

INSTITUTO
GEOLÓGICO
Y MINERO
DE ESPAÑA

175 AÑOS

Edición de
ISABEL RÁBANO y ÁNGEL SALAZAR

INSTITUTO
GEOLÓGICO
Y MINERO
DE ESPAÑA

175 AÑOS




INSTITUTO
GEOLÓGICO
Y MINERO
DE ESPAÑA

175 AÑOS

Edición de

ISABEL RÁBANO y ÁNGEL SALAZAR

Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Madrid, 2024



La versión electrónica de este libro está disponible en acceso abierto en editorial.csic.es y se distribuye bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-Non Comercial-No Derivadas 4.0. La información completa sobre dicha licencia puede ser consultada en <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Esta licencia afecta solo al material original del libro. El uso del material proveniente de otras fuentes (indicadas en las referencias), como diagramas, ilustraciones, fotografías o fragmentos de textos, requerirá permiso de los titulares del *copyright*.

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

CÓMO CITAR:

Instituto Geológico y Minero de España: 175 años / Isabel Rábano y Ángel Salazar (eds.).
Madrid: CSIC, 2024.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado: <https://cpage.mpr.gob.es>

EDITORIAL CSIC: <http://editorial.csic.es> (correo: publ@csic.es)

© CSIC, 2024

© Isabel Rábano y Ángel Salazar, eds.

© De las ilustraciones, las fuentes mencionadas a pie de figura

ISBN: 978-84-00-11309-4

e-ISBN: 978-84-00-11310-0

NIPO: 155-24-163-0

e-NIPO: 155-24-164-6

Depósito Legal: M-15775-2024

CORRECCIÓN Y COORDINACIÓN EDITORIAL

María Sánchez Luque

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

Lacasta Design

FOTOMECÁNICA

Lucam

IMPRESIÓN Y ENCUADERNACIÓN

Anzós, S. L.

Impreso en España. *Printed in Spain*

En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma sostenible.



<hr/>	
PRESENTACIÓN	
Eloísa del Pino Presidenta del CSIC	12
PRESENTACIÓN	
Ana María Alonso Zarza Directora del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC	14
PRÓLOGO	
Isabel Rábano y Ángel Salazar	16
<hr/>	
PERFILES ACADÉMICOS	18
<hr/>	
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: UNA HISTORIA DE 175 AÑOS	
Isabel Rábano, Ángel Salazar	39
<hr/>	
LA EXPLORACIÓN GEOLÓGICA DEL SUELO Y DEL SUBSUELO	113
1. El mapa geológico de España a escala 1:400 000 de 1889 Isabel Rábano	114
2. Un cambio de escala: los primeros mapas geológicos 1:50 000 (1927-1928) Ángel Salazar, Alejandro Robador	118
3. Los inicios de la prospección geofísica en España. La Sección de Trabajos de Geofísica del Instituto Geológico y Minero de España Félix M. Rubio, Juliana María Martín León, Arturo García García	122
4. El IGME y el proyecto de túnel submarino del estrecho de Gibraltar Jorge Navarro Comet	126
5. Los inicios de la investigación y la cartografía geológica marina en el IGME Teresa Medialdea, Luis Somoza, Francisco Javier González	132
6. Treinta años de cartografía geofísica en la zona económica exclusiva española: un modelo de colaboración interinstitucional Adolfo Maestro, María Druet, Estefanía Llave, Fernando Bohoyo	138
7. Cartografía geomorfológica: inicio y desarrollo en el IGME Augusto Rodríguez, Ángela Suárez, Ángel Salazar, Ángel Martín-Serrano	144

8. El mapa geológico en el siglo XXI	150
Alejandro Robador, María Mancebo	
9. Un cuarto de siglo de investigaciones paleomagnéticas en el IGME	156
Emilio Pueyo, Tania Mochales, Juan C. Larrasoaña, Ruth Soto, Pablo Calvín, Esther Izquierdo Llavall, Pablo Sierra Campos, Bet Beamud, Manuel J. Montes	
10. Una mirada al futuro de la paleontología	162
Samuel Zamora, Enrique Peñalver	
11. Desarrollo y aplicación de la modelización geológica 3D en el IGME	166
Carlos Marín Lechado, Carmen Rey Moral, Ana Ruiz Constán, Antonio Pedrera, Beatriz Benjumea	

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	171
------------------------	-----

1. La hidrogeología española durante el primer tercio del siglo XX	172
Juan José Durán Valseo, Raquel Morales García	
2. Los grandes proyectos hidrogeológicos de la cuenca del Guadalquivir (FAO-IGME) y del sistema Cazorla-Hellín-Yecla	176
Jorge Hornero, Juan Carlos Rubio, Carlos Mediavilla	
3. Los planes nacionales de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), de Gestión y Conservación de los Acuíferos (PGCA) y de Abastecimiento a Núcleos Urbanos (PANU)	180
José M.ª Ruiz Hernández, Juan Antonio López Geta	
4. Las redes de observación y vigilancia de las aguas subterráneas	184
Jorge Jiménez Sánchez, Jorge Enrique Hornero Díaz, Olga García Menéndez, Juan de Dios Gómez Gómez, Carlos Camuñas Palencia	
5. La unidad del IGME para el estudio de formaciones geológicas de baja permeabilidad	188
Juan Grima, Miguel Mejías	
6. La Sección de Sondeos y Aforos del IGME (1945-1999)	192
Sergio Martos-Rosillo, Carolina Guardiola-Albert, Raquel Morales García, José Antonio Domínguez Sánchez, Antonio Nicolás Martínez Sánchez de la Nieta	
7. Sequías. La contribución del IGME para paliar sus efectos	196
Bruno J. Ballesteros-Navarro, Juan C. Rubio-Campos, José A. Domínguez-Sánchez, Elisabeth Díaz-Losada, José M. Fernández-Portal	
8. Uso conjunto y recarga artificial	200
Juan de Dios Gómez, Jose Manuel Murillo, Jose Antonio de la Orden, David Pulido-Velázquez, Sergio Martos-Rosillo y Jorge Jódar	
9. El IGME y la planificación hidrológica española	204
José Manuel Murillo, Ramón Aragón, Bruno J. Ballesteros	

10. La hidrogeología ambiental: humedales y espacios naturales protegidos	
Javier Heredia Díaz, Miguel Mejías Moreno, Carolina Guardiola-Albert, Juan José Durán Valsero, Luis Moreno Merino, Fernando Ruiz Bermudo, Rosa Mediavilla López, Héctor Aguilera Alonso, Almudena de la Losa Román, Raquel Morales García	208
11. La hidrogeología española en los inicios del siglo XXI	
Emilio Custodio, Bruno J. Ballesteros, Juan María Fornés	214
12. Cambio climático y aguas subterráneas	
David Pulido-Velázquez, Antonio Juan Collados Lara, Juan de Dios Gómez Gómez, Leticia Baena Ruiz, África de la Hera Portillo	218

LOS RECURSOS GEOLÓGICOS	223
-------------------------	-----

1. El papel del IGME en el descubrimiento, investigación y explotación de la cuenca potásica catalana (1914-1932)	
Ester Boixereu	224
2. EL IGME y los inicios de la exploración de hidrocarburos en España	
Jorge Navarro Comet	230
3. Pasado, presente y futuro de las aguas minerales y termales	
María del Mar Corral Lledó, M. ^a Elena Galindo Rodríguez, Carlos Ontiveros Beltranena, Bruno Martínez Plédel	236
4. La cartografía metalogenética (1969-1971) como instrumento para el desarrollo	
Ester Boixereu	240
5. Los inicios de la investigación de los recursos geotérmicos en España: el papel del IGME	
Celestino García de la Noceda Márquez	246
6. El plan de selección y caracterización de estructuras favorables para almacenamiento geológico de CO ₂ en España	
José F. Mediato Arribas, José Luis García Lobón, Paula Fernández-Canteli Álvarez, Edgar Berrezueta Alvarado, Jesús García Crespo	252
7. El Inventario Español de Lugares de Interés Geológico	
Juana Vegas, Luis Carcavilla, Enrique Díaz-Martínez	256
8. El Atlas Geoquímico de España	
Juan Locutura Rupérez, Alejandro Bel-lan Ballester, Iván Martín-Méndez	260
9. La exploración de recursos minerales submarinos	
Francisco Javier González, Luis Somoza, Teresa Medialdea, Egidio Marino	266
10. Recursos geológicos y canteras históricas, una contribución a la investigación del patrimonio arquitectónico español	
Enrique Álvarez Areces, Jorge Fernández Suárez, Javier Martínez Martínez, José Manuel Baltuille Martín, María Teresa López López	270

<hr/>	
TIERRA DINÁMICA:	
PELIGROS GEOLÓGICOS Y CAMBIOS CLIMÁTICOS	275
1. El sismógrafo no es suficiente: los efectos geológicos y arqueológicos de los terremotos	
Miguel Ángel Rodríguez-Pascua, Raúl Pérez López, María Ángeles Perucha, Pablo G. Silva	276
2. Del tarquín de las riadas a los mapas previsores de inundaciones	
Andrés Díez Herrero, Miguel Llorente Isidro, María Ángeles Perucha Atienza, Mario Hernández Ruiz	282
3. Hacia una ciencia integral del riesgo de inundación	
Andrés Díez Herrero, Ana Lucía Vela, Daniel Vázquez Tarrío, Kelly Patricia Sandoval Rincón	288
4. El estudio de los deslizamientos en el IGME	
Mercedes Ferrer Gijón	294
5. Entre volcanes: desde las Antillas a Filipinas pasando por Canarias	
Nieves Sánchez	300
6. La vigilancia de los peligros geológicos desde el espacio	
Rosa María Mateos, Marta Béjar-Pizarro, Guadalupe Bru, Pablo Ezquerro, Juan López-Vinielles, Carolina Guardiola-Albert, Gerardo Herrera	304
7. Del estrato a la micromuestra: la integración de escalas en los estudios paleoclimáticos	
Rosa M.ª Mediavilla López, Susana Martín Lebreiro, Idoia Rosales Franco	308
<hr/>	
UNA INSTITUCIÓN CON VOCACIÓN INTERNACIONAL	313
1. Antártida: cuatro décadas de investigaciones científicas del IGME en el continente helado	
Fernando Bohoyo, Manuel J. Montes, Adolfo Maestro, Alejandro Robador	314
2. El desarrollo de la geología y la minería en la República Dominicana como ejemplo de la acción internacional del IGME en Iberoamérica	
Javier Escuder Viruete	320
3. Diplomacia científica: el IGME en el proceso de ampliación de la plataforma continental de España ante la ONU	
Luis Somoza, Teresa Medialdea, Francisco Javier González	324
4. La cooperación internacional para el desarrollo	
Jose Luis García Aróstegui, Enrique Díaz-Martínez, Juan María Fornés Azcoiti, Juan José Durán Valsero	328
5. Resultados del Plan Nacional de Geología en la zona UTE-PLANAGEO, suroeste de Angola: series cartográficas y trabajos específicos	
José Luis García Lobón, Enrique Merino Martínez, Javier Escuder Viruete, Raquel Martín Banda, Jorge Fernández Suárez	332

<hr/>	
SOPORTES DE LA INVESTIGACIÓN Y DE LA DIVULGACIÓN EN GEOCIENCIAS	339
1. Creación del Laboratorio de Espectroscopía del IGME (1928) Jesús Reyes Andrés	340
2. Utilización en los laboratorios del IGME de nuevas técnicas geoquímicas en España: microsonda electrónica (1967) y datación isotópica (1969) José López Ruiz, Jesús García Garzón, Martín Fernández González, Jesús Reyes Andrés	344
3. Fósiles y mapas: el Laboratorio de Paleontología (1927-1970) Isabel Rábano	348
4. La Litoteca del IGME M. Pilar Mata, J. Javier Muñoz, Clemente Molina	352
5. Del mapa tradicional a los servicios de mapas: del papel a la nube Leticia Vega, Teresa Orozco, Juan A. Rodríguez, César Husillos, Ángel Prieto	356
6. Del cuaderno de campo a las infraestructuras de conocimiento geológico Ángel Prieto Marín, Carlos Lorenzo Carnicero, M. Teresa Lopez Bahut, Silvia Cervel de Arcos, Cesar Husillos Rodríguez, Margarita P. Sanabria Pabón, Miguel Angel Alarcón Frías, Juan C. Gumiel Gutiérrez, J. Román Hernández Manchado	360
7. 1926 y 1989, dos años clave en la historia del Museo Geominero Isabel Rábano, Ana Rodrigo	364
8. Un yacimiento paleontológico y una nueva infraestructura para el IGME en el siglo XXI: Fonelas P-1 y la Estación Paleontológica Valle del Río Fardes Alfonso Arribas, Guiomar Garrido	368
9. Fósiles, minerales y rocas con derecho a réplica Eleuterio Baeza, Ana Rodrigo	372
10. Una biblioteca singular dedicada a las ciencias de la Tierra Rafael Rodríguez Rodríguez	376
11. La decana de las revistas de ciencias de la Tierra en España: <i>el Boletín Geológico y Minero</i> Isabel Rábano, Andrés Díez Herrero, Juan José Durán Valsero	380
<hr/>	
APÉNDICES	385
1. Principales normas jurídico-administrativas que han afectado al IGME desde su fundación en 1849 hasta la actualidad (recopiladas por Ángel Salazar & Isabel Rábano)	386
2. Legislación y normativa relativas a la hidrogeología en la historia del IGME (recopiladas por Juan María Fornés Azcoiti & Juan Antonio López Geta)	398

PRESENTACIÓN

Celebrar los 175 años de vida de una institución pública dedicada a la investigación científica y tecnológica supone un orgullo y un motivo de legítima satisfacción para todas las personas que han contribuido a esta larga y fructífera trayectoria. Supone también un desafío de presente y de futuro, un reto diario por seguir realizando un trabajo científico de excelencia, por continuar alcanzando hitos y aportando conocimientos fundamentales para que los responsables públicos puedan adoptar las buenas decisiones públicas que, en la actualidad más que nunca, nuestra sociedad necesita.

El origen del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) es la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y la General del Reino, creada por real decreto de Isabel II en 1849. Desde entonces, y tras las numerosas vicisitudes históricas que ha atravesado nuestro país, podemos afirmar que el IGME es uno de los pilares más reconocidos de la ciencia en España.

El IGME es uno de los organismos públicos de investigación, junto con el Instituto Español de Oceanografía (IEO) y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), que en 2021 pasaron a integrarse con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) como centros nacionales. Desde entonces, el CSIC ha impulsado más de 100 medidas de política cien-

tífica y de gestión para que los compañeros y compañeras puedan sentir que el CSIC es también la casa del IGME. En 2024, somos ya capaces de ver que el horizonte está cercano. Con la integración del IGME, el CSIC se ha hecho más fuerte en el campo de las ciencias y tecnologías de la Tierra, en un momento en que estas son requeridas por la sociedad para entender mejor el planeta y para atender los desafíos medioambientales, de conservación del patrimonio geológico e hídrico, y los retos derivados del cambio climático, por ejemplo, la búsqueda y consolidación de nuevas fuentes de energía, o el aprovechamiento de los escasos recursos, en particular de los materiales críticos. En este sentido, los grupos de investigación del IGME forman parte activa de las estructuras colaborativas del CSIC, como las plataformas temáticas interdisciplinares Polar, PAIS y Teledetect, y la reciente Conexión Geociencias para un Planeta Sostenible.

Además, la experiencia del IGME en asesoramiento científico a las Administraciones públicas, nacionales e internacionales, ha abierto al CSIC una nueva ventana de oportunidad para reforzar la propia misión del Consejo y el valor social de la ciencia. Un ejemplo de ello, es la contribución del IGME a dos importantes proyectos puestos en marcha entre 2023 y 2024. En Ciencia para las Políticas Públicas (Science for Policy), orientado a que el conocimiento

generado en los centros e institutos del CSIC sirva para la propuesta y, en su caso, adopción de políticas públicas basadas en la evidencia científica, las áreas de conocimiento en las que trabaja el IGME son fundamentales, como demuestran los informes realizados sobre incendios forestales o sequías. Tras la relevante contribución de los investigadores del IGME en la emergencia que supuso el volcán de La Palma, ahora han desempeñado un importante papel en el diseño del nuevo Protocolo de Emergencias, gracias al cual el CSIC estará mejor preparado para asesorar a los gobiernos en estas circunstancias.

En este volumen conmemorativo encontraremos valiosos ensayos sobre la exploración geológica del suelo y el subsuelo, las aguas subterráneas o los recursos geológicos, pero hay un capítulo que me interesa especialmente, el titulado «Tierra dinámica: peligros geológicos y cambios climáticos», en el que se abordan riesgos como las erupciones volcánicas, las riadas, las inundaciones, los terremotos, los deslizamientos o los estudios paleoclimáticos. Es precisamente el dinamismo de nuestro planeta el que nos obliga a estudiar, vigilar y, sobre todo, prevenir estos riesgos. El terremoto de Lorca (Murcia) del año 2011 y la erupción volcánica en la isla de La Palma en 2021 pusieron de manifiesto la necesidad de potenciar el estudio de los peligros debidos a la geodinámica.

Las actividades y proyectos realizados en los últimos años por el IGME no han cesado de incrementarse, así como las técnicas utilizadas, las temáticas que abordan y los lugares donde se desarrollan sus trabajos. Por ejemplo, técnicas como el paleomagnetismo o la geocronología permiten alcanzar actualmente un conocimiento mucho más preciso de la geología; la hidrogeología afronta problemas cada vez más complejos, como la contaminación y calidad del agua subterránea, el cambio climático y la disponibilidad de recursos, o la conservación de humedales y sus hábitats; y en cuanto a los recursos del subsuelo, los nuevos retos son el almacenamiento de CO₂ o de hidrógeno y la localización de yacimientos de materias críticas minerales.

El campo de trabajo del Instituto Geológico y Minero de España es amplísimo, casi inagotable. Cumple ahora 175 años de vida y trabajos, pero estoy segura de que el futuro será aún más largo, productivo, exitoso y concienciado con nuestra realidad y nuestra necesaria transición ecológica. En el camino que empezamos a recorrer a partir de ahora, a todas las personas que forman el IGME, les transmito mis mejores deseos y les garantizo el apoyo incondicional de esta presidencia.

ELOÍSA DEL PINO
Presidenta del CSIC

PRESENTACIÓN

El 12 de julio de 1849 la reina Isabel II firmó el Real Decreto por el que se creaba la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y la general del Reino para avanzar en el conocimiento de los recursos de nuestro país y posibilitar así el desarrollo económico. Se cumplen, pues, 175 años de la creación del embrión del IGME, que celebramos con la edición de este libro. La evolución histórica de la institución, entre 1849 y 2024, queda perfectamente recogida en el primer capítulo de este libro. La obra reúne los hitos y logros más significativos del IGME a lo largo de sus 175 años de historia, todos ellos de gran interés y perfectamente descritos, quedando patente la vocación de servicio público en geología y minería que ha tenido la institución desde sus inicios. Una prueba de ello es la concesión de la medalla al Mérito de Protección Civil por la actuación del personal del IGME en la emergencia volcánica de La Palma.

A escala de tiempo humano 175 años son muchos, a escala de tiempo geológico aparentemente nada, pero los tiempos están cambiando, el aumento exponencial de la población mundial, el incremento en la explotación de los recursos geológicos y la enorme necesidad que tiene el ser humano de ellos nos ha llevado a un momento crítico. La humanidad está acelerando los procesos geológicos, no sabemos si tendremos suficientes recursos, y somos a la vez protagonistas y causantes del cambio global que está sufriendo nuestro planeta y quizás también de lo que se viene denominando *sexta extinción*. ¡Parece que el tiempo en geología ya no es lo que era!

En este contexto de cambio global y de una enorme interrelación de todos los procesos a escala mundial, el conocimiento científico multidisciplinar de nuestro planeta es una pieza clave para abordar la denominada *transición ecológica*, en la que el IGME como centro nacional del CSIC tiene mucho que decir, como lo ha hecho a lo largo de estos 175 años. Este año el IGME ha recibido el distintivo ASPIRA-MaX Josefa Barba para incentivar a la institución a elaborar y poner en marcha un plan estratégico de excelencia, en el que se encuadra el proyecto piloto denominado *Geología para la Transición Ecológica*, con el que se pretende aportar herramientas para la gestión sostenible del territorio. Pero el IGME no está solo en esto; la Conexión Geociencias para un Planeta Sostenible, recientemente creada dentro del CSIC, y el entorno multidisciplinar que nos proporciona la integración en la mayor institución pública científico-técnica del país juegan a nuestro favor para hacer que el conocimiento científico riguroso de nuestro planeta aporte soluciones a nuestra sociedad.

Nos encontramos, por tanto, en un nuevo marco de actuación más amplio y diverso, en el que las actividades científicas tienen un papel relevante, pero sin perder de vista el carácter de servicio técnico de referencia y soporte para determinadas políticas estatales que tiene el IGME como centro nacional. Desde este punto de vista, en los próximos años el IGME tiene como reto el asesoramiento al Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico en dos planes de acción, el de las Materias Primas Minerales

y el de Aguas Subterráneas, en los que participa de forma muy activa desde el año 2022.

Tengo el orgullo de presentar este libro en el que se muestra cómo el conocimiento geológico y minero, y la experiencia del IGME a lo largo de 175 años han contribuido y están contribuyendo a avanzar hacia un futuro sostenible y un planeta habitable. Desde sus inicios y hasta ahora, el IGME se ha caracterizado por tener una visión aplicada y una clara vocación de servicio público, aportando conocimiento y soluciones para esta transición ecológica y para el bienestar de la sociedad, y como tal queda plasmado en este volumen conmemorativo. Quiero agradecer a los editores, Isabel Rábano y Ángel Salazar, el excelente trabajo de coordinación y edición, a Editorial CSIC por el entusiasmo en sacar adelante este libro y, por supuesto, a todas las personas que han contribuido a este volumen.

ANA MARÍA ALONSO ZARZA

Directora del Instituto Geológico y Minero
de España (IGME), CSIC

PRÓLOGO

Presentar este libro significa buscar una respuesta a la pregunta ¿qué es lo que lo hace diferente con respecto a otras obras previas sobre la historia del Instituto Geológico y Minero de España? Las personas que lean este libro son quienes deben dar esa respuesta, pero trataremos de sintetizar a continuación la nuestra.

El primer aspecto que resulta obligado destacar es el de la autoría. Los libros conmemorativos anteriores, con formato de obra colectiva o de obra anónima, fueron diseñados desde los órganos directivos del IGME, se redactaron por los propios miembros de la directiva con la colaboración de un reducido grupo de autores seleccionados. Aunque el formato de este libro sigue siendo el de una obra colectiva, hemos tratado de dotarlo de un cierto carácter coral, dando voz a una pluralidad de autoras y autores que, en su mayoría, son protagonistas o herederos de lo narrado. Esperamos haberlo conseguido.

