritage, and similar topics. Review papers or compilations on specific topics with an up-to-date scientific perspective will also be considered for possible publication in the journal. The submitted manuscripts must be original research papers that have not been published (or not accepted) totally or partially elsewhere, in any language. All the papers will be reviewed by a minimum of two referees and by the Editorial Board.

MANUSCRIPT PREPARATION

Text organization

The text is to be formatted using the RSGE Template (DOC format), which is available <http://www.revistasge.com>. It should be organized as follow: 1) Title in English and Spanish. 2) Name and surnames of authors. 3) Full postal and electronic addresses of authors. 4) Abstract in Spanish and English, not exceeding 200 words in the language of the main text, and no more than 400 words in the second language. 5) Keywords (3 to 5, in Spanish and English). 6) Short title to use as header, in the language of the main text. 7) Main text. Headings should be hierarchically sorted into three types without any numbering: **Section**, *First-order subsection* and *Second-order subsection*, with dot and followed by the text. In the main text, cite only published or in press publications. Any cited publications should be referred to the authors' surname and year of publication, arranged chronologically (e.g., Pérez, 2004; Mateos and Jiménez, 2007; Teixell *et al.*, 2007). The figures and tables must be sequential (e.g., Fig. 1, Fig. 2, Fig 3-5, Table 1, Table 2...etc.). 8) Acknowledgements and funding. Personal acknowledgements and those to the persons who have reviewed the work will be cited. In addition, it is necessary to indicate the funding sources of the study. 9) Author contributions. The individual contributions of each author must be provided in a short paragraph. 10) References. The list of references should be arranged alphabetically by authors' surnames and chronologically in case of repetition. References with a DOI should be indicated with a link such as [https://doi.org/...](https://doi.org/) (see examples below). 11) Figure and table captions.

- Arce Durante, J.M., Fernández Tomas, J., Monteserín López, V., 1977. Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 24 (Mondoñedo). IGME, Madrid.
- Díaz Martínez, E., 1988. El Cretácico Inferior del sector de Jubera (norte de la Sierra de Los Cameros, La Rioja). II Congreso Geológico de España, Comunicaciones, 1: 67-70.
- Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., 2001. The sedimentary record of the post-glacial transgression on the Gulf of Cadiz continental shelf (Southwest Spain). *Marine Geology*, 178: 171-195. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00176-1)
- Ortega Gironés, E., Gil Ibarguchi, J.I., 1983. La Unidad de Malpica-Tuy. In: Libro jubilar, J.M. Ríos. *Geología de España*, Tomo I, (J. Comba, Ed.). IGME, Madrid, 430-440.
- Parra, J., 2001. Análisis paleoambiental de los sistemas continentales y el vulcanismo asociado del Neógeno del Valle del Cajón en los Andes Occidentales (Catamarca, República Argentina). Doctoral Thesis, Univ. Huelva, 272 p.
- Woodroffe, C.D., 2002. Coasts. Cambridge University Press, New York, 623 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316036518>

Figures and tables

The page size of the journal, 248 x 170 mm, should be considered when preparing figures (both drawings and photographs) and tables. The figures and tables can occupy either one column (82 mm width) or the whole width of the page (170 mm width). Lettering should be a minimum of 7 pt. Line widths should range from 0.3 to 1.5 pt. Tables shall be in DOC format. Figure parts should be denoted by uppercase letters (A, B, C, etc.). Line drawings must be of good quality in terms of patterns, grey tones and legends. Photographs should be clear, have good contrast and a glossy aspect, and employ some indication of scale.

Manuscript length

As a general rule, manuscripts must not exceed 20 pages, including text and the equivalent space for figures and tables. One single-spaced RSGE Template page, written with font Times New Roman 10, contains approximately 1000 words.

MANUSCRIPT SUBMISSION AND REVISION

Manuscripts should be submitted electronically through <https://sociedadgeologica.org/publicaciones/revista-sge> to the Editor-in-chief (Nieves López-González) in 2 separated files: 1) the text in DOC format (*RSGE Template*), and 2) the figures and tables in a PDF document and numbered sequentially. In the template, the name, address and email of 5 possible reviewers should be provided. When justified, opposed reviewers can be named.

The Editor-in-chief evaluates the manuscript to ensure that it follows the requirements of the journal. If the manuscript receives a positive evaluation, it will be sent for review to 2 referees, but given conflicting reviews, the manuscript will be sent to a third referee. Once revised, the Editor-in-chief will decide whether the manuscript is accepted or requires minor, moderate or major modifications, or it is rejected. If it is accepted with modifications, the original manuscript must be adapted following the reviewers' suggestions. The new version of the manuscript will be sent to the Editor-in-chief, who will assess whether there is a need for additional revisions or if it is acceptable for publication.