Escribir la historia de 175 años de una institución como el IGME es, sin duda, un juego de luces y sombras. En este y en todos los libros de contenido histórico hay episodios claros y otros más oscuros, ya sea porque los autores no han sabido iluminarlos o porque no han podido o no han querido hacerlo. En todo relato histórico hay momentos en que la parcialidad o la arbitrariedad humana se imponen. La tentación de obviar lo que ahora no interesa, no gusta, es molesto o conflictivo, volver a pasar de puntillas sobre los pasajes tenebrosos, hacer como si no hubiesen existido, es inevitable. Hemos tratado de no caer en esa tentación y revisar la historia de la institución de manera global y ob-

jetiva, incluyendo lo ocurrido durante la Guerra Civil y los complicados años del primer franquismo. Si la lectora o el lector echa algo de menos, será por nuestra torpeza o por ausencia de datos, no por falta de voluntad.

La historia de las últimas décadas se ha escrito pensando sobre todo en nuestras compañeras y en nuestros compañeros más jóvenes del IGME. Lo que es obvio para las personas más veteranas resulta desconocido para las más noveles, o está tratado en otras obras de un modo marcadamente presentista, más próximo a la propaganda institucional o a la planificación estratégica que al relato objetivo. Así, por ejemplo, el personal más joven de la institución desconoce qué ocurrió con la primera Comisión del Mapa Geológico, creada en 1849 y disuelta en 1859, para fracasar en su intento de construcción del mapa; qué era la desaparecida Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras S. A. y su estrecha vinculación con el IGME, o cómo y cuándo se gestaron los Planes de Desarrollo Económico y Social durante la segunda mitad del siglo XX y el impacto que produjeron en las actividades del organismo.

En los siguientes capítulos del libro se presentan diferentes actividades realizadas por la institución y agrupadas según el objetivo principal de los trabajos. Tratar de presentar todas las actividades desarrolladas por el IGME a lo largo de sus 175 años de historia requeriría de una ardua labor de investigación y ocuparía varios volúmenes. Un objetivo tan ambicioso y enciclopédico supera la capacidad de los editores. Por ello, en lugar de pretender un compendio enciclopédico de lo realizado, se ha optado por presentar una

muestra, que esperamos sea la adecuada para apreciar y valorar convenientemente el trabajo científico-técnico realizado por nuestros predecesores y el compromiso actual del personal de la institución para continuar con la labor.

Se ha procurado que en esa muestra estén representadas las actividades tradicionales del IGME y por las que es más conocido, como son la cartografía geológica, la exploración minera y las aguas subterráneas, pero también algunos trabajos igualmente importantes pero quizás menos conocidos por el público, como la exploración geológica del túnel del estrecho de Gibraltar, la investigación geológica de los lechos marinos, el paleomagnetismo, la hidrogeología en humedales y espacios naturales protegidos, la geotermia, el almacenamiento subterráneo, los estudios de la peligrosidad geológica, el patrimonio geológico, las nuevas tendencias en las investigaciones paleontológicas o las actividades desarrolladas por el IGME fuera de nuestras fronteras.

La investigación en ciencias de la Tierra, como en cualquier otra rama del saber, requiere de la existencia de unas infraestructuras básicas de apoyo, sin las cuales dicha investigación sería inviable y sus resultados se hubieran perdido para siempre. No podía faltar en este libro un apartado dedicado a ellas que, además de las tradicionales, como los laboratorios, el museo y la biblioteca, incluyen en la actualidad los sistemas de información o la litoteca.

En este libro han participado un total de ciento cuarenta y una personas, entre las que se cuentan cuarenta y seis mujeres y noventa y cinco hombres. La mayoría son o han sido

personal del IGME, algunos recientemente jubilados; pero han participado también miembros de otras organizaciones, cuyas contribuciones han resultado siempre imprescindibles para nuestra institución. A todas ellas deseamos agradecer sinceramente su entusiasmo y su colaboración. Sin ellas este libro no hubiera sido posible.

Son varias las personas del IGME que han apoyado de una forma especial a los editores; sin su generosa ayuda nunca se hubiera podido culminar esta tarea. En este sentido vaya nuestro reconocimiento a Bruno Ballesteros Navarro, Juan José Durán Valsero, Juan María Fornés Azcoiti, Juan Antonio López Geta, María Teresa López López, M. Pilar Mata Campo (*), Rosa María Mateos Ruiz, José Francisco Mediato Arribas, David Pulido Velázquez y Ruth Soto Marín. A Ángel García Cortés agradecemos especialmente la lectura crítica del capítulo dedicado a la historia de los 175 años del IGME; sus comentarios y sugerencias han sido esenciales para corregir algunos errores y añadir datos. Queremos expresar también nuestra gratitud al equipo de Editorial CSIC por el interés con que acogió nuestra propuesta. Su directora, Pura Fernández Rodríguez, así como Enrique Barba Gómez y María Sánchez Luque han llevado a cabo una meticulosa producción editorial. Finalmente, agradecemos a Ana María Alonso Zarza, directora del IGME, la confianza que depositó en nosotros al encomendarnos la coordinación del presente volumen.

ISABEL RÁBANO
ÁNGEL SALAZAR

HÉCTOR AGUILERA ALONSO es técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Entre 2006 y 2013 desarrolló su investigación doctoral en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, centrada en la caracterización físico-química de la zona no saturada y en la evaluación del funcionamiento hidrológico del sistema durante periodos de desecación. Desde 2017 desarrolla una labor científico-técnica de apoyo a diferentes proyectos de investigación del Departamento de Aguas y Cambio Global del IGME. A medio/largo plazo, sus intereses y objetivos científico-técnicos van principalmente dirigidos a la aplicación y desarrollo de técnicas híbridas entre modelos físicos y métodos de inteligencia artificial y *machine learning* para mejorar el análisis espacial y temporal de datos hidrogeoambientales, y su integración en productos (por ejemplo, servicios, API, *apps*) que faciliten su uso por parte de gestores, *stakeholders* y la sociedad en general.

Contacto: h.aguilera@igme.es

MIGUEL ÁNGEL ALARCÓN FRÍAS es técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Antes de incorporarse de forma definitiva al IGME, tuvo una dilatada experiencia en una importante empresa privada en el ámbito de la tecnología industrial, donde llegó a ser responsable del Departamento de IT de desarrollo de producto industrial en España. Desde su incorporación al IGME, en el año 2011, ha intervenido en el desarrollo y mantenimiento de diferentes productos IT, como GESTEC, SILAB y otras aplicaciones temáticas de orden más especializado en la geología, con gran impacto en el buen funcionamiento del organismo. Además, ha administrado y contribuido en la mejora de las diferentes bases de datos institucionales de gran relevancia para el IGME.

Contacto: ma.alarcon@igme.es

ENRIQUE ÁLVAREZ ARECES es licenciado en Geología, doctor por la Universidad de Oviedo (2015) y máster en Recursos Geológicos y Geotecnía por esta misma universidad. Desarrolla su investigación en el Instituto Geológico y Mi-

nero de España (IGME, CSIC), donde trabaja como técnico superior especializado de Organismos Públicos de Investigación. Es especialista en rocas y minerales industriales, y dirige proyectos en el campo de la piedra natural, canteras históricas y patrimonio arquitectónico. Entre su producción científica se cuentan numerosos artículos en revistas científicas, y participa como experto en el Comité Técnico de Normalización CTN 41/SC8-Conservación, Restauración y Rehabilitación de Edificios, en la Comisión de Seguimiento del Plan Nacional de Arquitectura Defensiva y en el Global Stone Council (GSC).
Contacto: e.alvarez@igme.es

RAMÓN ARAGÓN RUEDA es licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Granada (1976) y diplomado en Hidrogeología por el IGME-ETS Ingenieros de Minas de Madrid (1978). Inicialmente trabajó como hidrogeólogo de la empresa EPTISA (1978-1986) y, posteriormente, en 1987, fue nombrado jefe de la Unidad Territorial del IGME en Murcia, cargo que ocupó hasta su jubilación en el año 2020. Ha realizado y dirigido numerosos proyectos hidrogeológicos en las cuencas del Segura y del Júcar. Es autor de múltiples colaboraciones en libros y publicaciones científicas relacionadas con las aguas subterráneas. Ha pertenecido a diferentes comisiones y grupos especializados de las administraciones en temas hídricos y medioambientales, y ha sido vocal en los órganos de gobierno y planificación de la Confederación Hidrográfica del Segura en representación del Ministerio de adscripción del IGME.
Contacto: ramonaragon112@gmail.com

ALFONSO ARRIBAS HERRERA es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). En 1993 se adscribió al Museo Geominero, donde ha trabajado tanto en gestión de colecciones como en investigación. Es especialista en mamíferos del Cuaternario, patrimonio geológico (vertebrados) y divulgación científica. Ha dirigido la investigación del yacimiento Fonelas P-1 (IUGS Geological Heritage Site) y es el promotor y coordinador científico-técnico de la Estación Paleontológica Valle del río Fardes del IGME, en Fonelas. Asimismo,

durante tres lustros ha sido el promotor científico-técnico de la conservación y puesta en valor del excepcional registro y patrimonio geológico y paleontológico del Cuaternario de los valles del norte de Granada, y de sus paisajes inalterados, mediante la propuesta de un geoparque de la UNESCO (Granada UGGp, desde verano de 2020).

Contacto: a.arribas@igme.es

LETICIA BAENA RUIZ es contratada temporal en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), donde desarrolla su actividad desde 2016. Es doctora por la Universidad de Granada en el programa de Ingeniería Civil con calificación sobresaliente *cum laude*. Su investigación tiene por finalidad contribuir a la mejora del conocimiento del estado de las masas de agua subterráneas y los ecosistemas asociados, analizando la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación y evaluando el impacto del cambio climático y las estrategias de adaptación que permitan un uso más sostenible de los recursos hídricos en el futuro. Es coautora de 15 artículos del SCI, algunos de los cuales han obtenido menciones especiales en las revistas donde se han publicado por su relevancia y potencial impacto en el ámbito de los recursos hídricos (<https://doi.org/10.3390/w12112971>; <https://doi.org/10.3390/w12112971>). Desde 2016 ha conseguido 4 contratos por concurso de méritos en el IGME que le han permitido formar parte del equipo de trabajo en proyectos competitivos nacionales e internacionales.

Contacto: l.baena@igme.es

ELEUTERIO BAEZA CHICO es geólogo y técnico superior especializado en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Su formación como diplomado en conservación y restauración de bienes culturales le ha permitido desarrollar trabajos en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, Museo Arqueológico Nacional, Instituto de Patrimonio Histórico Español y Museo del Ejército. Ha realizado más de 200 maquetas o dioramas sobre el medio natural. Es autor, además, de más de 80 publicaciones en revistas científicas nacionales e internacionales, así como de la patente de in-

vención n.º 200.501.432 *Proceso de reproducción de fósiles, rocas y minerales y producto obtenido* a favor del IGME.

Contacto: e.baeza@igme.es

BRUNO J. BALLESTEROS NAVARRO es jefe de la Unidad Territorial de Valencia del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Durante 43 años ha desarrollado su vida profesional en diversos países (España, Francia, Italia y Libia), tanto en la empresa privada como en organismos públicos, donde ha adquirido amplia experiencia en investigación geológica e hidrogeológica, y en prospección de hidrocarburos. Inició su carrera profesional en 1980 y en 1989 se incorporó a la sede del IGME en Valencia, de la que es responsable desde el año 2005. Ha dirigido y trabajado en un elevado número de proyectos sobre caracterización de acuíferos, intrusión marina, recarga artificial, hidroquímica, vulnerabilidad y contaminación de recursos hídricos, así como sobre hidrogeología medioambiental y zonas húmedas. Es autor o coautor de más de cien artículos y publicaciones científicas, y ha participado en la elaboración de una veintena de libros relacionados con las aguas subterráneas.

Contacto: b.ballesteros@igme.es

JOSÉ MANUEL BALTUILLE MARTÍN es geólogo, con 45 años de experiencia profesional en el mundo del carbón, los minerales industriales y las rocas ornamentales. Ha desarrollado toda su vida profesional en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) hasta su jubilación en 2022, periodo en el que ha desempeñado el cargo de director de departamento entre 2013 y 2017. En el año 2000 creó la línea de Piedra Natural y Patrimonio Arquitectónico dentro del IGME. Ha colaborado con la Agencia Española de Cooperación Internacional, el Instituto del Patrimonio Cultural de España, la Asociación Española de Amigos de los Castillos, las administraciones de las comunidades autónomas de Andalucía, Aragón, Asturias, Extremadura, Galicia y País Vasco, y distintos organismos oficiales de Argentina, Cuba, Honduras y Mauritania. Es autor de más de 60 libros y capítulos de libros, 150 artículos científicos y un centenar de ponencias en congresos.

Contacto: jm.baltu@yahoo.es

ELISABET BEAMUD AMORÓS es licenciada en Geología y doctora en Ciencias de la Tierra por la Universidad de Barcelona. Es responsable del Laboratorio de Paleomagnetismo de Barcelona (CCiTUB-GEO3BCN, CSIC) desde 2002, que da apoyo a grupos de investigación mediante la aplicación del paleomagnetismo a varias disciplinas de las ciencias de la Tierra, con especial

énfasis en magnetoestratigrafía y magnetotectónica aplicada al estudio de la evolución de cinturones orogénicos y análisis de cuencas. También ha realizado estudios arqueomagnéticos, tanto de datación de material arqueológico como de caracterización de la evolución del campo geomagnético en el pasado, así como estudios sobre mineralogía magnética. Ha sido coordinadora del Comité de Paleomagnetismo de la Sociedad Geológica Española de 2016 a 2021 y es miembro del Institut de Recerca Geomodels y del Grupo de Investigación en Geodinámica y Análisis de Cuencas (GGAC) de la Universidad de Barcelona.

Contacto: bbeamud@geo3bcn.csic.es

MARTA BÉJAR PIZARRO es Científica Titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) y coordinadora del Geohazards InSARlab, adscrito al Grupo de Investigación de Observación de la Tierra, Riesgos Geológicos y Cambio Climático (OBTIER). El principal objetivo de su investigación es contribuir a la mejora del conocimiento de diferentes fenómenos geológicos activos (terremotos, erupciones volcánicas, movimientos del terreno de origen antrópico) y mejorar las estrategias para reducir su impacto. Formó parte del equipo del IGME que participó en la emergencia de La Palma, coordinando el análisis de datos radar para el seguimiento del volcán.

Contacto: m.bejar@igme.es

ALEJANDRO BEL-LAN BALLESTER es doctor en Geología y ha sido investigador del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) hasta su jubilación en el año 2022. Desde 1995 trabajó en el Área de Investigación de Recursos Minerales y Geoquímica y en 2018 fue nombrado jefe de dicha área. Como representante del IGME y desde el año 2018, ha pertenecido al Geochemistry Expert Group de EuroGeo-Survey desde su creación, y ha participado en proyectos europeos como GEMAS. Sus líneas de trabajo están relacionadas con la exploración geoquímica y la investigación de recursos minerales. Ha participado en los trabajos de exploración geoquímica que ha desarrollado el IGME, como el P. E. S. (Programa de Exploración Sistemática del Territorio Nacional), en programas de exploración geoquímica para diversas comunidades autónomas (Cantabria, Extremadura, Andalucía) e internacionales (República Dominicana, Angola). Es coautor de diversas publicaciones, entre las que destaca el *Atlas Geoquímico de España* (2012).

Contacto: alexbellan@telefonica.net

BEATRIZ BENJUMEA MORENO es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de Espa-

ña (IGME, CSIC). Sus líneas de trabajo están relacionadas con los métodos geofísicos, en particular, con técnicas sísmicas y testificación geofísica de sondeos. Otro tema de interés en su trayectoria científica es la integración de información extraída de diferentes métodos geofísicos mediante estadística avanzada. Los campos de aplicación de su investigación son de amplio espectro, destacando los proyectos relacionados con almacenamientos geológicos o con estudios de microzonación sísmica. Es representante del IGME en el Grupo de Expertos de Geología Urbana de la EGS.

Contacto: b.benjumea@igme.es

EDGAR BERREZUETA ALVARADO, doctor ingeniero geólogo, es científico titular en el Instituto Geológico y Minero (IGME, CSIC), donde actualmente, y desde 2009, pertenece al Grupo de Investigación de GeoEnergía. Como especialista en la aplicación de análisis de imagen a la caracterización de materiales con potencial para almacenar CO₂, ha liderado la creación de un sistema autoclave de exposición de rocas a CO₂ en condiciones reales de almacenamiento y un laboratorio de microscopía aplicada para identificación automatizada de parámetros mineralógicos. Como resultado de su trabajo científico, es autor de más de 45 artículos del SCI y de más de un centenar de contribuciones a congresos. Además, ha participado en proyectos internacionales (proyectos de la UE) y nacionales (planes nacionales), ha formado investigadores, dirigido TFM y TFG y coordinado (2010-2013) una red iberoamericana sobre tecnologías limpias (CYTED).

Contacto: e.berrezueta@igme.es

FERNANDO BOHOYO MUÑOZ es jefe de área (científico titular) e investigador principal del Grupo de Investigación de Geofísica y Geología del Subsuelo (GEOFSUB) del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), donde desarrolla su labor investigadora en Tectónica, Geofísica Aplicada y Geología Marina. Actualmente es colaborador de la Agencia Estatal de Investigación como coordinador del Subárea de Investigación Polar. Su investigación se centra en el estudio integral de la evolución geodinámica del Arco de Scotia (Antártida) a partir de datos geofísicos, petrológicos y estructurales. Otras áreas de investigación incluyen los márgenes de Iberia y la cordillera Bética. Ha participado en 43 proyectos de investigación del Programa Nacional de Investigación Español, el Programa Marco de la Comisión Europea y convenios-contratos, y liderado 9 de ellos. Ha realizado quince expediciones oceanográficas, cuatro como jefe de campaña. Ha

sido coproponente del sondeo profundo IODP 902 Iceberg Alley, Mar de Scotia (Antártida). Formó parte de las delegaciones españolas en las reuniones técnicas para la ampliación de la plataforma continental Española (2006 y 2007) y ante la ONU. Delegado nacional del Antarctic Seismic Data Library System (SCAR). Miembro del comité editorial del International Bathymetric Chart of the Southern Ocean SCAR/GEB-CO. Representante nacional alternativo en European Polar Board. Ha sido vocal de Geociencias del Comité SCAR Nacional. Miembro de la Sección de Geofísica Aplicada de la Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica.

Contacto: f.bohoyo@igme.es

ESTER BOIXEREU VILA es técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Es licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad de Barcelona y doctora por la Universidad Politécnica de Madrid. Ha desarrollado su carrera profesional en el IGME desde que ingresó, como becaria, en el año 1985. Sus líneas de trabajo están relacionadas con el estudio de los recursos minerales, en concreto, ha realizado trabajos de cartografía metalogenética. Otra de sus líneas de investigación es la historia de la geología y de la minería. Es miembro de la Junta Directiva del ICOG y de la SEDPGYM, y miembro de la Comisión Internacional de Historia de la Geología de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Es editora de la revista *Tierra y Tecnología* y también lo fue de la revista *De Re Metallica*. En la actualidad, es IP del proyecto de investigación europeo START sobre el aprovechamiento de las tetraedritas como material termoeléctrico.

Contacto: e.boixereu@igme.es

GUADALUPE BRU CRUZ es personal laboral contratado en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Es ingeniera geóloga por la Universidad Complutense de Madrid y obtuvo su doctorado en Ciencias del Medio Ambiente por la Universidad de Almería en 2018. En 2019 fue galardonada con el Premio de Tesis Doctoral en Geofísica J. García-Siñeriz. Su trabajo se centra en la identificación, monitorización y caracterización de peligros asociados a procesos geológicos mediante técnicas de teledetección y modelización numérica. Participó en las labores de seguimiento de la erupción volcánica de La Palma (2021).

Contacto: g.bru@igme.es

PABLO CALVÍN BALLESTER es licenciado en Geología y doctor por la Universidad de Burgos. Su línea de investigación se ha centrado en la aplicación del paleomagnetismo y las fábricas mag-

néticas a la resolución de problemas tectónicos y estructurales, especialmente los relacionados con la evolución de cuencas sedimentarias en distintas zonas de la península ibérica y de la cordillera del Atlas (Marruecos), así como en el estudio de la mineralogía magnética de rocas afectadas por remagnetizaciones químicas. Tras la realización de la tesis doctoral, fue contratado primero como personal técnico de apoyo (2018-2020, MINECO) en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Burgos y a continuación como investigador posdoctoral en el IGME con la ayuda Juan de la Cierva-Formación (2021-2023, MINECO). Actualmente es el secretario de la Comisión de Paleomagnetismo de la Sociedad Geológica de España y miembro del Grupo de Investigación de Geología Aplicada-GeoAp del Gobierno de Aragón.

Contacto: p.calvin@igme.es

CARLOS CAMUÑAS PALENCIA es licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid y máster en Hidrogeología. Desde 2014 trabaja en el Instituto Geológico y Minero (IGME, CSIC) como técnico superior especializado de OPI. Colabora en numerosos proyectos y convenios con confederaciones hidrográficas, como la del Guadiana, la del Miño-Sil, o con el Consejo Insular de Aguas de La Palma, en los que realiza varios informes hidrogeológicos anuales. Ha prestado servicio en distintas entidades públicas y asesoramiento a la empresa pública ADIF en proyectos de diseño y construcción de obras públicas lineales y mejora del conocimiento de los acuíferos profundos. En 2019 fue nombrado miembro del Consejo Asesor del Club del Agua Subterránea. Desde el año 2020 es representante del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades tanto en la Junta de Gobierno como en el Consejo del Agua de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Ha participado en la emergencia de la erupción del volcán en la isla de La Palma en 2021 apoyando al equipo con vuelos de dron y desde 2022 es miembro del Servicio de Trabajos Aéreos (STA) del IGME y piloto de drones.

Contacto: c.camunas@igme.es

LUIS CARCAVILLA URQUÍ es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). La investigación en patrimonio geológico y geoconservación es su principal línea de trabajo. Ha participado en la declaración de más de cincuenta espacios naturales protegidos españoles y en la redacción de diversas leyes nacionales y autonómicas. Ha sido secretario del Comité Español de Geoparques durante tres años y forma parte del comité científico de cuatro Geoparques Mundiales de la UNESCO

españoles. Ha participado en proyectos internacionales de patrimonio geológico con los servicios geológicos de Colombia, Cuba, Brasil y Chile, y ha sido *vice-chair* del SCAR Working Group on Geological Heritage and Geoconservation (EG-GEOCON), que coordina las políticas de geoconservación y propone medidas concretas al Tratado Antártico.

Contacto: l.carcavilla@igme.es

SILVIA CERVEL DE ARCOS es licenciada en Ciencias Geológicas y técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). En 2006 ingresó en el IGME como ayudante de investigación I+D+i con destino en la Litoteca de Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba). Entre los años 2013 y 2017 ha trabajado en la modelización geológica de estructuras y yacimientos subterráneos en el marco del almacenamiento geológico profundo con la elaboración de informes técnicos. Ha participado en la campaña oceanográfica en la Antártida como técnica de sistema de información geográfica para la exploración de emisiones submarinas de fluidos hidrotermales, mineralizaciones y geobio-sistemas asociados. Actualmente está adscrita al Servicio de Bases de Datos Institucionales del Área de Sistemas de Información Geológica, diseñando e implementando modelos de datos espaciorrelacionales así como desarrollando y manteniendo páginas y formularios web.

Contacto: s.cervel@igme.es

ANTONIO JUAN COLLADOS LARA es investigador posdoctoral del Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI) en la Universidad de Granada. Desarrolla investigaciones en hidroclimatología (ciclo hidrológico) con el objetivo de evaluar impactos y medidas de adaptación al cambio climático y global para el análisis de estrategias de gestión sostenibles en sistemas de recursos hídricos, incluyendo las componentes subterránea y superficial (y su uso conjunto). Es coautor de 32 artículos del SCI (más del 55% como primer autor o de correspondencia y más del 70% de revistas en Q1). Algunos de estos trabajos han sido citados en informes elaborados por paneles de expertos sobre cambio climático (por ejemplo, MedECC o IPCC). Su tesis doctoral, desarrollada en el IGME, obtuvo el III Premio a la mejor tesis doctoral sobre cambio climático en el arco mediterráneo español de la Catedra de Cambio Climático de la UPV. La tesis doctoral y las investigaciones posdoctorales realizadas en los tres años posteriores le permitieron obtener también el Premio Extraordinario de Doctorado de la Universidad de Granada. Ha obtenido

dos contratos posdoctorales competitivos, uno para la formación inicial de doctores (Juan de la Cierva-Formación) y otro de perfeccionamiento (PAIDI).

Contacto: ajcollados@gmail.com

MARÍA DEL MAR CORRAL LLEDÓ es doctora ingeniera de Minas por la Universidad Politécnica de Madrid y especialista en Hidrogeología por la Universidad Complutense de Madrid. Perteneció a la escala de científicos titulares de OPI y desarrolla su trabajo en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde 2010 a 2012 fue directora adjunta del Departamento de Investigación en Recursos Geológicos del IGME, y de 2012 a 2017, directora de dicho departamento. Actualmente coordina el Grupo de Investigación de Aguas Minerales y Termales. Su principal línea de investigación está relacionada con las aguas minerales y termales. Ha dirigido distintos proyectos, la mayoría relacionados con este tema. Ha publicado varios libros y artículos relacionados con los recursos hidrominerales. Además, ha impartido ponencias y cursos.

Contacto: mm.corral@igme.es

EMILIO CUSTODIO GIMENA fue catedrático de la Universidad Politécnica de Cataluña, académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y director general del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) entre 1997 y 2004. A lo largo de su dilatada vida profesional, compaginó la docencia y la investigación. En 1966 colaboró en la fundación del Curso Internacional de Hidrología Subterránea, del que fue director, así como de la Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Fue autor o coautor de veinticinco libros y de más de quinientos artículos y comunicaciones científicas. Ha sido presidente de la Asociación Española de Hidrogeólogos (AEH) (1984-1987), de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) (2000-2004) y del grupo español de esta asociación (AIH-GE) (1990-1994). En 1995 se le concedió la Medalla Narcís Monturiol de la Generalitat de Cataluña por méritos en investigación. Fue doctor *honoris causa* por la Universidad Nacional de Tucumán y profesor honorario de la Universidad Nacional del Litoral de Santa Fe. En 2008 la Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD) le proclamó Hidrogeólogo Ilustre de América Latina, y también en ese mismo año la AIH en Toyama (Japón) le distinguió como miembro honorario vitalicio. En 2009 fue nombrado profesor honorario de la Universidad Nacional de La Pampa de Santa Rosa (Argentina). Falleció el

15 de agosto de 2023, durante la preparación del presente libro.

ÁFRICA DE LA HERA PORTILLO es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), donde desarrolla su actividad actualmente como investigadora principal de los proyectos europeos LIFE-IP-Duero (2020-2026), STARS4Water (Supporting STakeholders for Adaptive, Resilience and Sustainable Water Management) (2022-2026) y el proyecto patrocinado por el Programa Internacional de Geociencias de la UNESCO, IGCP-730 *Hydrogeological significance of Mediterranean Geoparks* (2021-2025). Con una trayectoria de participación en más de una decena de proyectos de investigación nacionales y europeos, su línea de trabajo es la hidrogeología ambiental desde una perspectiva multidisciplinar con especial énfasis en los procesos hidrogeológicos que tienen lugar en los ecosistemas dependientes de aguas subterráneas y entre estos y las aguas superficiales y subterráneas. Ha realizado estancias en centros de investigación extranjeros y colaborado en un buen número de actividades de investigación en las que destacan la interacción con actores y la coordinación de grupos de trabajo generados en el marco de los citados proyectos.

Contacto: a.delahera@igme.es

ALMUDENA DE LA LOSA ROMÁN es licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid (UCM, 1999). Actualmente es técnica especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Su trayectoria investigadora en el IGME comienza en 2004-2005 con una beca de proyecto en «hidroquímica ambiental» en la Dirección de Hidrogeología y Aguas subterráneas. Desde 2006 desarrolla su labor científico-técnica dando apoyo en diferentes proyectos de investigación relacionados con aguas subterráneas, estudios de la ZNS, karst e hidroquímica y contaminación del Departamento de Aguas y Cambio global del IGME. Además, colabora activamente en temas de divulgación relacionados con las aguas subterráneas elaborando publicaciones y guías. En la actualidad es coordinadora nacional del Hidrogeodía (actividad de divulgación de las aguas subterráneas promovida por la AIH-GE) desarrollada desde 2017.

Contacto: a.delalosa@igme.es

JOSÉ ANTONIO DE LA ORDEN GÓMEZ es técnico superior especializado de OPI y científico titular en excedencia en el IGME, CSIC, donde trabaja como jefe de proyectos técnicos. Es ingeniero de minas desde 1989, y máster en Hidrología General y Aplicada en 1995. En 2006

adquirió el grado de doctor por la Universidad Politécnica de Madrid, con una tesis sobre el tema de la recarga artificial de acuíferos. También es licenciado en Derecho por la Universidad Complutense de Madrid en 2015. Ha desarrollado su actividad profesional especialmente en el campo de los recursos hídricos, primero en la empresa privada durante un año y medio, en particular en el campo del agua y la minería de rocas ornamentales. Desde 1994 trabaja en el Instituto Geológico y Minero de España, donde desarrolla su labor profesional en el campo de la hidrogeología, en concreto en la modelización matemática de acuíferos y la recarga artificial. Ha participado en siete proyectos de investigación con financiación competitiva y veinte proyectos científico-técnicos en los últimos años. Es autor de un libro sobre recarga artificial de acuíferos, once capítulos de libros relacionados con la hidrogeología, cuatro publicaciones en revistas y treinta publicaciones en congresos o jornadas, de las cuales siete lo han sido en congresos internacionales, incluyendo la reunión de 2005 de la Sociedad Geológica Americana y los simposios internacionales sobre Gestión de la Recarga (MAR).

Contacto: ja.delaorden@igme.es

ELISABETH DÍAZ LOSADA, licenciada en Geología, es técnica especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde 2003 hasta 2021 sus líneas de trabajo han sido la investigación hidrogeológica, riesgos geológicos, geología ambiental y geomatemáticas. En 2021 asumió el puesto de responsable de la Unidad de Cultura Científica y de la Innovación del IGME desde donde, en la actualidad, desarrolla las labores de divulgación y comunicación científica de las actividades de este organismo, con el fin de dar a conocer el papel esencial que tiene la Geología para la sociedad. También tiene encomendada la gestión de las redes sociales de la institución y el enlace con los medios de comunicación. En mayo de 2023 recibió el premio CSIC-Fundación BBVA de Comunicación por su participación en la difusión del desarrollo y evolución de la emergencia volcánica provocada por la erupción de Cumbre Vieja (La Palma).

Contacto: elisabeth.diaz@igme.es

ENRIQUE DÍAZ MARTÍNEZ es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Geólogo investigador desde 1998, ha trabajado en proyectos de geoconservación, incluyendo inventarios, legislación, gestión, formación, asesoría y divulgación al público a partir de 2004. Los resultados de sus investigaciones incluyen más de doscientas

publicaciones científicas y más de treinta publicaciones de divulgación científica. Ha trabajado durante más de veinte años en cargos relacionados con la geoconservación en la Sociedad Geológica de España y su comisión de patrimonio Geológico, en la Asociación Internacional para la Conservación del Patrimonio Geológico (ProGEO), el Grupo de Especialistas en Patrimonio Geológico de la Comisión Mundial de Áreas Protegidas de la UICN, el Grupo de Expertos en Patrimonio Geológico de la Asociación Europea de Institutos Geológicos (EuroGeoSurveys) y el SCAR Expert Group on Geological Heritage and Geoconservation, que coordina las políticas de geoconservación y propone medidas concretas al Tratado Antártico. Contacto: e.diaz@igme.es

ANDRÉS DíEZ HERRERO es doctor en Ciencias Geológicas y máster en Hidrología General y Aplicada. Es además profesor de investigación en el Departamento de Riesgos Geológicos y Cambio Climático del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), y coordinador del Grupo de Investigación Eventos Geológicos Extremos y Patrimonio. Sus líneas de investigación se centran en el análisis y prevención de la peligrosidad y el riesgo por crecidas, avenidas e inundaciones fluviales mediante métodos hidrológico-hidráulicos, histórico-documentales, geológico-geomorfológicos y paleohidrológicos (sedimentológicos, dendrocronológicos y liquenométricos), en el marco de los escenarios del cambio climático y global, y la transición ecológica (conservación y restauración fluvial). Todo ello aplicado a la adopción de medidas de mitigación del riesgo, tanto preventivas (ordenación del territorio y planificación urbana, educación en el riesgo, gestión patrimonial) como correctoras (gestión de emergencias). Para más información sobre obras singulares, la producción científico-técnica y proyectos desarrollados, véase: www.andresdiezherrero.es. Contacto: andres.diez@igme.es

JOSÉ ANTONIO DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ es técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Entre 1994 y 2005 trabajó en el sector privado contratado por varias empresas dedicadas a la hidrogeología, la minería, la geotecnia y el medioambiente. A finales de 2005 empezó a trabajar en el Instituto Geológico y Minero de España, siempre en la Unidad Territorial del IGME de Valencia. Su labor profesional dentro de esta institución se ha centrado en la investigación en hidrogeología y patrimonio hidrogeológico, y en la redacción de estudios e informes preceptivos para otros organismos públicos. En

2006 fue galardonado con una Mención Especial en el VII premio Carlos Ruiz Celaá, en 2016 obtuvo una Mención de Honor de Trabajos de Divulgación Científica, y recientemente, en marzo de 2023, recibió el Premio Manuel Fernández de Castro al mejor artículo publicado en el *Boletín Geológico y Minero* durante 2021. Contacto: ja.dominguez@igme.es

MARÍA DRUET VÉLEZ es técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) y profesora asociada en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. Sus líneas de trabajo se centran en el campo de la prospección geofísica, la tectónica y la geomorfología, especialmente enfocadas en el avance del conocimiento de la geodinámica de los márgenes continentales. Ha participado en veintidós campañas oceanográficas en los márgenes continentales de la península ibérica, la Antártida, el margen norte de la placa de Caribe y el continental patagónico, y en veinticuatro proyectos de investigación financiados fundamentalmente por el Programa Nacional de Investigación Español, la Unión Europea (Programa LIFE+), el IGME, el Instituto Español de Oceanografía (IEO, CSIC) y la Universidad Complutense de Madrid. Su trayectoria ha estado siempre vinculada al Plan Cartográfico de la Zona Económica Exclusiva de España, desde su primera participación como estudiante en 2001, con la participación en diez campañas y la realización de su tesis doctoral en el marco de este proyecto. Contacto: m.druet@igme.es

JUAN JOSÉ DURÁN VALSERO es profesor de investigación en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde su llegada al IGME en 1984, ha ocupado diversos cargos, entre otros los de director en el Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica y en el Departamento de Investigación en Recursos Geológicos. Sus líneas de trabajo han estado relacionadas con la hidrogeología, el karst, el Cuaternario y la geología ambiental. Es codirector de la Unidad Asociada, entre el IGME y la Universidad de Málaga, de Estudios Hidrogeológicos Avanzados. Ha desarrollado una importante labor de divulgación científica a través de libros, exposiciones, vídeos y charlas y conferencias, y ha recibido por ello varios premios. En la actualidad, es coordinador del Grupo de Investigación Hidrogeología Ambiental y Cambio Global (HYGLO-Lab). Contacto: jj.duran@igme.es

JAVIER ESCUDER VIRUETE es licenciado en Geología por la Universidad Complutense de Madrid y doctor en Ciencias Geológicas. Acumula

más de veinticinco años de experiencia adquirida en proyectos sobre la evolución estructural, magmática y metamórfica de los cinturones orogénicos Alpino, Varisco europeo, Caribeño, Andino y Eburneano de África meridional, desarrollada en España, República Dominicana, Haití, Costa Rica, Nicaragua, Argentina y Angola. En España e Iberoamérica ha participado en proyectos de I+D, de infraestructura geológica y de cooperación, centrados en la cartografía geotemática, geología estructural, petrología ígnea y metamórfica, recursos minerales, neotectónica y riesgos geológicos. Estos proyectos fueron financiados por el Gobierno de España, el Programa SYSMIN de la Unión Europea, el Programa FONDOCYT del Gobierno dominicano y el IGME, donde trabaja desde 2006 y actualmente como profesor de investigación. En el Proyecto PLANAGEO de Angola, participó en la redacción de la propuesta técnica de la UTE y fue responsable del levantamiento geológico entre 2013 y 2018, incluyendo la realización de varias hojas geológicas a escala 1:250 000. Es autor de numerosos artículos en revistas del SCI, capítulos de libros, memorias y mapas geológicos, así como de contribuciones en congresos nacionales e internacionales. Contacto: j.escuder@igme.es

PABLO EZQUERRO MARTÍN es doctor por la Universidad Politécnica de Madrid. Desde 2015 desarrolla su labor investigadora en el Departamento de Riesgos Geológicos y Cambio Climático del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) dentro del Laboratorio de Radar y de Modelización de Riesgos Geológicos (InSARLab). Sus líneas de trabajo están relacionadas con la interferometría radar (InSAR) y los peligros geológicos, concretamente con la subsidencia del terreno asociada a cambios en las masas de agua subterránea. Participó en el equipo de asesoramiento científico durante la erupción volcánica de La Palma (2021). Contacto: p.ezquerro@igme.es

PAULA FERNÁNDEZ-CANTELI ÁLVAREZ es doctora ingeniera de Minas. Pertenece al Grupo de Investigación de GeoEnergía del Departamento de Recursos Geológicos para la Transición Ecológica del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Inició su actividad en el IGME en el año 2000, con un intermedio entre 2007-2016 para trabajar en una compañía internacional de recursos energéticos en Europa y Asia. Actualmente, su actividad se centra en el almacenamiento geológico, y es responsable de diversos proyectos nacionales y europeos. Pertenece al Comité Ejecutivo de la Red Europea de Excelencia del Almacenamiento Geológico

de CO₂, es líder del Grupo de Almacenamiento Geológico de CO₂ de la Plataforma Española del CO₂, representante del IGME en el Grupo de Expertos de GeoEnergía de EuroGeoSurveys y *co-chair* en el Subgrupo de Almacenamiento Geológico de CO₂.

Contacto: paula.canteli@igme.es

MARTÍN FERNÁNDEZ GONZÁLEZ es licenciado en Ciencias Químicas por la UCM (1968) y obtuvo el grado de doctor en Ciencias por la misma universidad en 1977 con la tesis «Estudio de los grupos OH en silicatos laminares. Implicaciones estructurales», realizada en el entonces Instituto de Edafología y Biología Vegetal, hoy Instituto de Ciencias Agrarias (ICA, CSIC). Como complemento de su formación científica disfrutó de una beca de la IAESTE (Asociación Internacional de Estudiantes Técnicos) en la empresa minera Outokumpu OY, en Kokkola, Finlandia (1968); otra del antiguo Ministerio de Ciencia que desarrolló en el Instituto de Edafología y Biología Vegetal (1968-1972), y una tercera del DAAD (Servicio Alemán de Intercambio Académico) en el Instituto de Química Inorgánica de Múnich (1972-1973). Desde 1974 hasta su jubilación 2011 trabajó como técnico superior en el Área de Laboratorios del IGME en Madrid y Tres Cantos (Laboratorio de Microsonda, 1974-1998; y Laboratorio de Química y Geoquímica, 1998-2011). Su actividad ha estado principalmente relacionada con ciencias de la Tierra, a través de proyectos y estudios de geología y minería propios del IGME, y con trabajos de apoyo a empresas privadas y a particulares desde el punto de vista analítico.

JOSÉ MIGUEL FERNÁNDEZ PORTAL, geólogo por la Universidad de Granada, desde 2004 desarrolla su labor profesional en la empresa privada y en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Sus líneas de trabajos son la hidrogeología, los recursos geológicos y la minería. Especialmente relevante ha sido su participación en proyectos relacionados con las aguas minerales y termales tanto a nivel nacional como en comunidades autónomas. Dentro de su labor divulgadora ha resultado premiado en varios concursos de fotografía y sus imágenes ilustran diferentes libros y publicaciones científicas.

Contacto: josemifp@hotmail.com

JORGE FERNÁNDEZ SUÁREZ es licenciado en Geología y doctor por la Universidad de Oviedo, en la Escuela Superior de Ingenieros de Minas desde el año 2013, y por la Universidad de Sevilla, en la Facultad de Historia, desde 2021. Ha sido responsable de geología y minería en varias empresas mineras, y en la actualidad es técnico su-

perior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). En este organismo ha participado y dirigido varios proyectos relacionados con la minería de rocas y minerales industriales, entre los que destaca las *Cartas de Rochas e Minerais Industriais de Angola (CARMINA)*, dentro del Plan Nacional de Geología de Angola (PLANAGEO), y ha publicado de varias cartografías a escala regional en España, la piedra natural y la cantería histórica asociada al patrimonio arquitectónico.

Contacto: j.fernandez@igme.es

MERCEDES FERRER GIJÓN es científica titular y jefa de proyectos técnicos en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Especialista en ingeniería geológica y en riesgos geológicos, ha dedicado gran parte de su carrera al estudio de los movimientos del terreno, con especial dedicación a los paleodeslizamientos y a los grandes deslizamientos prehistóricos de las islas Canarias. Ha dirigido y participado en numerosos proyectos técnicos y de investigación sobre deslizamientos, nacionales e internacionales, principalmente en Argentina y países de Centroamérica. Ha impartido conferencias sobre la temática en varias universidades e instituciones en España y el extranjero. Ha sido profesora de mecánica de rocas e ingeniería geológica en la Facultad de Geología de la UCM durante más de 25 años. Ha recibido el premio E.B. Burwell de la Sociedad Geológica de América por su contribución a la ingeniería geológica y ambiental, y un premio de la Real Academia de Doctores por su tesis doctoral.

Contacto: m.ferrer@igme.es

JUAN MARÍA FORNÉS AZCOITI es graduado y doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Diplomado en Hidrogeología por la misma universidad. Ha sido becario del Programa de Formación de Personal Investigador del entonces denominado *Ministerio de Educación y Ciencia*. Durante ese periodo realizó la tesis doctoral titulada «Hidrología de algunas lagunas de Castilla-La Mancha», bajo la dirección de Ramón Llamas. Ha participado en numerosos proyectos de investigación relacionados con la hidrogeología, tanto nacionales como internacionales; uno de ellos, el proyecto Aguas Subterráneas de la Fundación Botín, tuvo un impacto social nada despreciable tanto en España como fuera de nuestras fronteras. Las líneas de investigación que ha desarrollado se han centrado en distintos aspectos relacionados con las aguas subterráneas: protección y contaminación de acuíferos, relación entre las aguas subterráneas y los humedales, difusión y educación ambiental sobre las aguas subterrá-

neas, escenario jurídico de las captaciones de aguas subterráneas en España, y cambio climático y recursos hídricos. Es autor o coautor de un centenar de publicaciones entre libros, artículos científicos y comunicaciones en congresos. Actualmente es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Contacto: jm.fornes@igme.es

ELENA GALINDO RODRÍGUEZ es jefa de proyectos técnicos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Entre 1993 y 2013 trabajó en temas relacionados con la hidrogeología, destacando su actividad en cartografía hidrogeológica, así como en la dirección y participación en proyectos de actualización del conocimiento, infraestructura y protección de las aguas subterráneas en las islas Canarias, en concreto en Gran Canaria. Desde el año 2013 hasta a la actualidad colabora en proyectos de investigación, a nivel regional y nacional, de aguas minerales y termales, en concreto sobre la definición del origen de su mineralización y el establecimiento de dominios hidrominerales. Es coordinadora de los informes de aguas minerales del IGME. Además, realiza los informes necesarios encomendados por la Ley de Minas para la declaración y la autorización del aprovechamiento de aguas minerales en todo el territorio nacional. Entre sus últimas publicaciones destacan *Andalucía y sus aguas minerales y termales*, fruto del convenio de colaboración con la Administración de dicha comunidad autónoma.

Contacto: e.galindo@igme.es

JOSÉ LUIS GARCÍA ARÓSTEGUI es científico titular del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), y profesor asociado de Hidrología en el Departamento de Ecología e Hidrología de la Universidad de Murcia. Sus líneas principales de investigación están relacionadas con la hidrogeología y aguas subterráneas, especialmente en zonas semiáridas, e incluyen problemas de explotación intensiva, intrusión marina y contaminación de origen agrario. Ha liderado consorcios internacionales sobre arsénico en aguas subterráneas en Bolivia, financiados por cooperación española (AECID). Asimismo, ha dirigido el consorcio internacional del proyecto europeo AQUIFER (1,6 M€), de nueve socios de tres países, cofinanciado por el Programa Interreg SUDOE. Es miembro del Submarine Groundwater Discharge International Advisory Group en el marco del UNEP/GEF MedProgramme de la UNESCO, y del Comité Científico Asesor del Mar Menor.