ACCEPTED MANUSCRIPT

Once the manuscript is accepted, the authors will send by email to the Editor-in-chief (nieves.lopez@ieo.csic.es), the final version of the tables and figures in separated files. Tables must be in DOC format and figure files must be provided as JPG or TIFF files. For TIFF format figures containing only lines drawings, a resolution of 600 dpi is required. For greyscale or colour figures, a resolution of 300 dpi is sufficient. Authors will receive: 1) the print proofs, to be checked for typesetting/editing, and 2) the Copyright Transfer to the Geological Society of Spain. Questions should be directed to the Editor-in-chief by email: nieves.lopez@ieo.csic.es.

SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

La **Sociedad Geológica de España** fue fundada en 1985 y tiene como fines la promoción, fomento y difusión del conocimiento, progreso y aplicaciones de la Geología, el asesoramiento en materia científica y educativa a las Instituciones y Entidades que lo requieran, y la representación de los intereses científicos de la comunidad geológica de España a nivel internacional. Sus miembros tienen derecho a participar en todas las actividades organizadas por la Sociedad, a optar a ocupar cualquiera de sus cargos directivos y a recibir gratuitamente las publicaciones periódicas de la Sociedad: Geogaceta y Revista de la Sociedad Geológica de España.

JUNTA DE GOBIERNO

(Presidente)	Juan Antonio Morales González Departamento de Ciencias de la Tierra Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva Campus del Carmen, Avda. de las Fuerzas Armadas s/n, 21071 Huelva (España) Tel: +34 959 219 815; e-mail: jmorales@dgeo.uhu.es
(Secretario)	Miguel Gómez Heras Departamento de Geología y Geoquímica Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid C/ Francisco Tomás y Valiente 7 (Módulo 06-406), 28049 Madrid (España) Tel: +34 914 975 407; e-mail: miguel.gomezheras@uam.es
(Tesorera)	María del Carmen Cabrera Santana Departamento de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017 Las Palmas de Gran Canaria (España) Tel: +34 928 454 478; e-mail: mcarmen.cabrera@ulpgc.es
(Vicepresidenta)	Ana Ruiz Constán
(Vicesecretario)	Pedro Huerta Hurtado
(Secretario 2º)	José Eugenio Ortiz Menéndez
(Vocales)	Álvaro Jiménez Berrocoso Ángel Salazar Rincón Davinia Díez-Canseco Francisco Manuel Alonso Chaves Manuel Díaz Azpiroz Pilar Mata Campo

SEDE ADMINISTRATIVA

Sociedad Geológica de España:
Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca, (España)
<http://www.sociedadgeologica.org>

Suscripciones: Toda la correspondencia debe ser dirigida a la Sede Administrativa de la Sociedad. El precio de la suscripción anual es de 67 € para España y Portugal y 76 € para el resto del mundo.

REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

Volumen 35, Número 2, (2022)

FRANCISCO J. LEONARDO-DOCANTO E ISABEL RÁBANO

Isidro Parga Pondal (1900-1986) y el Instituto Geológico y Minero de España. Una historia de encuentros y desencuentros / *Isidro Parga Pondal (1900-1986) and the Geological and Mining Institute of Spain. A story of agreements and disagreements* 3

WENCESLAO MARTÍNEZ DEL OLMO

Ideas para combatir el cambio climático / *Ideas for blocking the climate change* 20

MANUEL OLÍAS, CARLOS RUIZ CÁNOVAS, RAÚL MORENO GONZÁLEZ, FRANCISCO MACÍAS Y JOSÉ MIGUEL NIETO

Factores condicionantes de la acidificación de embalses por lixiviados mineros en la Faja Pirítica Ibérica / *Controlling factors of reservoir acidification by mining leachates in the Iberian Pyrite Belt* 28

MIGUEL LEÓN GARRIDO

La geología en la obra del pintor Gustave Courbet (1819-1877) / *Geology in the work of the painter Gustave Courbet (1819-1877)* 41

SÉRGIO LLANA FÚNEZ Y MARÍA GONZÁLEZ PÉREZ

Cinemática de fallas normales menores tardí- y post-variscas en la sección costera de la ría del Eo (N de España) / *Kinematics of late- and post-Variscan minor normal faults in the coastal section of Eo estuary (N of Spain)* 58

JORGE NAVARRO COMET

Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (1885-1965), un pionero de la exploración de petróleo en España / *Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (1885-1965), a pioneer of oil exploration in Spain* 73