Contacto: j.arostegui@igme.es

JESÚS GARCÍA CRESPO, licenciado en Ciencias Geológicas, es técnico especializado del Instituto

Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) dentro del Grupo de Investigación de Geoenergía. Su trabajo en el IGME se ha desarrollado en torno a la aplicación de sistemas de información geográfica a la geología, contribuyendo al mapa geológico digital a escala 1:50 000, al mapa digital continuo de España, al análisis de datos y generación de cartografía relacionada con los recursos minerales y almacenamiento geológico, y a la construcción de modelos geológicos 3D en áreas como la minería, los recursos energéticos, la captura y secuestro de carbono y las amenazas naturales. Actualmente trabaja en proyectos tanto europeos como nacionales, relacionados principalmente con el almacenamiento geológico de CO₂ e hidrógeno. Contacto: garcia.crespo@igme.es

CELESTINO GARCÍA DE LA NOCEDA MÁRQUEZ es ingeniero de minas. Desde hace 46 años trabaja en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Su actividad en el IGME se inició en el campo de las aguas subterráneas en las cuencas altas del Júcar y del Segura y, posteriormente, en la del Ebro. En 1982 comienza su actividad en el campo de la energía geotérmica y, desde 1984, es responsable de los proyectos de investigación en esta área realizados por el IGME. Durante estos años ha compatibilizado la investigación geotérmica con la hidrogeológica, y ha participado en numerosos proyectos llevados a cabo por el IGME. Cabe destacar los proyectos que ha desarrollado en Cataluña, Galicia, Canarias, Andalucía, Murcia o Mallorca. Ha participado también en diversos proyectos de la Unión Europea en temas de energía geotérmica y ha sido miembro del grupo de expertos que han participado en la selección de proyectos tanto de I+D como de demostración. Es coordinador de los Grupos de Trabajo de Geotermia Profunda y Recurso de la Plataforma Tecnológica y de Innovación Geotermia-GeoPlat y vocal del Club del Agua Subterránea. Ha participado en numerosas reuniones tanto nacionales como internacionales relacionadas con sus líneas de investigación y es autor de un gran número de comunicaciones, ponencias y artículos. Contacto: c.garcia@igme.es

ARTURO GARCÍA GARCÍA es graduado de Minas y Energía. Desde 2020 forma parte del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) donde desempeña labores como prospector geofísico y da soporte en las tareas técnicas asociadas dentro del Grupo de Investigación de Geofísica y Geología del Subsuelo (GEOFSUB). Contacto: arturo.garcia@igme.es

JESÚS GARCÍA GARZÓN es desde 1971 ingeniero de minas por la Universidad Politécnica

de Madrid. En 1978 defendió su tesis «Concentración por extracción orgánica del níquel contenido en disoluciones de lixiviación de minerales pobres», por la que recibe el Premio Extraordinario de Doctorado. Desde 1972 hasta su jubilación ha sido profesor en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid como profesor encargado de curso (1972-1982), catedrático interino (1982-1984) y profesor titular de Universidad (1984-2013). Ha sido también funcionario del Cuerpo Especial de Ingenieros de Minas del Ministerio de Industria y Energía (1976-1990). En el IGME, ha ocupado los puestos de jefe del Laboratorio de Geocronología (1972-1980) y jefe de sección del Área de los Laboratorios Generales (1980-1990). También ha sido responsable del Área de Pirotecnia del Laboratorio oficial Madariaga, Universidad Politécnica de Madrid-Ministerio de Industria y Energía (1999-2013).

JOSE LUIS GARCÍA LOBÓN es doctor en Ingeniería de Minas por la Universidad Politécnica de Madrid. Ha trabajado ampliamente en la adquisición, tratamiento e interpretación de campañas geofísicas a partir de métodos electromagnéticos, gravimétricos, sísmicos, etc., para la interpretación estructural y estudios mineros e hidrogeológicos. Tiene amplia experiencia en la redacción de proyectos y contratos, control de calidad y seguimiento, procesamiento de estudios geofísicos aerotransportados (magnético-radiométrico-EM), y en la interpretación de datos aerogeofísicos y geofísicos terrestres y realización de modelos realísticos con una correcta interpretación de la información del subsuelo. Ha participado en numerosos estudios de cartografía de favorabilidad mineral e identificación de objetivos en zonas de España y Sudamérica. En la última década, ha ejercido como director del proyecto PLANAGEO, realizando tareas de control de calidad y seguimiento, procesamiento e interpretación de levantamientos geofísicos aerotransportados (magnético-radiométrico-EM) y cartografía geofísica/geológica, además de la interpretación estructural, cartografía de favorabilidad mineral e identificación de objetivos en Angola (cinturón cuprífero del *Lufilian Arc*, formaciones de Hierro Bandeado-*BIFs*, *Greenstone belts* de Au, Carbonatitas y Kimberlitas). Contacto: jl.garcia@igme.es

OLGA GARCÍA MENÉNDEZ es titulada superior de actividades técnicas y profesionales en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Licenciada en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Madrid y doctora por

la Universitat Jaume I de Castellón, su actividad profesional se ha desarrollado en el campo de la hidrogeología. Sus líneas de trabajo están relacionadas con la caracterización hidrogeológica y la observación y vigilancia de acuíferos, la hidrogeoquímica, la contaminación y recuperación de acuíferos, y las bases de datos hidrogeológicas. Su trabajo se ha desarrollado desde la Unidad Territorial de Valencia del IGME, la Unidad Asociada IGME-Universitat Jaume I para el Estudio de Acuíferos Costeros, la Universitat Jaume I y la sede central del IGME en Madrid. También ha ejercido como docente en institutos públicos de la Comunitat Valenciana y la Comunidad de Madrid.

Contacto: o.garcia@igme.es

GUIOMAR GARRIDO ÁLVAREZ es profesora e investigadora en la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). En el año 2001 obtuvo una beca del IGME para la elaboración de su tesis doctoral sobre el estudio taxonómico de los grandes mamíferos del yacimiento de Fonelas P-1 (colección 2001-2002). Hasta 2014 fue personal del IGME vinculada bajo distintos contratos de investigación en el estudio integral de Fonelas P-1 y en el desarrollo de la EPVRF. Es coautora de ocho nuevos taxones de mamíferos extintos (<http://hesperomys.com/h/42621>). En la actualidad, sus líneas de trabajo se centran en el estudio de las dispersiones de mamíferos durante el Cuaternario, así como en la búsqueda y análisis de estrategias didácticas que permitan un aprendizaje integrado de las ciencias de la Tierra. Asimismo, coordina el proyecto divulgativo sobre historia de la ciencia a través de la imagen en el Gabinete del Grabado.

Contacto: guiomar.garrido@unir.net

JUAN DE DIOS GÓMEZ GÓMEZ es ingeniero de minas por la Universidad Politécnica de Madrid y actualmente jefe del Servicio de Técnicas Hidrogeológicas en el Instituto Geológico y Minero (IGME, CSIC), donde, a lo largo de 26 años, ha realizado tanto trabajos de investigación como otros de carácter más técnico-científico de asesoramiento a distintas administraciones públicas. Sus principales trabajos y líneas de investigación se centran en la modelación del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, intrusión marina, calidad y contaminación de aguas subterráneas, aplicabilidad de la Directiva Marco, hidrogeología regional y garantías para el abastecimiento urbano, con trabajos centrados principalmente en las cuencas del Guadiana, Segura, Júcar, Ebro, Guadalquivir y Mediterráneas Andaluzas. En los últimos años ha focalizado su participación en proyectos relativos a la evaluación de impactos del cambio climático en

sistemas de recursos hídricos, propagación de sequías y estrategias de adaptación. Es representante del IGME en el Grupo de Expertos de Recursos Hídricos (WREG) de EuroGeoSurveys, y en la Asociación de Servicios Geológicos y Mineros Iberoamericanos (ASGMI).

Contacto: j.dedios@igme.es

FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ SANZ es investigador científico en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Dirige el Grupo de Investigación Geología Aplicada a los Recursos Marinos y de Medios Extremos del IGME. Sus líneas de trabajo están relacionadas con la mineralogía, petrología, geoquímica y metalogénesis, especialmente en mineralización de aguas profundas como carbonatos derivados de metano, nódulos de manganeso, costras ricas en cobalto y sulfuros polimetálicos. Ha trabajado principalmente en los márgenes continentales ibéricos, islas Canarias, dorsal mesoatlántica, mar de China Meridional, dorsal Cocos-Nazca e islas Shetland del Sur y mar de Scotia (Antártida), donde ha participado desde el año 2000 en proyectos de investigación, nacionales, comunitarios e internacionales relacionados con yacimientos minerales submarinos y sus geo-habitats asociados. Coordina el consorcio de Servicios Geológicos Europeos para el estudio de minerales submarinos de los mares europeos. Ha publicado 61 artículos en revistas científicas indexadas en el SCI, libros, capítulos de libros, informes científicos, mapas metalogenéticos y cartografías marinas.

Contacto: fj.gonzalez@igme.es

JUAN GRIMA OLMEDO es consejero técnico en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), donde trabaja desde 1998. Es doctor ingeniero por la Universidad Politécnica de Madrid e ingeniero de minas por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía de Madrid, máster internacional en Hidrología General y Aplicada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y diplomado especialista en Hidrogeología. Se ha enfocado en la investigación de la contaminación de aguas subterráneas y tratamiento estadístico de variables ambientales, y de la caracterización geológica e hidrogeológica de los humedales. Ha participado en varios proyectos nacionales e internacionales financiados por la UE en las áreas de evaluación de riesgos y remediación de acuíferos y suelos contaminados. Está involucrado en el monitoreo efectivo de contaminantes emergentes, específicamente en la elaboración y validación de nuevos métodos de evaluación. Participó en la revisión de estrategias sobre protección y uso

sostenible como asesor en el antiguo Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino y como evaluador de la Comisión Europea para la evaluación de propuestas en relación con el Séptimo Programa Marco de Medio Ambiente (incluyendo cambio climático). Ha sido presidente del capítulo español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Tiene experiencia en la organización de actividades de I+D y es coautor de numerosos artículos técnicos y científicos, publicaciones en congresos y libros de difusión nacional e internacional.

Contacto: j.grima@igme.es

CAROLINA GUARDIOLA ALBERT es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Es desde 2013 miembro de la Junta Directiva del Capítulo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), y su actual presidenta. Sus líneas de trabajo pueden resumirse en dos: modelos matemáticos para la evaluación de recursos hidrogeológicos y estadística avanzada aplicada a los riesgos geológicos. Desde 2021, es vocal de la Sección de Hidrología de la Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica. Su principal contribución a la sociedad son sus investigaciones sobre el acuífero de Doñana. Ejemplos de ello es uno de sus artículos (<https://doi.org/10.1007/s13157-011-0205-4>), que estudia el impacto del cambio climático sobre los aportes del acuífero al humedal, o sus laborales de asesoramiento a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Contacto: c.guardiola@igme.es

JUAN CARLOS GUMIEL GUTIÉRREZ es técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Entre 1988 y 1992 fue becario de Formación Personal Investigador en el IGME. Desde 1992 hasta 2005 ha sido contratado en diversos proyectos de teledetección para este instituto. En 2006 ingresó como funcionario en el IGME y, a partir de 2011, fue jefe de su Servicio de Teledetección. Desde el 2014 hasta el 2022, fue responsable en PLANAGEO de los trabajos de teledetección, así como de la supervisión e interpretación de los trabajos de teledetección y SIG. También ha sido responsable de diversas hojas de la Cartografía Geológica y Cartografía de Rocas y Minerales Industriales en PLANAGEO. En la actualidad es jefe del Servicio de Observación Remota de la Tierra (SORT) en el IGME. Sus líneas de trabajo están relacionadas con la observación satelital aplicadas a las Ciencias de la Tierra: cartografía geológica y minera, hidrogeológica y medioambiental.

Contacto: jc.gumiel@igme.es

JAVIER HEREDIA DÍAZ es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Doctor ingeniero de caminos, canales y puertos (2004, UPC), titulado por los Cursos Internacionales de Hidrología Superficial y Aplicada (1984, CEDEX), de Ingeniería de Grandes Presas (1984, CEDEX) y de Hidrología Subterránea (1985, UPC). Sus líneas de trabajo se desarrollan en los campos de la modelación numérica hidrogeológica (medios de baja permeabilidad, flujo con densidad variable, acuíferos profundos, sistemas kársticos) y de la precipitación-escurrentía, los sistemas hídricos en grandes llanuras, los isótopos ambientales en hidrología y la relación aguas subterráneas-humedales. Sus trabajos ligados a los humedales se han desarrollado en España en la Reserva Natural de Fuente de Piedra, el Parque Nacional de la Marjal de Pego-Oliva, Parque Nacional de Doñana, y en Latinoamérica, en los Esteros del Iberá y los Bajos Submeridionales (Argentina), y Manglar Alto (Ecuador). En su actividad docente ha dirigido tesis doctorales y de maestría, y dictado cursos de posgrado (UPM, URJC y UCM en España, UNR en Argentina, ESPOL y UPSE en Ecuador) y cursos en el marco de la cooperación española (AECID).

Contacto: j.heredia@igme.es

J. ROMÁN HERNÁNDEZ MANCHADO es ingeniero de minas por la Universidad Politécnica de Madrid, técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) y jefe del Área de Sistemas de Información Geológica desde hace más de diez años, coordinando los equipos de bases de datos, cartografía y difusión de sistemas. Tiene más de treinta años de experiencia profesional en el campo de los sistemas de información y el desarrollo de aplicaciones, y ha participado y dirigido diferentes proyectos relacionados con las tecnologías de la información tanto nacionales como internacionales, entre los que destacan Geo_ERA GIP-P y concebido para la creación de un servicio geológico para Europa GSEU. Forma parte de los grupos de expertos de sistemas de información tanto de la ASGMI como del EGS.

Contacto: r.hernandez@igme.es

MARIO HERNÁNDEZ RUIZ es técnico especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde 2009 pertenece al Área de Riesgos Geológicos del entonces Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica. Sus primeros trabajos se centraron en el uso de herramientas topográficas para el análisis de los peligros geológicos estudiados en el Área, que posteriormente serán desplazadas

por la tecnología RPAS cuya aplicación se extiende también a la intervención directa en emergencias (erupción de La Palma, 2021). Paralelamente, e influenciado por su condición de licenciado en Psicología, se forma en Intervención en Emergencia y Catástrofes en la ENPC, la Universidad Complutense y la UME. Trabaja la educación en el riesgo, así como el estudio de la percepción del mismo.

Contacto: m.hernandez@igme.es

GERARDO HERRERA GARCIA es profesor de investigación en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). En 2012, junto con otros compañeros del IGME, crean el grupo Geohazards InSAR Laboratory and Modelling, que pertenece al departamento de Riesgos Geológicos y Cambio Climático del IGME. Entre 2013 y 2020 fue director del Grupo de Expertos en Observación de la Tierra y Peligros Geológicos de EuroGeoSurveys. Desde 2016 es uno de los representantes españoles de la Iniciativa Internacional de Subsistencia del terreno (LASII) de la UNESCO. Desde 2020, trabaja como experto nacional destacado en la Comisión Europea. Su línea de investigación se centra en el estudio de movimientos de ladera y subsistencia del terreno utilizando técnicas de interferometría radar y modelos numéricos.

Contacto: g.herrera@igme.es

JORGE HORNERO DÍAZ es doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena (2018) y pertenece a la escala de técnicos superiores especializados de OPI. Se incorporó a la Unidad Territorial del IGME en Murcia en 1989. Ha ocupado en dicho instituto diferentes puestos técnicos vinculados a estudios y proyectos de investigación, y de asesoramiento a organismos de cuenca y administraciones locales y autonómicas en materia de aguas subterráneas. Trabaja principalmente en la aplicación de técnicas hidrogeológicas a la caracterización, evaluación y estudio del funcionamiento de los acuíferos. Coordina o participa en proyectos de asesoramiento a la Confederación Hidrográfica del Segura en redes de control, sobreexplotación o evaluación de recursos. Realiza informes técnicos y preceptivos solicitados por otras Administraciones al IGME. Colabora como investigador o miembro del equipo de trabajo en proyectos internos de ámbito regional y competitivos con financiación pública estatal y en proyectos internacionales (República Dominicana y Bolivia). Contribuye a la divulgación de los trabajos con publicaciones en revistas científicas, libros y presentación de resultados en congresos. Ha impartido docencia y codirige proyectos finales de carrera y máster en la UPCT. Miembro en

representación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades en la Junta de Gobierno y Consejo del Agua de la Demarcación Hidrográfica del Segura.

Contacto: j.hornero@igme.es

CÉSAR HUSILLOS RODRÍGUEZ es técnico superior especializado de OPI. Desde 2021 trabaja como funcionario en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Forma parte del equipo de la Unidad de Desarrollo y Difusión de Sistemas de Información, perteneciente al Área de Sistemas de Información Geográfica y adscrita a la Vicedirección Técnica del Instituto. Físico de formación, ha complementado su currículum con dos másteres en la Universidad de Granada (Física y Matemáticas en 2008 y Geología y Meteorología en 2013). Entre 2004 y 2020 trabajó como titulado superior en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA, CSIC). En su última etapa se ha centrado en el desarrollo web. También ha participado como profesor en diferentes cursos del Gabinete de Formación del CSIC (Python y Drupal). Como contribución adicional destacable en el campo de la astronomía, ha liderado y desarrollado en su mayor parte un *pipeline* para el procesamiento automático de imágenes astronómicas (calibración, detección y extracción de parámetros), fruto de la cual son los artículos en los que figura recientemente como coautor.

Contacto: c.husillos@igme.es

ESTHER IZQUIERDO LLAVALL es doctora en Geología por la Universidad de Zaragoza (2014) y científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) (2021). Su investigación está centrada en el estudio de la geometría y cinemática de sistemas de pliegues y cabalgamientos, mediante la integración de técnicas estructurales, geofísicas (paleomagnetismo, campos potenciales) y paleotermométricas. Ha trabajado en diversos contextos geológicos (Pirineos, cordillera Ibérica, Atlas, Tian Shan). Actualmente es miembro del Grupo de Investigación de Geología Aplicada-GeoAp del Gobierno de Aragón.

Contacto: e.izquierdo@igme.es

JORGE JIMÉNEZ SÁNCHEZ es máster en Ciencias Geológicas por la Universidad de Granada. Obtuvo el diploma estudios avanzados con el trabajo «Aguas Subterráneas y Medio Ambiente». Es técnico en prevención de riesgos laborales. Pertenece a la escala de técnicos superiores especializados de OPI, destinado en la Unidad de Granada del IGME. En esta unidad, desde 2006, es el gestor de las Redes de Observación Hidrogeológica y de la Base de Datos de Puntos de Agua; desde 2014 es responsable

de la Unidad Móvil de Hidrogeología, y desde 2019, personal adscrito a la Unidad Asociada IGME-Universidad de Granada. Ha ocupado en el Instituto diferentes puestos técnicos vinculados a estudios de asesoramiento, como servicio técnico y de soporte a organismos de cuencas, administraciones autonómicas y provinciales en materia de aguas subterráneas, así como en encomiendas de gestión ministeriales. Principalmente trabaja en la aplicación de técnicas hidrogeológicas de caracterización, evaluación y estudio del funcionamiento de los acuíferos, estudios hidrogeológicos para abastecimiento urbano, experimentaciones en recarga artificial, redes de control y monitorización de acuíferos, y la testificación geofísica de sondeos. En ese sentido, es responsable de varios convenios de colaboración y proyectos de asesoramiento.

Contacto: jjimenez@igme.es

JORGE JÓDAR BERMÚDEZ es investigador distinguido en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde el Departamento de Agua y Cambio Global desarrolla su actividad investigadora, la cual se articula en torno a cuatro líneas de trabajo: desarrollo de métodos analíticos, empíricos y su aplicación para la estimación de la recarga y funcionamiento de sistemas hidrogeológicos; caracterización del funcionamiento de sistemas hidrogeológicos en espacios naturales protegidos, en zonas áridas, de alta montaña y polares; evaluación del impacto del cambio climático y global en sistemas hidrogeológicos; y caracterización de sistemas ancestrales de recarga artificial de acuíferos y su impacto en el funcionamiento de la cuenca hidrogeológica. Es miembro de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) y de la Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst (SEDECK). Forma parte, como investigador, de la Red Internacional de Siembra y Cosecha del Agua en Áreas Naturales Protegidas (SYCA-CYTED), la cual viene auspiciada por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

Contacto: jjodar@igme.es

JUAN C. LARRASOÑA GOROSQUIETA es licenciado y doctor en Ciencias Geológicas y desarrolla su actividad desde 2009 como científico titular en la Unidad de Zaragoza del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Sus líneas de trabajo se centran en la aplicación de técnicas paleomagnéticas y de magnetismo ambiental a una variada gama de temas dentro de las geociencias, entre los que destacan la datación e identificación de cambios climáticos en el registro sedimentario y el estudio de la evolución de cinturones orogénicos y cuencas sedi-

mentarias. Es creador y coordinador del Grupo de Investigación RESCLIM del CSIC, miembro de los grupos de investigación GeoAp (DGA) y PFAM (UPNA), vocal del Consejo Asesor de Investigación y Desarrollo del Gobierno de Aragón, y presidente de la Comisión de Paleomagnetismo de la Sociedad Geológica de España. Contacto: jc.larra@igme.es

ESTEFANÍA LLAVE BARRANCO es investigadora científica en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Además, está contratada desde enero de 2020 como colaboradora/gestora del Área de Ciencias y Tecnologías Medioambientales (CTM), en la Subárea de Ciencias de la Tierra y del Agua (CTA) de la División de Coordinación, Evaluación y Seguimiento Científico Técnico de la AEI. Sus líneas de investigación se han enmarcado en la geología y geofísica marina, concretamente en el análisis de cuencas y procesos sedimentarios, tanto recientes como en el registro fósil. Estos estudios han sido especialmente aplicados a la influencia de las corrientes de fondo en los márgenes continentales y el desarrollo de depósitos contorníticos, por sus implicaciones tanto científicas como socioeconómicas. Ha desarrollado esta actividad en el marco de 47 proyectos financiados por el Programa Nacional de Investigación Español, el Programa Marco de la Comisión Europea, el IODP, el IGCP-UNESCO, el INQUA y el IGME, de los cuales ha sido y es responsable en cinco de ellos. Ha participado en 23 campañas oceanográficas, desarrolladas en los márgenes continentales ibérico y antártico y llanuras abisales adyacentes. Es miembro del Grupo de Trabajo sobre Cartografía Marina y del Grupo de Trabajo sobre la Línea de Costa, de la Comisión Interministerial de Estrategias Marinas (CIEM), desde el 2015. Contacto: e.llave@igme.es

MIGUEL LLORENTE ISIDRO es licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Salamanca, máster en Hidrología General y Avanzada por el CEDEX, diploma de estudios avanzados por la Universidad Complutense de Madrid y doctor por la ETSI de Minas y Energía. Es técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), donde ocupa el puesto de director de la Unidad Regional del IGME en Galicia y forma parte del Grupo de Alto Nivel del Mecanismo de Asesoramiento Científico de la Unión Europea como miembro en la reserva. Ha dirigido numerosos proyectos de ámbito nacional e internacional sobre peligros y riesgos geológicos, tanto de financiación competitiva como no competitiva. Es coautor de más de media docena de libros téc-

nicos, cerca de una centena publicaciones científicas e informes de distinta índole. Actualmente también es profesor *ad honorem* en la Universidad Politécnica de Madrid. Los últimos años ha proporcionado asesoramiento científico por medio de los proyectos GeoMEP al Consorcio de Compensación de Seguros para hacer frente a desastres naturales y es actualmente es miembro del Plan Nacional de Vigilancia Sísmica Volcanológica y de otros fenómenos. Contacto: m.llorente@igme.es

JUAN LOCUTURA RUPÉREZ es ingeniero de minas. Ingresó en el IGME en 1972, contratado en el Laboratorio de Petrografía y Metalogénia. Desde 1975 ha pertenecido al Cuerpo de Ingenieros de Minas, con destino en el IGME, hasta su jubilación en 2017. En 1981 fue jefe de proyecto en la Dirección de Recursos Minerales, implicado en temas de cartografía metalogénica e inventarios nacionales de recursos minerales. Estuvo involucrado en el nacimiento y desarrollo del programa de Exploración Sistemática (P. E. S.) en convenio con el Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Hasta 1990 compaginó las actividades en metalogénia y geoquímica regional (Pirineo Central, País Vasco, faja Píritica, Galicia, Cantabria, Extremadura, Madrid). En 1990 fue nombrado jefe de Área de Geoquímica y Metalogénia. Fue participante en el nacimiento de los grandes proyectos paneuropeos de geoquímica (Atlas Geoquímico de Europa, proyecto GEMAS) siendo miembro del Task Force Group of Geochemistry y representante del IGME en el Geochemistry Expert Group de EuroGeoSurveys. Ha realizado trabajos en Argentina, Marruecos, y en República Dominicana con tres proyectos de metalogénia y cartografía geoquímica. Es autor principal del *Atlas Geoquímico de España* (2012). Contacto: juanlocuturaruperez@gmail.com

M.^a TERESA LÓPEZ BAHUT es técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), donde desde 2009 desarrolla su trabajo como especialista en teledetección y SIG, vinculada al Servicio de Observación Remota de la Tierra. Ha participado en varios proyectos geocientíficos multidisciplinares en apoyo a la cartografía geológica y estudios medioambientales. Sus líneas de trabajo están relacionadas con la teledetección aplicada a geología y recursos naturales, incluyendo el procesado de imágenes satelitales multiespectrales de media y alta resolución espacial para el cálculo de variables físicas y clasificación de imágenes, así como técnicas de geoprocesamiento y análisis espacial. Contacto: mt.lopez@igme.es

JUAN ANTONIO LÓPEZ GETA es doctor ingeniero de minas por la Universidad Politécnica de Madrid. Ingeniero de minas desde 1974, diplomado en Hidrogeología en 1975 y máster en Dirección y Administración de Empresas en 1992. En su dilatada trayectoria profesional en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), ha desempeñado distintos puestos de responsabilidad. Fue subdirector general del IGME, director de Hidrogeología y Aguas Subterráneas de 1994 a 2007 y director del Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica entre 2011 y 2013. Ha desarrollado su actividad profesional durante más de cuarenta años en el ámbito de las aguas subterráneas, compaginando varios cometidos, desde vocal a presidente, en distintas asociaciones, grupos, comisiones y patronatos, así como asumiendo la organización de congresos, simposios y jornadas relacionadas con la hidrogeología. Es autor de numerosos artículos y publicaciones, y editor y coautor de varios libros. Tras su jubilación en 2015, continúa con una actividad relevante, como la de ser vocal del Consejo Nacional del Agua en representación de las asociaciones de hidrogeólogos o la de ser presidente del Club del Agua Subterránea. Contacto: jalopezgeta@gmail.com

MARÍA TERESA LÓPEZ LÓPEZ es licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid y máster en Geología del Subsuelo y Prospección de Recursos Naturales. Es vicedirectora técnica del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) desde 2021. Su experiencia profesional se ha centrado, durante más de quince años, en el campo de los recursos minerales, participando y dirigiendo numerosos proyectos nacionales e internacionales preferentemente relacionados con trabajos de infraestructura minera, investigación y exploración de rocas y minerales industriales y desarrollo de metodologías, guías técnicas y protocolos relativos a recursos minerales. Contacto: m.lopez@igme.es

JOSÉ LÓPEZ RUIZ es licenciado en Ciencias (Sec. Geológicas) por la UCM en 1965 y doctor en Ciencias (Sec. Geológicas) por la UCM en 1970. Desde 1965 hasta su jubilación ha pertenecido al CSIC, inicialmente como contratado, más tarde como colaborador científico e investigador científico y, desde 1990, como profesor de investigación. Durante este tiempo estuvo adscrito al Instituto Lucas Mallada, al Instituto de Geología, al Museo Nacional de Ciencias Naturales y, finalmente, al Instituto de Geociencias. En el período 1967-1974 trabajó en el IGME. Su labor investigadora la ha realizado

fundamentalmente en las islas Canarias, en las regiones volcánicas cenozoicas de la península ibérica, en la provincia magmática centroatlántica, en el cinturón volcánico mexicano y en las zonas metamórfico-graníticas de la sierra de Guadarrama. Autor de más de cien artículos sobre aspectos mineralógicos, petrológicos y petrogenéticos de las rocas volcánicas y metamórficas de las áreas anteriormente citadas, y de las monografías *Geology and Volcanology of the Canary Islands. Fuerteventura* (CSIC, 1968) y *El metamorfismo de la sierra de Guadarrama* (IGME, 1974). Firma también los libros *Volcanismo. Dinámica y petrología de sus productos* (Istmo, 1974), *Geología* (Rueda, 1977 y 1983), *Geoquímica de los procesos magnéticos* (Rueda, 1990) y *Microscopía de barrido y microanálisis por rayos X* (Rueda-CSIC, 1996).

JUAN LÓPEZ VINIELES es titulado superior de actividades técnicas y profesionales en el Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), donde desarrolla su actividad investigadora como contratado. En 2014 completó sus estudios de grado en Ingeniería Geológica en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros (ETSI) de Minas de Madrid. Más tarde, en 2016, obtuvo el título de máster en Ingeniería de Minas también en la ETSI de Minas de Madrid, lo que le brindó la oportunidad de cursar el último año de sus estudios de máster en la Montanuniversität Leoben (Austria). En 2017, trabajó para la empresa FCC en Arabia Saudí, tras lo cual se incorporó al IGME en 2018. En 2022, concluyó sus estudios de doctorado, centrados en la aplicación de técnicas de interferometría radar satélite al análisis de estabilidad de taludes en zonas mineras, en el marco del Programa de Doctorado en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales de la ETSI de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

Contacto: j.lopez@igme.es

CARLOS LORENZO CARNICERO es licenciado en Geología por la Universidad Complutense de Madrid (1999). Técnico superior especializado de OPI en sistemas de información geográfica y teledetección, adscrito al Área de Sistemas de Información Geológica del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Máster en Dirección de Proyectos GIS (UPM, 2002). Cuenta con 24 años de experiencia SIG (2005-2023) en el IGME, más de 50 proyectos técnicos y de investigación (I+D+i) de toda índole, generación de aplicaciones para dispositivos móviles de captura de información geocientífica en campo (INGEOTAB). Desde 2016, es responsable del STA (Servicio de Trabajos Aéreos) con

UAV (drones), para el acopio, procesamiento y tratamiento de datos a partir sensores aeroportados por RPA (director de operaciones y piloto de la operadora de trabajos aéreos del IGME). Además, prestó servicio y asesoramiento, entre otros, al REVOLCA (Plan de Emergencias Volcánicas de Canarias) durante la emergencia debida a la erupción del volcán de La Palma en 2021. Contacto: c.lorenzo@igme.es

ANA LUCÍA VELA es científica titular en el Departamento de Riesgos Geológicos y Cambio Climático del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Se doctoró en Hidrología, Geomorfología y Ciencias del Suelo. Aplicaciones en Gestión Ambiental y de Riesgos (2013) en la Universidad Complutense de Madrid, estudiando los procesos geomorfológicos activos en cárcavas. Su carrera posdoctoral se ha desarrollado en las Universidades de Bolzano (Italia) y de Tübingen (Alemania) en el campo de la geomorfología, estudiando una amplia gama de procesos que van desde la erosión de suelos, el transporte de sedimentos y de material leñoso en distintos ambientes terrestres (desde cárcavas a sistemas fluviales) con gran variedad de climas y a escalas (desde pequeñas parcelas experimentales a continentes). El objetivo general a lo largo de su trayectoria ha sido comprender los ritmos y factores de control de los procesos geomorfológicos activos, así como sus efectos en la morfología del paisaje, combinando mediciones de campo con modelización.

Contacto: a.lucia@igme.es

ADOLFO MAESTRO GONZÁLEZ es investigador científico en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Además, es profesor asociado de Geología en Ciencias Ambientales y Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid desde 2003. Sus líneas de trabajo están relacionadas con la geología estructural y la geología marina. Ha participado en 25 campañas oceanográficas en los márgenes continentales ibérico y antártico y llanuras abisales adyacentes, y en 65 proyectos de investigación, de los que ha sido o es jefe de proyecto/coordinador de equipo en trece de ellos, financiados por el Programa Nacional de Investigación Español, el Programa Marco de la Comisión Europea y el IGME. Fue miembro de la Subcomisión de Delimitación de la Plataforma Continental de la Comisión Interministerial de Política Marítima Internacional para la Ampliación de la Plataforma Continental Española del entonces Ministerio de Asuntos Exteriores en 2003 y del Grupo de Expertos en Geología Marina del EuroGeoSurveys desde 2010 a 2019. Es coordinador del equipo del Grupo de Traba-

jo de la Zona Económica Exclusiva Española del IGME desde 2003, miembro de la Delegación Española en el Consejo y Asamblea de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA) desde 2016, y miembro electo de la Comisión Jurídica y Técnica de la ISA desde 2017.

Contacto: a.maestro@igme.es

MARÍA J. MANCEBO MANCEBO es técnica superior especializada de los OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Ha desarrollado gran parte de su carrera profesional en el IGME desde que entró a formar parte del mismo en el año 2003; anteriormente trabajó en empresas privadas entre 1997 y 2003. Desde 2019 ocupa el puesto de jefe de proyectos técnicos en el Grupo de Investigación en Cartografía Geológica, Geomorfológica y de Geología 4D de Cordilleras y Cuencas de dicha institución. Su trayectoria profesional ha estado muy ligada a los sistemas de información geocientífica en general y geológica en particular. Se ha centrado en la normalización y estandarización de los conjuntos de datos geológicos y su gestión con la finalidad de lograr que la geología básica se constituya como base de investigación para la geología aplicada. A lo largo de su trayectoria profesional ha dirigido y participado en numerosos proyectos, entre los que destacan el proyecto para la implantación de la Directiva INSPIRE en el IGME, o el actual proyecto europeo GSEU que tiene como objetivo el establecimiento de un servicio geológico para Europa, concretamente en la actividad Geological Framework Setup.

Contacto: mj.mancebo@igme.es

CARLOS MARÍN LECHADO es científico titular del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Geólogo e ingeniero técnico de Minas, realizó su tesis doctoral en la Universidad de Granada sobre la evolución tectónica reciente en el sur de Almería. Ha participado en los planes GEODE (Cartografía Geológica Continua de las Zonas Internas Béticas), ALGECO2 (Evaluación de Áreas de Almacenamiento Geológico de CO₂), entre otros proyectos. Su principal línea de investigación están relacionadas con la modelización geológica 3D para la caracterización de reservorios (almacenes de CO₂, H₂, acuíferos profundos, etc.). Está especialmente interesado en la integración de información de superficie y subsuelo como la cartografía geológica, datos de prospección geofísica y sondeos.

Contacto: c.marin@igme.es

EGIDIO MARINO es doctor, contratado como técnico superior en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Colabora con el Grupo

po de Investigación de Geología Aplicada a los Recursos Marinos y de Medios Extremos desde 2013 cuando realizó su trabajo de fin de grado y participó en su primera campaña oceanográfica SUBVENT1 al oeste de las islas Canarias. Posteriormente empezó sus líneas de investigación en recursos minerales marinos, que le llevaron a obtener el grado de doctor con una investigación exhaustiva de los recursos de costas de Fe-Mn de los montes submarinos de la provincia de las islas Canarias. Actualmente es coordinador adjunto en el proyecto GSEU (European Geological Service), para el estudio de recursos marinos en aguas europeas. Además, colabora activamente en diferentes proyectos nacionales e internacionales sobre recursos minerales marinos y de transición energética.

Contacto: e.marino@igme.es

RAQUEL MARTÍN BANDA es doctora en Geología en el área de Geodinámica Interna por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente, es técnica superior especializada de OPI en el IGME. Su actividad investigadora se centra en la paleosismicidad y geomorfología de fallas activas en las cordilleras Béticas orientales (SE de España), así como en la caracterización de fallas activas como fuentes sismogénicas para el cálculo probabilista de la peligrosidad sísmica. Es la segunda editora científico-técnica principal de las Bases de Datos de Fallas Activas del Cuaternario y de Zonas Sismogénicas de Iberia (QAFI y ZESIS). Dirige una tesis doctoral sobre la falla de Palomares y participa como paleosismóloga en el Borde Llanero (cordillera Oriental colombiana) para la reevaluación de la peligrosidad sísmica en Bogotá, así como en la evaluación sismotectónica de posibles almacenes geológicos marinos en el golfo de Cádiz. Ha trabajado durante seis años en el proyecto PLANAGEO, como responsable del SIG y de los trabajos en la cuenca del Kalahari en el IGME. Contacto: r.martin@igme.es

SUSANA MARTÍN LEBREIRO es licenciada en Ciencias Geológicas por la UCM (1989) en España y doctora en Geología Marina por la Universidad de Cambridge (1995) en el Reino Unido. Ha desarrollado su carrera científica en ciencias marinas en el Reino Unido (University of Cambridge, Institute of Oceanographic Sciences/National Oceanography Centre) y Portugal (SGP/IGM/INETI/Laboratorio Nacional Energia e Geologia) durante dieciocho años. En este último asumió simultáneamente la dirección del Laboratorio de Geología Marina, durante ocho años, y del Departamento de Geología Marina. En el IGME desde 2009, actualmente es investigadora científica en la

línea de paleoceanografía y paleoclimatología en el ámbito del Grupo de Investigación Registro Sedimentario de Cambios Climáticos-RESCLIM, y realiza su investigación con financiación de proyectos científicos competitivos y con colaboración internacional. Sus objetivos más recientes exploran la productividad primaria (Ba-biogénico) en los giros subtropicales, eventos extremos y deglaciaciones de los últimos 400 000 años, variabilidad climática milenaria y orbital, ventilación y edad del océano profundo, u ondas internas y M-eddies como mecanismos de ignición de corrientes de turbidez en océano profundo.

Contacto: susana.lebreiro@igme.es

JULIANA M.^a MARTÍN LEÓN es licenciada en Ciencias Físicas, técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) y pertenece al Grupo de Investigación de Geofísica y Geología del Sub suelo (GEOFSUB), que anteriormente estuvo adscrito al Área de Geofísica y Teledetección del Instituto. Sus líneas de trabajo están relacionadas fundamentalmente con la recopilación, revisión, organización y validación de información geofísica, bases de datos geofísicas y con SIGEOF, el sistema de información geofísica del IGME.

Contacto: j.martin@igme.es

IVÁN MARTÍN MÉNDEZ es técnico superior especializado de OPI en el Grupo de Investigación de Geología Económica de los Recursos Minerales (GECOMIN) del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Sus líneas de trabajo están relacionadas con la geoquímica y los recursos minerales, enfocadas en la aplicación de las técnicas geoquímicas para la exploración de recursos minerales y la cartografía geoquímica. Ha participado en proyectos nacionales en la faja pirítica y en Ossa Morena y ha sido uno de los responsables del IGME en la actividad de exploración de recursos minerales y geoquímica del proyecto PLANAGEO en Angola. Es el representante por parte del IGME en los grupos de expertos de geoquímica de EuroGeoSurveys (EGS) y coordinador adjunto del grupo de geoquímica de la Asociación de los Servicios Geológico y Mineros Iberoamericanos (ASGMI). Además, es miembro del Comité de Muestreo de la Global Geochemical Baselines de la Unión Internacional de Geociencias (IUGS). En este sentido, es uno de los autores de los últimos manuales de geoquímica editado por la IUGS, *International Union of Geological Sciences Manual of Standard Methods for Establishing the Global Geochemical Reference Network* (2022), y uno de los editores del manual de

ASGMI, *Manual de metodologías geoquímicas de países iberoamericanos* (2022).

Contacto: i.martin@igme.es

ÁNGEL MARTÍN-SERRANO GARCÍA es doctor en Ciencias Geológicas. Se encuentra actualmente jubilado, después de 43 años de actividad, 31 de los mismos en el IGME, con distintas responsabilidades institucionales siempre ligadas a la geología y a la cartografía geológica. Centrado en el estudio del Cenozoico continental, en su geología y geomorfología, paralelamente lidera el desarrollo de la cartografía de esta última disciplina para lo que elabora su normativa correspondiente. Adicionalmente, diseña, dirige y participa en la ejecución del *Mapa geomorfológico de España* a escala 1:1 000 000, donde se sintetiza el relieve de todo el territorio nacional. Contacto: a.martinserranogarcia@gmail.com

JAVIER MARTÍNEZ MARTÍNEZ es científico titular del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) desde 2017. Licenciado en Ingeniería Geológica (2003) y doctor ingeniero geólogo (2008) por la Universidad de Alicante, inició su actividad profesional en dicha universidad y como miembro del Laboratorio de Petrología Aplicada CSIC-UA. Sus líneas de investigación se centran en el estudio petroológico-petrofísico de materiales pétreos en el ámbito de la geoarqueología, la durabilidad de materiales y caracterización de nuevos materiales de construcción. En este sentido, ha dirigido o participado en numerosos proyectos de investigación de ámbito regional, nacional e internacional, colaborando activamente con universidades y centros de investigación tanto nacionales como internacionales (Italia, México, Suiza, Túnez, Irán).

Contacto: javier.martinez@igme.es

BRUNO MARTÍNEZ PLÉDEL es doctor ingeniero de minas y jefe de proyectos técnicos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Entre 1991 y 2010 trabajó en temas relacionados con minería y medioambiente, destacando la dirección y participación en proyectos de ordenación minero-ambiental. También ha participado en otros proyectos de restauración y rehabilitación de espacios afectados por labores mineras, y ha elaborado casi quinientos informes preceptivos sobre restauración minera. Entre 2011 y 2013 ejerció en el Grupo de Trabajo de Aguas Minerales y Termales, dedicado sobre todo a temas relacionados con perímetros de protección de aprovechamientos de aguas minerales y termales. Entre 2013 y 2021 trabajó, los dos primeros años en el servicio de recursos energéticos, otros dos en recursos minerales y el resto en patrimonio minero. Desde finales de

2021 vuelve a trabajar en el Grupo de Trabajo de Aguas Minerales y Termales, donde realiza una labor relacionada con perímetros de protección establecidos por la Ley de Minas y las normas que la desarrollan. Entre las últimas publicaciones en las que ha participado, cabe destacar *Andalucía y sus aguas minerales y termales*, fruto del convenio de colaboración con la Administración de dicha comunidad autónoma.

Contacto: b.martinez@igme.es

ANTONIO NICOLÁS MARTÍNEZ SÁNCHEZ DE LA NIETA es ayudante de investigación de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), proyectista instalador de energía solar. Cursó estudios de FP en Electricidad, Electrónica y Acceso a la Universidad para mayores de 25 años en Sevilla. Comenzó a trabajar en el IGME en junio de 1982 como peón de sondeos. Encadenó contratos como peón especializado y como oficial de segunda, y entró a formar parte de la plantilla fija en 1991 como oficial de primera y responsable de turnos en 1994. Tras el paso de toda la Sección de Sondeos y Aforos al Parque de Maquinaria del Ministerio de Obras Públicas en 1999, cursa la petición de traslado voluntario a la oficina territorial de Sevilla del IGME en 2000 como maestro de sondeos/técnico superior de actividades técnicas. Superada la promoción horizontal en 2009, es nombrado funcionario de carrera como ayudante de investigación de I+D+i. Desde su regreso en el IGME, su continuo reciclaje y especializaciones le han servido para colaborar en multitud de proyectos del Instituto y de universidades españolas y extranjeras.

Contacto: a.martinez@igme.es

SERGIO MARTOS ROSILLO es doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad de Granada y posgraduado en Hidrología Subterránea por la Universidad Politécnica de Cataluña. Actualmente es científico titular del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), labor que compaginó entre 2005 y 2012 con la de profesor asociado de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. Es profesor en distintos másters universitarios y actualmente es el coordinador de la Red de Investigación Científica, del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Siembra y Cosecha del Agua en Áreas Naturales Protegidas. Es vocal de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica en la Sección de Hidrología y de la Asociación Internacional de Hidrogeología (Grupo Español), ponente de la Comisión Técnica del Agua y miembro del Consejo de Participación del Espacio Natural de Sierra Nevada y miembro del grupo de expertos europeos sobre «Nature-ba-

sed Solution for Water Management under Climate Change» del EIP-AGRI (European Innovation Partnership for Agricultural Productivity and Sustainability) de la Comisión Europea.

Contacto: s.martos@igme.es

M.^a PILAR MATA CAMPO fue investigadora científica en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) desde el año 2009. Tras el doctorado realizó una estancia de formación en la Universidad de Michigan, y fue profesora contratada de la Universidad de Zaragoza (1992-1999) y profesora titular de la Universidad de Cádiz (1999-2009) en el área de Cristalografía y Mineralogía. Su campo de investigación se centró en la mineralogía, mineralogía de arcillas y geoquímica de materiales sedimentarios y metamórficos, así como el estudio de indicadores de cambios ambientales en sedimentos marinos y lacustres. Fue jefa de área del IGME, ocupándose de las colecciones de muestras, la Litoteca de Sondeos y de la documentación científico-técnica del IGME. Gestionó la adquisición y puesta a punto de grandes infraestructuras de investigación (laboratorio de microscopía electrónica, plataforma multi-sensorial de la Litoteca, cámaras hiperespectrales). Autora de más de setenta publicaciones indexadas, ha sido miembro del Science Advisory Group (SAG) del International Continental Scientific Drilling Program-ICDP (2019-2022) y era co-IP de un proyecto de perforación profunda (IMMAGE). Pilar falleció el 19 de febrero de 2024.

ROSA MARÍA MATEOS RUIZ es profesora de investigación en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Entre 1995-2012 fue la responsable de la Unidad del IGME en Baleares y actualmente es la directora del departamento de Riesgos Geológicos y Cambio Climático del este instituto. Desde 2020 es vicepresidenta del Grupo de Expertos en Observación de la Tierra y Peligros Geológicos de EuroGeoSurveys. Sus líneas de trabajo están relacionadas con los peligros geológicos, y concretamente con los movimientos de ladera y la subsidencia del terreno. Participó en el equipo de asesoramiento científico durante las erupciones volcánicas de El Hierro (2011) y La Palma (2021). Combina su actividad científica con la divulgación y la escritura.

Contacto: rm.mateos@igme.es

TERESA MEDIALDEA CELA es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), donde ha desarrollado su trayectoria profesional en el campo de la geología marina. Ha participado en numerosos proyectos de investigación para el estudio de la morfología,

estructura y evolución geodinámica de márgenes continentales, emisiones de fluidos y recursos minerales, así como de cartografía geológica marina. Actualmente es responsable nacional del proyecto European Marine Observation and Data Network-Geology, en el que se han elaborado cartografías temáticas de los mares europeos. Ha sido asesora científica de la Delegación Española en reuniones de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos y desde 2005 es miembro del grupo científico-técnico para la elaboración y defensa de las tres propuestas de ampliación de la plataforma continental de España en el golfo de Vizcaya, Galicia e islas Canarias ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental de Naciones Unidas. Actualmente es Adjunta al coordinador y coordinadora del Grupo de Expertos en Geología Marina de EuroGeoSurveys y de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos, respectivamente.

Contacto: t.medialdea@igme.es

JOSÉ F. MEDIATO ARRIBAS es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde el año 2021 es coordinador del Grupo de GeoEnergía y desde 2022, es director del Departamento de Recursos Geológicos para la Transición Ecológica del IGME. Sus líneas de trabajo se iniciaron en la cartografía geológica y análisis de cuencas de depósitos sedimentarios desde el Cámbrico hasta la actualidad. En los últimos quince años, se ha especializado en la caracterización y seguridad de estructuras geológicas para almacenamiento geológico de CO₂ e H₂ a partir de estudios estratigráficos, petrofísicos, geoquímicos y geofísicos, y en la construcción de modelos geológicos 3D, tanto de almacenes geológicos como de yacimientos minerales. En la actualidad coordina la Comisión de Geología Sedimentaria de la Sociedad Geológica de España.

Contacto: jf.mediato@igme.es

CARLOS MEDIAVILLA LASO es licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Autónoma de Barcelona (1978). Como hidrogeólogo, inicia su actividad en 1981 en la Compañía General de Sondeos (CGS) desde donde participa en proyectos de asistencia técnica para el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), con sede en Badajoz, Barcelona y, mayormente, Sevilla. Se incorpora a la Oficina de Proyectos del IGME en Sevilla en 1987 donde desde febrero de 2009 fue jefe de la Unidad Territorial del IGME en Sevilla hasta su jubilación en 2022. Tiene amplia experiencia en el desarrollo y gestión de proyectos científico-técnicos, propios o en colaboración con la Confederación Hidro-

gráfica del Guadalquivir, Diputaciones Provinciales (Sevilla, Huelva y Cádiz) y organismos gestores del agua y medioambiente de la Junta de Andalucía. Es coautor de varias publicaciones de carácter hidrogeológico en el ámbito de Andalucía occidental y ha sido representante del IGME en el Consejo de Participación del Espacio Natural de Doñana.

ROSA M.^a MEDIAVILLA LÓPEZ es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Doctora en Ciencias Geológicas (2001, Universidad Complutense de Madrid) y especialista en estratigrafía y sedimentología, ha desarrollado su carrera profesional en el estudio de sedimentos aluviales, fluviales y lacustres de edades comprendidas entre el Paleógeno y la actualidad. Se incorporó al IGME en 1987 donde entró a formar parte de los equipos de trabajo encargados de la realización del *Mapa geológico de España E. 1:50 000*, la investigación sobre actividad neotectónica en España y la investigación del subsuelo para almacenamiento de gas. A partir de 2002, su línea de investigación principal se desplaza hacia el estudio del registro holoceno en humedales de interior y costeros, obteniendo reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas en distintas áreas peninsulares. De los humedales que analiza merece mención especial el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel (2002-actualidad), por sus archivos paleoambientales, paleohidrologicos y paleoclimáticos de gran resolución y sus valiosos datos sobre el impacto humano en el humedal. Forma parte de la Comisión de Evaluación del Desempeño de la Actividad Científico-Tecnológica y del Comité Nacional del Programa Internacional de Geociencias.

Contacto: r.mediavilla@igme.es

MIGUEL MEJÍAS MORENO es técnico facultativo superior en el Instituto Geológico y Minero (IGME, CSIC) desde hace 32 años. Es licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid, máster en Tecnología Hidrogeológica por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid y máster internacional en Hidrología General y Aplicada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). En la actualidad, desarrolla su actividad en el Departamento de Aguas y Cambio Global del IGME como coordinador del Grupo de Investigación en Hidrogeología Aplicada y Geotermia Somera. Es autor o coautor de 30 libros, 67 artículos técnicos y científicos y 58 publicaciones en congresos. Representante del IGME en varios órganos colegiados de la Administración hidráulica,

vocal del Patronato del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel desde el año 2000, miembro del Comité Científico de Parques Nacionales y miembro del Consejo Científico de Reservas de la Biosfera.

Contacto: m.mejias@igme.es

ENRIQUE MERINO MARTÍNEZ es doctor en Geología, en el área de Petrología y Geoquímica, por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente, es técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero (IGME, CSIC). Además, es docente en materias de geología aplicada al estudio de rocas ígneas y metamórficas y los recursos naturales asociados. Tiene amplia experiencia en cartografía geológica en áreas de basamento y en el manejo de datos geoquímicos e isotópicos de diversos sistemas (Rb-Sr y Sm-Nd en roca total, U-Pb y Lu-Hf en circon). Ha participado en múltiples estudios petrologicos de áreas plutono-metamórficas de la zona Centroeibérica, en el estudio de cúpulas graníticas mineralizadas (Be, Li, P) del centro de España y en la naturaleza de sus fuentes o protolitos. Es autor y coautor de artículos científicos, en revistas de elevado impacto internacional, sobre petrología, mineralogía, geoquímica y geocronología de rocas endógenas. En los últimos años, ha actuado como coordinador de los trabajos de investigación geológica y geoquímica desarrollados durante el proyecto PLANAGEO y ha sido autor de diversos mapas y memorias geológicas y geotemáticas a distintas escalas de la República de Angola.

Contacto: e.merino@igme.es

TANIA MOCHALES LÓPEZ es investigadora distinguida en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Es especialista en prospección geofísica y paleomagnetismo, aplicado a ejemplos orogénicos en España, Australia, Italia y Angola, donde ha desarrollado su tesis y experiencia posdoctoral internacional. Sus líneas de trabajo, dirigidas a los métodos de modelización 2D/3D unificada de cortes geológicos y cuerpos de especial interés por medio de campos potenciales, le ha permitido encabezar el trabajo geofísico en el proyecto PLANAGEO (2014-2022) del IGME. Actualmente forma parte del grupo de geofísica centrado en la proyección internacional del IGME. Es miembro del Grupo Consolidado de Investigación del Gobierno de Aragón Geoap.

Contacto: t.mochales@igme.es

CLEMENTE MOLINA MUÑOZ es ingeniero de minas. Entre 2004 y 2016 trabajó como director facultativo en la empresa privada, donde desempeñó las funciones de jefe de producción

en perforación y voladuras en minería, obra pública y obras hidráulicas con el control y optimización de producción y costes, elaboración de proyectos, organización del grupo de trabajo en obra y la gestión de la prevención de riesgos laborales. En 2018 y 2019 participó como técnico del Instituto Geológico y Minero de España en el proyecto «Interreg GEO_FPI: Valoración geoeconómica de la Faja Pirítica Ibérica», en el que publicó los artículos «Geología y Juventud» y «Al corazón del Andévalo». Desde 2020 es ayudante de investigación en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), con destino en la Litoteca (Peñarroya-Pueblonuevo, Córdoba). Desarrolla la clasificación, catalogación y análisis de testigos, bases de datos y manejo de sistemas de información geográfica. Expuso para Olympus en el Congreso Internacional Mining and Mineral Hall de Sevilla en 2019 con «Soluciones XRF en la Industria de la Exploración y Minería». Actualmente es miembro de la Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía de Córdoba.

Contacto: c.molina@igme.es

MANUEL JESÚS MONTES SANTIAGO es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Sus líneas de investigación se han centrado en la cartografía geológica y geomorfológica, estratigrafía y análisis de cuencas cenozoicas continentales, en donde ha dirigido varios proyectos pertenecientes a planes nacionales, haciendo especial énfasis en el campo de la cronoestratigrafía. Entre 2004 y 2020, ha dirigido y participado en proyectos internacionales de cartografía geológica y estratigrafía en la península antártica, donde se emplearon técnicas pioneras en el campo de la magnetoestratigrafía y de los que resultaron las publicaciones de varios mapas geológicos y geomorfológicos hasta entonces inéditos. Ha participado también en proyectos oceanográficos antárticos a bordo del BIO Hespérides. Actualmente es miembro del Grupo de Investigación de Cartografía Geológica, Geomorfológica y Geología 4D de Cordilleras y Cuencas (GI-CARTO) del IGME.

Contacto: m.montes@igme.es

RAQUEL MORALES GARCÍA es hidrogeóloga del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Ha desarrollado su labor en este instituto desde el año 1995, trabajando en las delegaciones de Palma de Mallorca, Sevilla y, finalmente, en Madrid. Sus líneas de trabajo han estado vinculadas a diversos aspectos de la hidrogeología: atlas hidrogeológicos provinciales, recarga artificial, abastecimientos urbanos,

hidroquímica, calidad y contaminación del agua subterránea, patrimonio hidrogeológico, y los estudios de zonas húmedas y de espacios naturales protegidos. En la última década ha llevado a cabo una labor de divulgación científica a través de vídeos (*Hidrogeología, la ciencia del agua subterránea*) y libros (coautora de *El agua subterránea en la historia*). En los últimos años, ha desarrollado una línea de investigación novedosa, relacionada con el impacto de los incendios forestales en los acuíferos, impulsando una nueva conexión en el CSIC, de carácter transversal y multidisciplinar, denominada *Incendios Forestales*.

Contacto: r.morales@igme.es

LUIS MORENO MERINO es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Doctor en Farmacia por la UCM y especialista en Hidrogeología Aplicada (UPM), en la actualidad se encuentra adscrito al Grupo de Investigación de Hidrogeología Ambiental y Cambio Global. Ha desarrollado su carrera investigadora en el campo de las aguas minerales y termales, la investigación de la zona no saturada como agente frente a la contaminación, la recuperación de ecosistemas degradados, la hidrogeología urbana, la minería y la contaminación agrícola e industrial. Desde hace doce años desarrolla su trabajo en proyectos relacionados con hidrogeología y contaminación de agua dulce en el norte de la península Antártica.

Contacto: l.moreno@igme.es

JOSÉ JAVIER MUÑOZ LEÓN es ayudante de investigación en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). A partir de 1988, coincidiendo con la apertura de la Litoteca de Sondeos en Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba), comienza a trabajar en el IGME. Desarrolló en un primer momento trabajos de retirada de sondeos de empresas cedentes por todo el territorio nacional, la recepción de los mismos en el centro y la catalogación y clasificación de estos testigos. Posteriormente combinó este trabajo con otros de administración, bases de datos e informática. Actualmente realiza en la Litoteca del Instituto trabajos de administración y gestión, tramitación de las solicitudes de documentación y consulta de sondeos, mantenimiento de las bases de datos, y catalogación, revisión e informatización de fondos documentales.

Contacto: jj.munoz@igme.es

JOSÉ MANUEL MURILLO DÍAZ es doctor ingeniero de minas y diplomado en Hidrogeología por la Universidad Politécnica de Madrid. Entre 2007 y 2015 fue subdirector general adjunto del Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica del IGME. Hasta 2019 fue científico

titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). En ese año pidió su ingreso en la escala de técnicos de OO. AA. del entonces Ministerios de Ciencia y Tecnología. Sus líneas de trabajo se enmarcan dentro de la planificación hídrica de las aguas subterráneas, recarga artificial de acuíferos y uso conjunto de recursos hídricos subterráneos, superficiales y no convencionales. Ha sido asesor internacional de la Agencia Española de Cooperación Internacional y de la Organización Mundial de Meteorología en diversos proyectos de recarga artificial de acuíferos en México, Colombia y Argelia. Actualmente dirige el proyecto de identificación delimitación, caracterización y asignación de recursos de las masas de aguas subterráneas compartidas entre diferentes ámbitos de planificación hidrológica del Estado español.

Contacto: jm.murillo@igme.es

JORGE NAVARRO COMET, geólogo con más de treinta años de experiencia internacional en la exploración y producción de hidrocarburos. Licenciado en Geología por la UCM, actualmente trabaja como geólogo independiente, es profesor de geología del petróleo en el máster de Ingeniería de Petróleo y Gas de la UPM, y vicepresidente de la Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo (AGGEP). Hasta finales del año 2020, ocupó el cargo de jefe de Geología en CEPESA, donde desempeñó un papel activo en el comité de control de calidad de geociencias. Fue responsable de la coordinación, gestión y supervisión de los estudios de geología en América del Sur, África del Norte, Oriente Medio, Sudeste Asiático y España. Previamente trabajó para REPSOL, desde 1988 hasta 1997, como geólogo de exploración y desarrollo en Siria y España. Ha impartido charlas sobre exploración y producción de hidrocarburos en varias universidades españolas, liderando también excursiones geológicas. Es autor de varios artículos sobre la historia de la exploración y producción de petróleo en España, Perú, Venezuela y Estados Unidos.

Contacto: jorge.ncomet@gmail.com

CARLOS ONTIVEROS BELTRANENA es técnico de grado medio en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde su ingreso en este organismo en 2006 trabaja en el campo de las aguas minerales y termales, estando entre sus principales funciones la gestión de la Base de Datos de Aguas Minerales, la elaboración de informes preceptivos (perímetros de protección de aprovechamientos hidrominerales y compatibilidad de recursos), así como la participación en proyectos de investigación, incluyendo la

elaboración y edición de publicaciones en relación con las aguas minerales y termales.

Contacto: c.ontiveros@igme.es

M.^a TERESA OROZCO CUENCA es técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Se incorporó al IGME en 1990. Actualmente está adscrita al Servicio de Cartografía Digital del Área de Sistemas de Información Geológica (Vicedirección Técnica). Sus líneas de trabajo están relacionadas con la administración y gestión del sistema de información geográfica y supervisión técnica de la cartografía digital del IGME. Es responsable de la carga, codificación, diseño de la simbología, supervisión y administración de la cartografía geológica vectorial de la Segunda Serie MAGNA. Participa como apoyo en proyectos técnicos y de investigación en el desarrollo de la base de datos cartográfica.

Contacto: t.orozco@igme.es

ANTONIO PEDRERA PARÍAS es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Actualmente es el responsable del Grupo de Investigación Procesos Tectónicos y Recursos Geológicos. Sus líneas de trabajo están relacionadas con la geología estructural y la evolución geodinámica. Durante los últimos años, su investigación está centrada en la formación de cuencas en sectores hiperextendidos y su comportamiento durante los procesos de inversión. Además, trabaja en la caracterización estructural de acuíferos y de potenciales reservorios de hidrógeno.

Contacto: a.pedrer@igme.es

ENRIQUE PEÑALVER MOLLÁ es biólogo especialista en insectos fósiles conservados en rocas laminadas y en ámbar. Fue Premio Extraordinario de Doctorado en 2005 por la Universitat de València y realizó su posdoctorado en el Museo Americano de Historia Natural en Nueva York, donde investigó insectos en ámbar dominicano de hace unos 20 millones de años. Posteriormente, fue investigador Ramón y Cajal. Actualmente es investigador científico del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), en su sede de Valencia. Se ha especializado en la descripción de nuevos géneros y especies de artrópodos fósiles, principalmente insectos, las relaciones ecológicas del pasado y los procesos de fosilización. Actualmente está investigando, dentro de una serie de proyectos del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, el ámbar de hace 105 millones de años presente en varios yacimientos españoles, y la producción en masa de resina durante el Cretácico. Es autor de más de cien artículos científicos en revistas del SCI, y ha publicado o editado varios libros

técnicos, tres libros y dos DVD de divulgación científica.

Contacto: e.penalver@igme.es

RAÚL PÉREZ LÓPEZ es científico titular de OPI en Geología de Terremotos y Volcanes del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), coordinador de la Unidad de Respuesta Geológica de Emergencia (URGE) y actual coordinador del proyecto FAMRAD sobre el estudio de precursores geoquímicos y rayos cósmicos en fallas activas en el sureste de España. Ha participado en tres campañas antárticas en la Base Antártica Española Gabriel de Castilla (2004, 2005 y 2007), en isla Decepción. Ganador del 2004 Structural Geology Award de Midland Valley (Reino Unido) y de la Cruz al Mérito Militar con distintivo blanco de la UME por su labor en La Palma durante la erupción de 2021.

Contacto: r.perez@igme.es

MARÍA ANGELES PERUCHA ATIENZA es técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Es licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid y máster en Hidrología General y Avanzada por el CEDEX. Ha desarrollado su carrera profesional en el IGME, donde comenzó realizando cartografía geológica y geomorfológica. Posteriormente su actividad se ha centrado en el estudio de procesos geológicos activos, relacionados tanto con la geodinámica interna como con la geodinámica externa. Ha trabajado en el estudio de avenidas torrenciales e inundaciones en territorio peninsular y en el archipiélago canario, y también en la caracterización del fenómeno sísmico utilizando los registros geológicos, paleosismológicos y arqueosismológicos en España y en Méjico. Esta actividad se ha desarrollado a través de proyectos competitivos nacionales e internacionales, así como a través de convenios con distintas administraciones nacionales.

Contacto: ma.perucha@igme.es

ÁNGEL PRIETO MARTÍN es licenciado en Ciencias Matemáticas y técnico superior especializado de OPI. Cuenta con veintiseis años de experiencia en sistemas de información, principalmente en la creación de aplicaciones y servicios web para la difusión de información espacial, tanto en el sector privado como en el público. En los últimos veinte años, ha trabajado para el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) y actualmente es el jefe de la Unidad de Desarrollo y Difusión adscrita al Área de Sistemas de Información Geológica, desde donde se gestiona InfoIGME, infraestructura para la difusión de la información geocientífica en este instituto. Contacto: a.prieto@igme.es

EMILIO L. PUEYO MORER es doctor en Geología por la Universidad de Zaragoza (2000) e investigador científico del IGME, institución en la que trabaja desde 2005. Ha realizado estancias prolongadas de investigación durante más de seis años en centros de investigación de Europa y Norteamérica. Es especialista en paleomagnetismo y magnetismo de rocas, y su integración con tectónica, geología estructural, geocronología, o en combinación con otras técnicas geofísicas (gravimetría y magnetometría). La mayor parte de su actividad investigadora se ha centrado en el estudio de la deformación (geometría y cinemática) en sistemas orogénicos y cuencas sedimentarias: Alaska, Alpes, Atlas, Zagros, cordillera Ibérica y, especialmente, en los Pirineos. Durante los últimos diez años ha trabajado en campos más distantes como radiología, bases de datos, biomagnetismo, etc. Contacto: unaim@igme.es

DAVID PULIDO-VELÁZQUEZ es investigador científico en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), donde es director del Departamento de Aguas y Cambio Global desde el año 2021. Desarrolla una investigación multidisciplinar centrada en el estudio de procesos del ciclo hidrológico y la gestión sostenible de recursos hídricos, con especial énfasis en las aguas subterráneas, y de impactos y medidas de adaptación al cambio climático. Es autor de más de sesenta publicaciones del SCI con alto impacto. Tiene una destacada trayectoria de liderazgo en proyectos competitivos nacionales e internacionales. Es Premio Extraordinario de Tesis Doctoral de la UPV e investigador Juan de la Cierva en la UPM. Ha trabajado en la organización de seminarios y jornadas. Entre sus presentaciones como ponente destacar la de la Cumbre Mundial del Clima (COP25). Ha participado en prestigiosos informes, como el MAR1 (MedECC), premiado con el North-South Prize del Consejo de Europa como ejemplo de cooperación entre estados y sociedades para concienciar y planificar la lucha frente al cambio climático. Pertenecer al Grupo de Expertos en Recursos Hídricos de EuroGeoSurveys (EGS-WREG) y ha desarrollado una relevante actividad de dirección y formación de personal.

Contacto: d.pulido@igme.es

ISABEL RÁBANO GUTIÉRREZ del Arroyo es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Entre 1993 y 2017, dirigió el Museo Geominero y, entre 2017 y 2019, fue directora del Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios del IGME. Sus líneas de trabajo, plasmadas en más de doscientas publicaciones, están relacionadas con

la paleontología de invertebrados, el patrimonio paleontológico, la divulgación científica, la historia de la geología y con los estudios de género en la geología española. Desde su responsabilidad como gestora de importantes colecciones geológicas históricas, una de sus líneas de investigación se encuentra orientada a la historia de su institución. En ese sentido, es autora del libro *Los cimientos de la geología. La Comisión del Mapa Geológico de España (1849-1910)* (2015). Ha sido presidenta de la Real Sociedad Española de Historia Natural, vicepresidenta de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero, y en la actualidad preside la Sociedad Española de Paleontología. Coordina la Comisión de Historia de la Geología de la Sociedad Geológica de España y, desde 2006, es miembro de la Comisión Internacional de Historia de la Geología de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS).

Contacto: i.rabano@igme.es

CARMEN REY MORAL es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Su línea de investigación se centra en la aplicación de métodos geofísicos para la caracterización geológica del subsuelo, principalmente métodos gravimétricos y magnéticos. Desde el año 2005 participa activamente en proyectos nacionales e internacionales de modelización geológica en 3D aplicados a recursos minerales, almacenamiento de CO₂ e investigación en ciencia básica. Destaca su participación en proyectos en África como son PLANAGEO (Plan Nacional de Cartografía en Angola) y en Uganda (investigación geofísica en la región de Karamoja). Es secretaria de la Sección de Geofísica Aplicada, dentro de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica Aplicada.

Contacto: c.rey@igme.es

JESÚS REYES ANDRÉS es licenciado en Ciencias Químicas (especialidad Química Analítica) por la UCM en 1983. Realizó su formación durante la beca disfrutada en el IGME durante los años 1984 a 1986 y las estancias en el British Geological Survey (Londres) y el Laboratorium voor Isotopen-Geologie (Amsterdam) sobre temas de geocronología, laboratorios limpios, preparación mecánica de muestras y separación de minerales. En los Laboratorios Generales del Instituto Geológico y Minero de España, ha sido responsable del de Geocronología (1986-1993) y aún lo es del de Geoquímica (1993-actualidad). En este laboratorio se realiza la determinación de elementos mayoritarios, trazas y la caracterización mineralógica en muestras sólidas (suelos, rocas, minerales, materiales geológicos y productos farmacéuticos)

y muestras líquidas (aguas, drenajes ácidos de mina o lixiviados) con diferentes técnicas instrumentales AAS, ICP-AES, ICP-MS, XRD y XRF; también se realizan dataciones geológicas por el método U-Pb por ID-TIMS.

Contacto: j.reyes@igme.es

ALEJANDRO ROBADOR MORENO es científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Ha desarrollado toda su carrera profesional en el IGME desde que entró a formar parte del mismo como becario en el año 1984. Desde 2013 a 2021 ocupó el puesto de jefe de Área de Geología, Geomorfología y Cartografía Geológica de dicha institución. A lo largo de su trayectoria profesional ha dirigido y participado en numerosos proyectos de cartografía geológica, geomorfológica y de procesos activos, tanto en la península ibérica como en Sudamérica y la Antártida, entre los que destaca el programa de cartografía 1:25 000 de la comunidad autónoma de Cantabria. Sus principales líneas de investigación son la estratigrafía, la sedimentología y el análisis de cuenca y eventos sedimentarios y climáticos del Paleoceno y Eoceno, y la evolución geodinámica de la cuenca vasco-cantábrica y el orógeno pirenaico. Su labor de gestión e investigación se coordina con su vocación divulgadora, fruto de la cual es la serie de mapas geológicos divulgativos de espacios naturales protegidos GEONATUR y el libro *Cambios climáticos* (2015).

Contacto: a.robador@igme.es

ANA RODRIGO SANZ es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Su trayectoria profesional se articula en torno a la divulgación científica en el ámbito de las geociencias y la investigación en paleontología de invertebrados. Es autora de libros, monografías, artículos científicos y divulgativos, así como comisaria de diversas exposiciones y ponente en másteres y cursos sobre geología, museología y difusión de la ciencia. Es miembro de las juntas directivas de la Sociedad Española de Paleontología y de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Desde 2017 es la directora del Museo Geominero.

Contacto: a.rodrigo@igme.es

AUGUSTO RODRÍGUEZ GARCÍA es técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) desde 2018. Anteriormente, trabajó en el Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT) de la Universidad de Oviedo, y como profesor asociado en la Universidad de León y consultor especializado en proyectos nacionales e internacionales (Ecuador y República Dominicana). Sus líneas de trabajo están

relacionadas con la cartografía geomorfológica y sus aplicaciones tanto en proyectos de cartografía sistemática a escala 1:50 000 y 1:25 000 como en estudios sobre dinámica de laderas, neotectónica o patrimonio geomorfológico, siendo autor de más de sesenta mapas geomorfológicos en España (Asturias, Galicia, Cantabria, León y Almería) y República Dominicana. Contacto: a.rodriguez@igme.es

JUAN A. RODRÍGUEZ GARCÍA es técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde 1998 lleva trabajando para el actual Servicio de Cartografía Digital del Área de Sistemas de Información Geológica (Vicedirección Técnica). Sus líneas de trabajo habituales se centran en la cartografía digital geológica y geotemática (fundamentalmente, geomorfológica, de procesos activos y del Cuaternario), ya sea en proyectos singulares propios del área, como apoyo a equipos de investigación o en series, entre las que destacan el MAGNA digital, el Plan de Cartografía Geotemática de la República Dominicana o el *Mapa del Cuaternario de España* (en realización). Es doctor en Geología por la Universidad Complutense de Madrid, con una tesis sobre geomorfología regional e impactos del cambio climático sobre procesos geológicos.

Contacto: ja.rodriguez@igme.es

MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ-PASCUA es científico titular de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) desde 2007. Secretario de la Asociación Científica AEQUA desde 2009 al 2022. Su tesis doctoral sobre paleosismología, realizada en la UCM y financiada por el Consejo de Seguridad Nuclear, fue galardonada con el Premio Extraordinario de Tesis Doctoral 1999. Fue profesor universitario de 2001 a 2007 (CEU-San Pablo) y asociado a la UNED de 2011 a 2016. Está especializado en paleosismología lacustre y arqueosismología, así como en la búsqueda de nuevas fuentes de datos de geología aplicadas al estudio de la sismicidad. Pertenece al grupo de trabajo del INQUA Focus Area on Pleistocene seismology and Active Tectonics. Actualmente es miembro del Comité Científico del Geoparque UNESCO Molina de Aragón y el Alto Tajo. Ha trabajado en paleosismología en España, Suiza, Portugal, Italia, México y la Antártida. En relación con la arqueosismología, ha estudiado diferentes yacimientos arqueológicos, entre los que destacan algunos declarados Patrimonio Mundial por la UNESCO: Machupichu (Perú), Teotihuacán (México), Medina Azahara y Complutum (España). También ha intervenido sobre el terreno en las emergencias de los terremotos de Lorca

(2011) y de la Emilia Romagna (2012, Italia) y en la emergencia volcánica de La Palma (2021).

Contacto: ma.rodriguez@igme.es

RAFAEL RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ pertenece al Cuerpo de Ayudantes de Archivos, Bibliotecas y Museos. Desde 2005 trabaja en la biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC); como su responsable a partir de 2014. Realiza tareas de representación de la biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España en las redes del Comité de Documentación Energética, RECIDA e IBERCARTO. Desde 2023 forma parte de la Comisión de Directores de Bibliotecas del CSIC, actuando como portavoz de las bibliotecas del Área de Recursos Naturales.

Contacto: r.rodriguez@igme.es

IDOIA ROSALES FRANCO es investigadora científica en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). En 1995 se doctoró en Ciencias Geológicas por la Universidad del País Vasco, tras lo cual obtuvo una beca del programa Fulbright-MEC para trabajar, entre 1995 y 1997, como *postdoctoral research fellow* en el Departamento de Geología de la University of California Riverside (California, USA). Entre 1997 y 2004 trabajó como investigadora posdoctoral en el Departamento de Estratigrafía y Paleontología de la Universidad del País Vasco. Desde su incorporación en 2005 al IGME como científica titular, es líder del equipo de investigación en sedimentología y diagénesis de carbonatos. Su investigación actual incluye todos los aspectos del estudio de reservorios y sistemas de plataforma carbonatada del Jurásico y Cretácico, y el registro sedimentario y quimioestratigráfico de eventos climáticos mesozoicos y cenozoicos. Ha participado en cuarenta proyectos de investigación, en seis de los cuales ha sido investigadora principal. Es autora de más de 200 contribuciones científicas, que incluyen 52 artículos originales en revistas del SCI y libros internacionales. Ha sido y es directora de siete tesis doctorales y dos de máster.

Contacto: i.rosales@igme.es

JUAN CARLOS RUBIO CAMPOS es licenciado (1981) y doctor en Geología (1990) por la Universidad Complutense de Madrid. En los inicios, colaboró con el Servicio Geológico de Obras Públicas en investigación minera de estaño y wolframio, y con el Departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias en la elaboración de cartografías de Cuaternario. Inició su actividad como hidrogeólogo en la Dirección Provincial del MOPU de Badajoz (entre agosto y octubre de 1983). Se incorporó

al Instituto Geológico y Minero de España de Granada en enero de 1984, donde trabajó hasta su jubilación en diciembre de 2020. En el Instituto ocupó desde junio de 1986 el puesto de jefe de la Unidad Territorial del IGME en Granada. Tiene experiencia en gestión de proyectos (más de 128) propios o en colaboración con Confederaciones Hidrográficas, Diputaciones Provinciales, Universidades y Organismos de la Junta de Andalucía. Ha sido codirector de tres tesis doctorales y autor único o coautor de 126 publicaciones en revistas y libros, y 166 publicaciones en congresos y simposios.

Contacto: juancarlos.rubiocampos@gmail.com

FÉLIX MANUEL RUBIO SÁNCHEZ-AGUILILLA es doctor ingeniero de minas, científico titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), y pertenece al Grupo de Investigación de Geofísica y Geología del Subsuelo (GEOFSUB). Ha desarrollado toda su labor científico-técnica en el campo de la geofísica aplicada, dentro del Área de Geofísica y Teledetección del IGME, de la que ha ostentado su jefatura entre 2017 y 2021. Fue secretario de la Sección de Geofísica Aplicada de la Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica, y desde el año 2020 es vocal institucional suplente del IGME en dicha comisión.

Contacto: fm.rubio@igme.es

FERNANDO RUIZ BERMUDO es técnico superior especializado del Grupo de Hidrogeología Ambiental y Cambio Global (HYGLO-LAB) del Instituto Geológico y Minero (IGME, CSIC). Es licenciado en Ciencias Ambientales por la Universidad de Córdoba. Lleva vinculado al IGME desde 2006, donde ha desarrollado su investigación en la línea de recursos hidrogeológicos. Ha participado como autor o coautor en diversas comunicaciones de congresos nacionales e internacionales, y en publicaciones científicas y en capítulos de libros. Actualmente desempeña su trabajo como jefe de la Unidad Territorial del IGME en Sevilla. Es representante del IGME en varios órganos colegiados de la Administración Hidráulica.

Contacto: f.ruiz@igme.es

ANA RUIZ CONSTÁN es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Su línea de investigación principal se basa en la aplicación de diversas técnicas de prospección geofísica (gravimetría, magnetometría, métodos eléctricos y electromagnéticos) y su integración junto con datos estructurales en modelos geológicos 3D, tanto para la caracterización de estructuras y procesos geodinámicos como para el aprovechamiento y gestión de los recursos o almacenamientos geo-

lógicos y la identificación y cuantificación de peligros geológicos de origen interno. Participa activamente en actividades de divulgación de la geología y actualmente coordina las iniciativas Geología y Geocharlas. En el periodo 2018-2020 fue coordinadora de la Comisión Mujeres y Geología y, desde 2020, es vicepresidenta de la Sociedad Geológica de España.

Contacto: a.ruiz@igme.es

JOSÉ M.^a RUIZ HERNÁNDEZ es técnico superior especializado de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Es licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid en 1990 y máster en Tecnología Hidrogeológica aplicada por la Universidad Politécnica de Madrid en 1991. Sus líneas de trabajo, durante los veinticinco años de trayectoria profesional en el IGME están relacionadas con la hidrogeología y las aguas subterráneas. Ha llevado a cabo diversos estudios sobre evaluación de la contaminación y protección de recursos hídricos subterráneos para la implementación de la Directiva Marco del Agua, de caracterización de la calidad de las aguas subterráneas y de ecosistemas dependientes mediante técnicas hidrogeoquímicas, y para la mejora del conocimiento y evaluación de acuíferos. Desde 2012, es vocal del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y actualmente del CSIC, en la Junta de Gobierno y en el Consejo del Agua de la Demarcación de la Confederación Hidrográfica del Tajo.

Contacto: jm.ruiz@igme.es

ÁNGEL SALAZAR RINCÓN, geólogo con 42 años de experiencia, es técnico superior especializado de los OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) desde 2007. Anteriormente trabajó en exploración de hidrocarburos en diversos países de Europa, Asia y África (Geoservices International), en consultoría en ciencias de la Tierra (Compañía General de Sondeos; autónomo) y en planificación de recursos naturales (Centro de Investigaciones Ambientales Fernando González Bernáldez). Sus líneas de trabajo principales son la cartografía geológica y geomorfológica, geología del Cenozoico, patrimonio geológico y áreas protegidas, y la divulgación. Su interés por la historia de la geología surge en relación con estos últimos temas, la influencia de la geología en el movimiento conservacionista español y la historia de la geología como herramienta divulgativa. Es autor de veintisiete mapas geológicos y geomorfológicos, de un centenar de otras contribuciones científicas y de diversos trabajos divulgativos, tales como *Lagos y hielo en los Piri-*

neos. La memoria perdida del agua (vídeo, 2018) o *Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Guía Geológica* (2020). Es vocal de la Junta de la Sociedad Geológica de España desde 2016, y ha sido vicepresidente de la Comisión de Patrimonio Geológico de dicha sociedad (2017-2022).

Contacto: a.salazar@igme.es

MARGARITA PATRICIA SANABRIA PABÓN es técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde 2016 coordina el servicio de Bases de Datos dentro del Área de Sistemas de Información Geológica. Tiene más de veinte años de experiencia profesional en el campo de los sistemas de información. Ha desarrollado trabajos relacionados con la generación de modelos de datos, la creación de servicios web siguiendo estándares OGC/INSPIRE o los procesos de control de calidad en cartografía digital, y ha participado en proyectos de desarrollo de metodologías de análisis espacial.

Contacto: m.sanabria@igme.es

NIEVES SÁNCHEZ JIMÉNEZ es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). En los últimos años ha centrado su investigación, por un lado, en el estudio de la volcanología en zonas volcánicas activas, el riesgo volcánico y los procesos que los generan y, por otra parte, en el patrimonio geológico y la geoconservación en territorios volcánicos insulares. Estas líneas de trabajo tienen una parte importante de divulgación, por lo que ha participado también en la organización de diferentes jornadas y charlas en las diferentes islas para mejorar el conocimiento de la población sobre estos temas, y en la realización de diversas publicaciones, libros y folletos tanto de carácter divulgativo como especializado. Asimismo, ha participado en misiones internacionales de asesoramiento en volcanes activos en el marco del Mecanismo Europeo de Protección Civil. Es miembro del Comité Científico del PEVOLCA y forma parte del Comité Asesor del PEINPAL (Plan de Emergencias Insulares de La Palma), en ambos como representante del IGME. Desde finales de 2022 es la responsable de la Unidad Territorial de Canarias.

Contacto: n.sanchez@igme.es

KELLY PATRICIA SANDOVAL RINCÓN es profesional técnica especializada contratada en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). En el año 2019, obtuvo el título de magister en Planificación y Gestión de Riesgos Naturales, en la Universidad de Alicante; en el año 2020, ingresó como profesora asistente en la Universidad Industrial de Santander (Colombia) en las asignaturas de Geomorfología,

Geología Ambiental y Sistemas de Información Geográfica; y en el año 2023 se ha incorporado en el IGME dentro del marco del proyecto Tarquín, cuya temática está enfocada a las paleo inundaciones y la morfodinámica fluvial. Sus líneas de trabajo están relacionadas con la cartografía geomorfológica, la morfodinámica y la peligrosidad por movimientos de laderas e inundaciones; y sus intereses de investigación se centran en la mejora del conocimiento sobre la hidromorfodinámica fluvial y su potencial aplicación en los análisis de peligrosidad y riesgo por avenidas torrenciales en cuencas hidrográficas carentes de instrumentación.

Contacto: kp.sandoval@igme.es

PABLO SIERRA-CAMPOS es graduado en Geología y máster por la Universidad de Zaragoza. Su investigación se ha centrado en la aplicación del paleomagnetismo, las fábricas magnéticas y las propiedades magnéticas para realizar dataciones y resolver problemas tectónicos, estructurales y ambientales relacionados con la evolución de cuencas sedimentarias y fallas en distintas zonas de la península ibérica (Pirineos y cordillera Ibérica). Actualmente está realizando la tesis doctoral con un contrato predoctoral FPI (2021-2025 MINECO) en el Instituto Geológico y Minero (IGME, CSIC). Es miembro del Grupo de Investigación RESCLIM y del Grupo de Investigación de Geología Aplicada-GeoAp del Gobierno de Aragón.

Contacto: p.sierra@igme.es

PABLO G. SILVA BARROSO es catedrático del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca. Ha sido presidente de la Asociación Científica AEQUA desde 2009 a 2022 y líder del INQUA Focus Area on Palaeoseismology and Active Tectonics entre los años 2011 y 2015. Ha participado en comisiones de expertos de la IAEA (TEC-DOC on Paleoseismology) (2012-2015) y en la Scientific Board del Área de Natural Hazards del Programa IGCP (UNESCO) desde 2013. Es vocal en la Comisión Nacional de INQUA (2005-actualidad) y en la Comisión Nacional de Geología (Subcomisión de Relaciones Externas; 2007-2009 y 2012-actualidad). Junto con Rodríguez-Pascua, es editor del *Catálogo de Efectos Geológicos de los Terremotos en España*, publicado por IGME-AEQUA en 2014 y reeditado y ampliado en 2019.

Contacto: pgsilva@usal.es

LUIS SOMOZA LOSADA es profesor de investigación en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde 1995 ha dirigido en el IGME numerosos proyectos de investigación sobre geodinámica, emisiones submarinas de hidrocarburos e hidratos de gas en el golfo

de Cádiz, mar de Alborán y Galicia, recursos minerales y riesgos submarinos en Canarias, erupción submarina de El Hierro en 2011-2012, cambio global y efectos de las corrientes oceánicas antárticas en los mares de Scotia y Weddell, tectónica e hidrotermalismo activo en el estrecho de Bransfield e isla Decepción en la Antártida y chimeneas hidrotermales de la dorsal medioatlántica entre Azores e Islandia. Ha sido jefe científico de numerosas campañas oceanográficas en buques como Hespérides, Sarmiento de Gamboa y L'Atalante. Es coordinador científico-técnico del Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación para la ampliación de la plataforma continental española en el golfo de Vizcaya, Galicia y Canarias conforme a la Convención de las Naciones Unidas sobre Derecho del Mar. Ha publicado 177 artículos internacionales de geología marina, 128 en la Web of Science con un índice h de 45. Contacto: l.somoza@igme.es

RUTH SOTO MARÍN es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Su principal línea de investigación es la geología estructural y tectónica. Trabajó en varios centros del país como investigadora antes de incorporarse al IGME en 2009: Universidad de Zaragoza, Universidad de Burgos, Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (hoy Geociencias Barcelona, CSIC) y Universitat de Barcelona. En total ha pasado más de tres años de su carrera profesional en centros de investigación extranjeros formándose en diferentes técnicas (modelización analógica, paleomagnetismo, fábricas magnéticas, modelización geológica 3D, neotectónica) (Italia, Francia, EE. UU., China y México). Es miembro del Grupo de Expertos Geological Mapping and Modelling de EuroGeoSurveys y del Comité Científico del Geoparque de Sobrarbe. Desde 2021 hasta la actualidad es directora del Departamento Geología y Subsuelo del IGME.

Contacto: r.soto@igme.es

ÁNGELA SUÁREZ RODRÍGUEZ es técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) desde 2006 y jefa de su unidad territorial de León. Entre los años 2000-2006 ha sido profesora asociada en la Universidad de León. Tiene más de treinta años de experiencia en proyectos geocientíficos del IGME y otras instituciones nacionales y extranjeras. Ha participado en proyectos de investigación y convenios realizados en España (Castilla y León, Asturias, Galicia y Pirineos), el Caribe y Argentina. Entre ellos, proyectos relacionados con la evolución estructural y las relaciones tectónica-sedimentación de los cin-

turones orogénicos varisco (zona cantábrica) y alpino (cuencas del Duero y el Bierzo). También trabaja en geomorfología y procesos activos, neotectónica y riesgos geológicos tanto en España como en la República Dominicana. Es autora de varias publicaciones científicas y más de setenta mapas geológicos y geomorfológicos en España y República Dominicana.

Contacto: a.suarez@igme.es

DANIEL VÁZQUEZ TARRÍO es profesor ayudante doctor en el Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid. Se doctoró en Geología en la Universidad de Oviedo en el año 2013 con una tesis centrada en la caracterización del transporte de sedimento en el río Narcea (Asturias). Desde entonces, ha tenido una dilatada trayectoria posdoctoral que le ha llevado a trabajar en distintos centros de investigación en Francia (IRSTEA, Laboratorio EVS-CNRS, CEREGE) y España (Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera —hoy Geociencias Barcelona, CSIC—, Universidad de Oviedo, Universidad Politécnica de Madrid), incluido el IGME. Su línea de investigación se ha centrado en el estudio de los procesos morfodinámicos y de transporte de sedimentos en ríos. Estos trabajos de investigación han tenido una triple vertiente: teórica, buscando incrementar el conocimiento existente sobre los mecanismos de transporte de sedimento; aplicada, persiguiendo la transferencia del conocimiento generado sobre la dinámica fluvial a problemas de tipo ingenieril; y metodológica, intentando mejorar los útiles actualmente disponibles para acercarse al estudio del medio fluvial.

Contacto: dvazquo4@ucm.es

LETICIA VEGA MARTÍN es técnica superior especializada de OPI en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Desde 2010 forma parte del equipo del Servicio de Cartografía Digital del Área de Sistemas de Información Geológica. Sus líneas de trabajo están relacionadas con los sistemas de información geográfica aplicados a la cartografía geológica y geotemática, principalmente la relacionada con las aguas subterráneas. Ha participado en la coordinación y gestión cartográfica en todo tipo de proyectos, desde encomiendas de gestión de la Dirección General del Agua a proyectos divulgativos en convenio con otros organismos autonómicos. Es la representante del IGME en el nodo Infraestructura de Datos Espaciales de España, en el Grupo de Trabajo, Seguimiento e Informe del Consejo Directivo de la Infraestructura de Información Geográfica de España y en el Grupo de Trabajo IDEE de la Comisión

Especializada del Consejo Superior Geográfico. Desde 2018 es vocal de la Sociedad Española de Cartografía, Fotogrametría y Teledetección, representante oficial de España de la Asociación Cartográfica Internacional (ICA).
Contacto: l.vega@igme.es

JUANA VEGAS SALAMANCA es científica titular en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Sus investigaciones en patrimonio geológico y geoconservación se remontan al año 1998. Fundadora y primera presidenta de la Asociación Geología de Segovia (2012-2013). Entre 2017 y 2022 fue jefa de Área de Patrimonio Geológico y Minero del IGME. Desde la integración del Instituto en el CSIC, es la coordinadora del Grupo de Investigación en Patrimonio y Geodiversidad. Representante del IGME en el Comité del Patrimonio Natural y la Biodiversidad por el IELIG (2017-actualidad) y en el Comité Nacional Español de Geoparques Mundiales UNESCO (2020-actualidad). Desde 2021 es la secretaria general de la International

Commission on Geoheritage (Unión Internacional de Ciencias Geológicas, IUGS), desde donde han lanzado el programa de inventario mundial IUGS Geological Heritage Sites. Desde 2017 es una de las coordinadoras del programa de ciencia ciudadana Apadrina una Roca.
Contacto: j.vegas@igme.es

SAMUEL ZAMORA IRANZO es científico titular del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC). Estudió Geología en la Universidad de Zaragoza y se licenció en 2004. Realizó su doctorado en la misma universidad finalizando en 2009. Su tesis doctoral versó sobre los fósiles de equinodermos cámbricos del norte de España. Su trabajo obtuvo la máxima calificación posible y fue galardonado con el Premio Extraordinario de Doctorado de la Facultad de Ciencias. Entre 2010 y 2012 trabajó con un contrato posdoctoral en el Museo de Historia Natural de Londres donde investigó sobre equinodermos fósiles y otros invertebrados. En 2013 se incorporó al Departamento de Paleobiología

del Museo Nacional de Ciencias Naturales de los Estados Unidos de América, perteneciente al prestigioso Instituto Smithsonian, con base en Washington DC. En 2014 regresó a España con un contrato de investigación de excelencia Ramón y Cajal destinado en el IGME (Museo Geominero), donde continúa sus investigaciones. Su interés por la paleontología se inició cuando era un niño y pasaba los veranos y fines de semana buscando fósiles en rocas de distintas edades geológicas. Ha publicado numerosos artículos científicos sobre invertebrados fósiles de todo el mundo en revistas internacionales. Es editor de la revista *Journal of Paleontology*, y editor asociado de *Palaio* y *Spanish Journal of Palaeontology*. Además, participa en diversas actividades de divulgación, como conferencias y exposiciones, relacionadas con la paleontología; y es miembro con derecho a voto de la Subcomisión Internacional de Estratigrafía del Cámbrico (IUGS).
Contacto: s.zamora@igme.es



INSTITUTO
GEOLÓGICO
Y MINERO
DE ESPAÑA:
UNA HISTORIA
DE 175 AÑOS



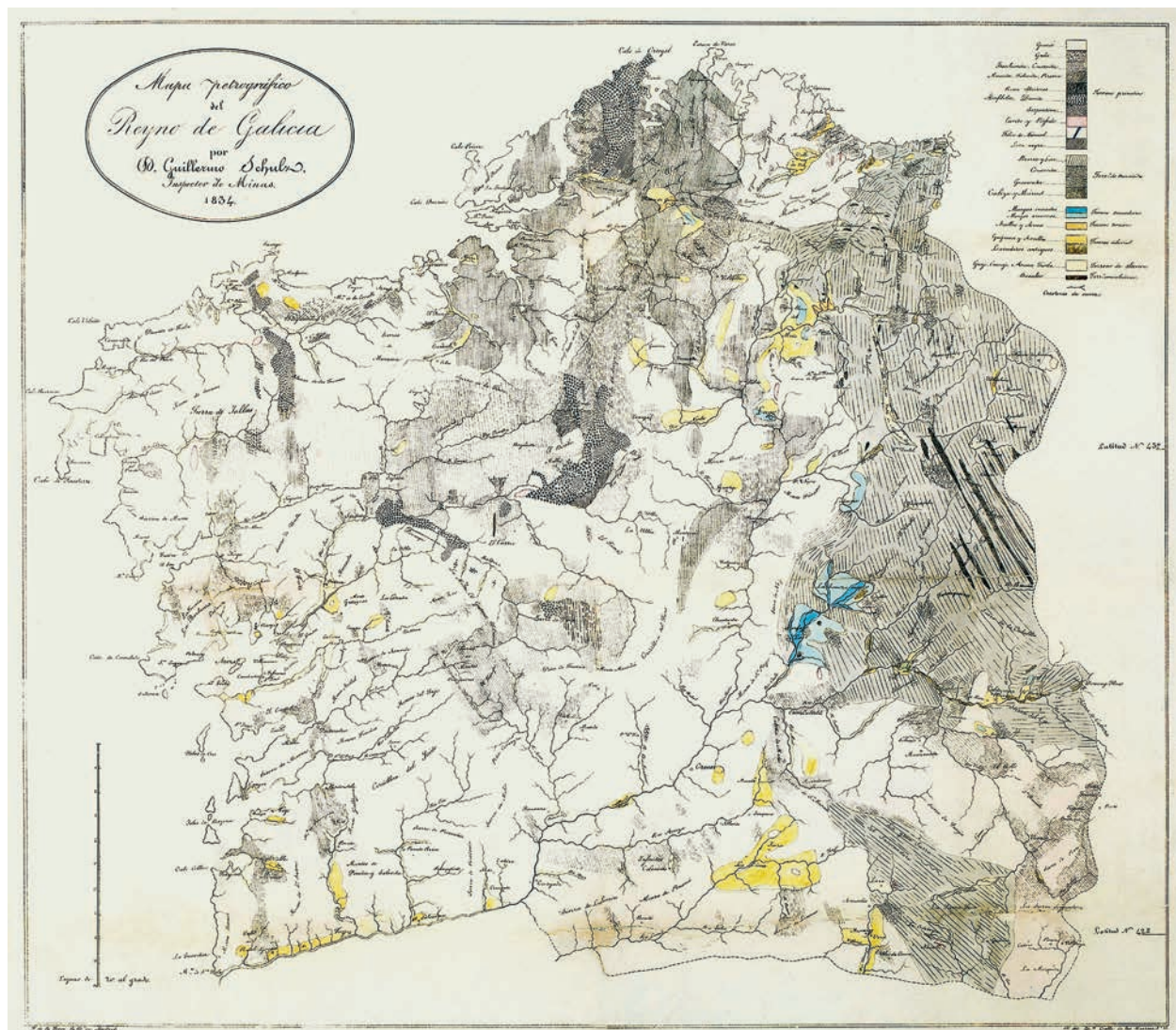


Figura 1. Mapa petrográfico de Galicia, de Guillermo Schulz (1934).
 Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: UNA HISTORIA DE 175 AÑOS*

ISABEL RÁBANO
ÁNGEL SALAZAR

Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC

ANTECEDENTES

Durante el siglo XVIII se sucedieron en España momentos de esplendor para la ciencia gracias al amplio plan de reformas emprendidas para paliar el considerable retraso científico y tecnológico que venía padeciendo el país. Se crearon diversas instituciones científico-técnicas, y muchos investigadores se beneficiaron de pensiones para ampliar sus estudios en diversos países europeos. Testimonio de este esplendor fue la creación de nuevas instalaciones como el Observatorio de la Marina (1753), la Academia de Artillería de Segovia (como Real Colegio de Artillería, 1764), el Real Gabinete de Historia Natural (1771), la Casa Academia de Minas de Almadén (1777), el Real Seminario de Minería de la Nueva España (1783), el Real Gabinete de Máquinas (1791) o el Real Instituto Asturiano de Náutica y Mineralogía (1794) (Lafuente & Peset, 1988). La invasión napoleónica y la guerra de la Independencia truncaron este impulso a

comienzos del siglo XIX poniendo freno, en muchos casos, a memorables esfuerzos de renovación científica. Muchas instituciones pasaron por grandes dificultades para continuar sus actividades. En el campo de la minería, el proceso de emancipación colonial, iniciado en 1809, incidió de forma negativa en los establecimientos científicos creados para la investigación de los recursos naturales americanos.

Por lo que respecta a las investigaciones geológicas, puede decirse que no se formalizaron en España hasta la promulgación de la primera Ley de Minas, en 1825, que tenía como objetivo el fomento y la regulación de la minería, y permitía el desarrollo de la extracción privada. Fue el primer director general de Minas, Fausto Elhuyar, el descubridor del wolframio junto con su hermano Juan José, quien promovió en 1829, por vez primera en nuestro país, el estudio de los criaderos de carbón del norte de España para su beneficio industrial. Otros hechos que marcaron hitos en esa época fueron, por un lado, la contratación por la Dirección General de Minas en 1831 del ingeniero de minas alemán Guillermo Schulz para levantar el mapa geológico del noroeste de España | fig. 1 |, un territorio con importantes

* Contribución al proyecto PID2021-123323NB-I00 / AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE del Ministerio de Ciencia e Innovación.

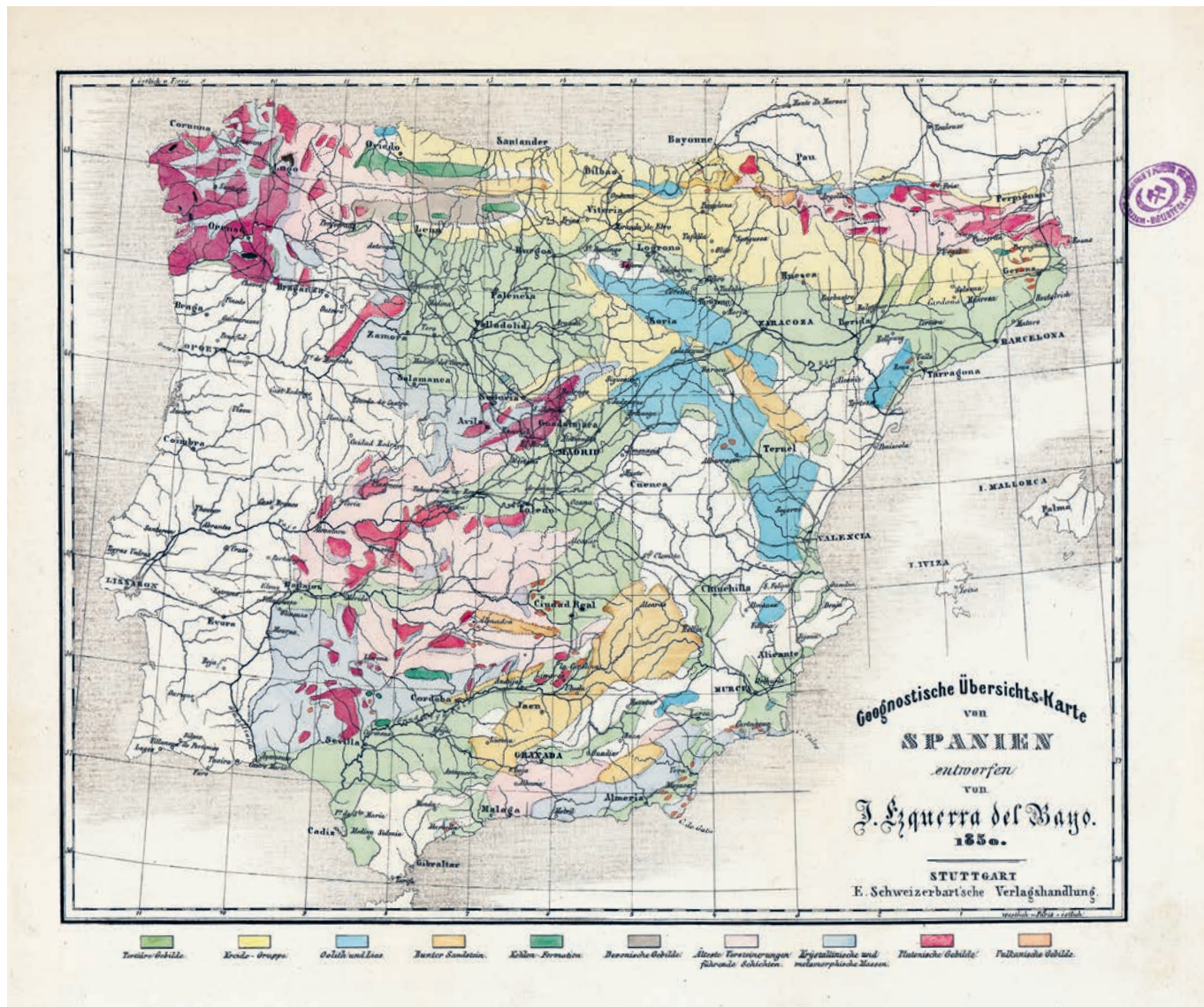


Figura 2. Bosquejo geológico de España, a escala aproximada de 1:5 000 000, de Joaquín Ezquerra del Bayo (1850). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

recursos minerales. Por otro, el encargo realizado en 1832 al militar Ángel Vallejo para participar en el primer proyecto del Mapa Geológico de España, estudio que comenzó por Cataluña y del que únicamente se conoce lo poco que publicó en los tomos 3 y 5 del *Bulletin de la Société Géologique de France* (Aragonés, 1999). Un tercero, la publicación en 1850 por el ingeniero de minas Joaquín Ezquerro del Bayo, en una revista alemana, del primer esbozo geológico de España, en el que dejó grandes espacios del territorio en blanco por ausencia de información | fig. 2 |. Y, finalmente, otro hito importante, protagonizado también por Ezquerro del Bayo, fue la traducción al castellano, publicada en 1847, de la obra *Elementos de geología*, de Charles Lyell, que supuso la difusión del actualismo geológico en España (Hernández-Sampelayo & Ríos, 1948). Al trabajo de estas personas, al que se agregaron estudios regionales realizados por ingenieros desde sus distritos mineros, hay que sumar el de las investigaciones llevadas a cabo por otros ingenieros, geólogos y naturalistas, algunos de ellos extranjeros que, por diferentes motivos, se interesaron por España durante la primera mitad del siglo XIX | fig. 3 (véanse *infra* pp. 44-45) |. No fue hasta 1849, cuando un Gobierno moderado al servicio de la reina Isabel II, impulsó un proyecto de investigación, con un enfoque holístico, de los recursos naturales del país para el beneficio de la industria, la agricultura y la ganadería.

DE LA COMISIÓN DE LA CARTA GEOLÓGICA A LA JUNTA GENERAL DE ESTADÍSTICA

La *Gaceta de Madrid* del viernes 20 de julio de 1849 publicó un real decreto, que había sido rubricado el 12 de julio por la reina Isabel II en el Real Sitio de San Ildefonso, donde se encontraba disfrutando del periodo estival, por el que se creaba «una comisión para formar la carta geológica de Madrid y reunir y coordinar los datos para la general del reino». Nació así la Comisión de la Carta Geológica | fig. 4 | (conocida más tarde como *Comisión del Mapa Geológico*) en el marco de un plan posilustrado promovido por el ministro Juan Bravo Murillo, con el que se institucionalizaron las investigaciones geológicas en España, y en el que el científico

Mariano de la Paz Graells jugó también un papel decisivo (Rábano & Aragón, 2007).

A pesar del título expresado en la norma, la comisión no se iba a ocupar únicamente del mapa geológico, ya que para cumplir con su cometido debía «abrazar los estudios que en geografía, meteorología, geognosia, mineralogía, botánica, zoología y paleontología», de manera que solo así podía conseguir «la descripción completa de un país extenso». El Real Decreto advertía igualmente sobre la forma de abordar los estudios, «elevarse desde las partes al todo», es decir, plantear un modelo para reunir toda la información de una provincia, la de Madrid, y continuar con el resto de ellas hasta culminar en el conocimiento integral de la geología, la geografía y los recursos naturales del país. En esencia, nos encontramos ante un proyecto de Estado en el que la alianza de ingenieros y naturalistas debía proporcionar a la nación unas valiosas herramientas para la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

La Comisión se estructuró en cinco secciones: Geográfico-Meteorológica, Geológico-Mineralógica, Geológico-Paleontológica, Botánica y Zoológica. De la primera se encargó el ingeniero de caminos José Subercase, y su objetivo era el de trazar el mapa geográfico de la provincia de Madrid, que constituiría la base sobre la que el resto de las secciones plasmarían sus resultados. La segunda fue encomendada



Figura 4. Sello administrativo de la Comisión de la Carta Geológica.

MAJORQUE

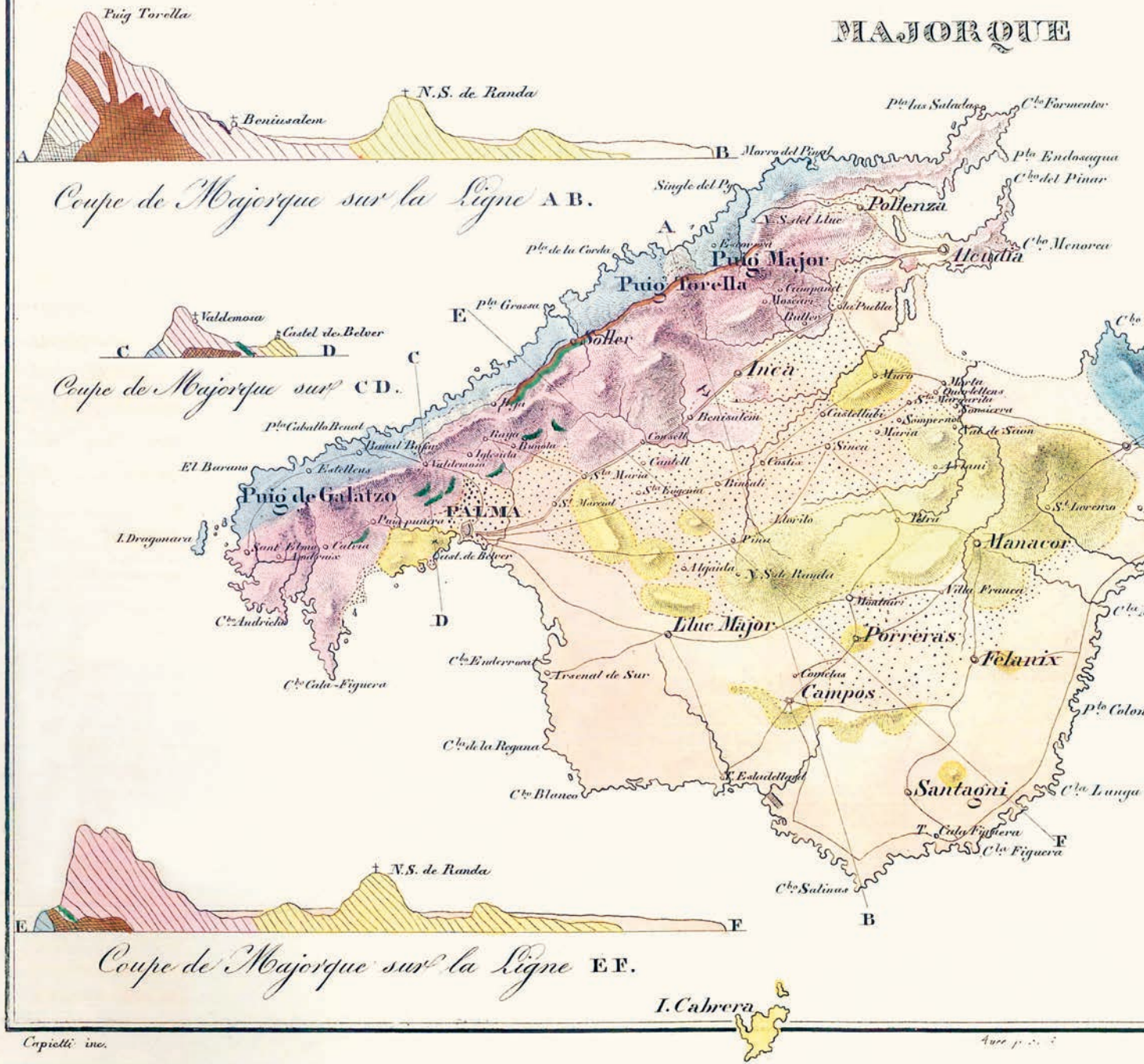
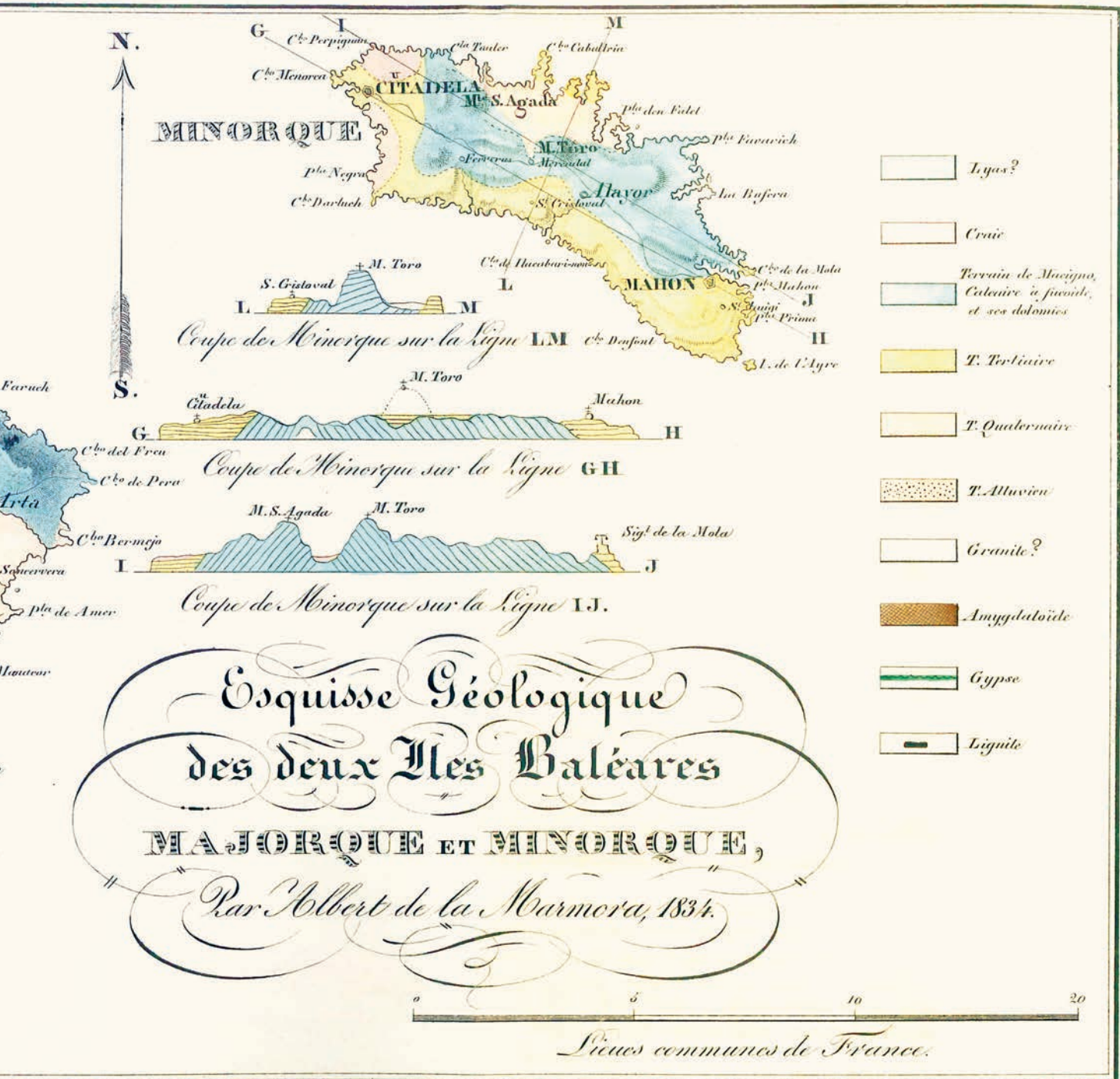


Figura 3. Mapa geológico de Mallorca y Menorca, de Alberto della Marmora (1835). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.



- Lias?
- Craie
- Terrain de Mucigno, Calcaire à spongie, et ses dolomies
- T. Tertiaire
- T. Quaternaire
- T. Alluvien
- Granite?
- Amygdaloïde
- Gypse
- Lignite

Tr. Agalla et Degen. in Turin. 1834

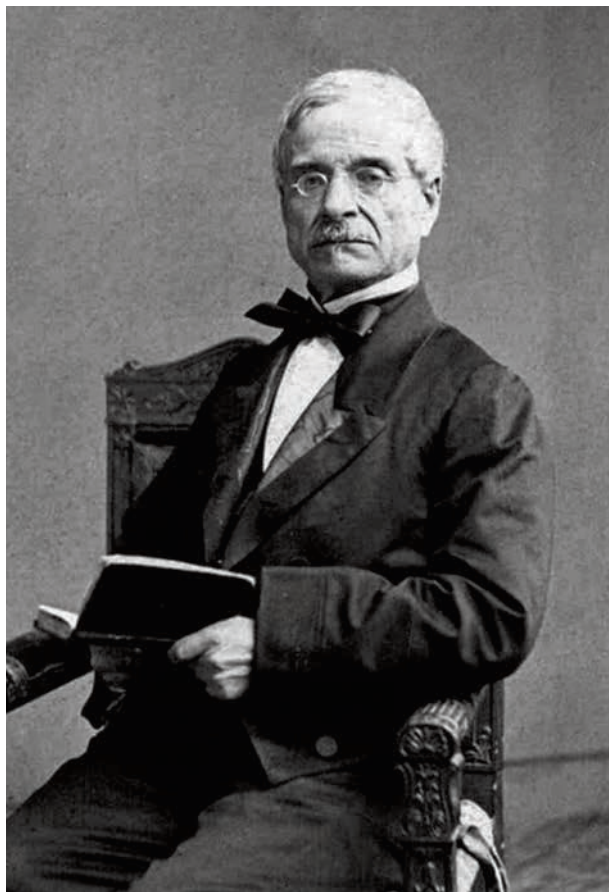


Figura 5. Casiano de Prado y Vallo (ca. 1853). Estudio de fotografía Bisson Frères (París). Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.



Figura 6. Mariano de la Paz Graells. Fotografía publicada en el número 1 de la revista *Graellsia* (1943). Tomado de Rábano (2015).

al ingeniero de minas Rafael Amar de la Torre y tenía como objetivo el reconocimiento de los terrenos ígneos de la provincia. Para los terrenos sedimentarios se contó con otro ingeniero de minas, Casiano de Prado | fig. 5 |. Ambas secciones debían levantar, en un principio, el mapa geológico de la provincia de Madrid y proseguir con los del resto de las provincias para obtener un conocimiento integral de la geología del país. Por su parte, las secciones Zoológica y Botánica fueron confiadas a los naturalistas Mariano de la Paz Graells | fig. 6 | y Vicente Cutanda, respectivamente, científicos del Museo de Ciencias Naturales y del Jardín Botánico. De estos cinco personajes, fueron sin duda Prado y Graells

los que más actividad desarrollaron desde sus secciones (Rábano, 2015).

El primer presidente de la Comisión fue el militar Fermín Arteta, con una presencia efímera y sin ocuparse del cargo. Tras su designación como senador del reino, en diciembre de 1849, le sucedió otro militar, Francisco de Luxán | fig. 7 |, quien había recibido una sólida formación geológica. Su nombramiento en 1854 como ministro de Fomento le apartó de la presidencia. Fue entonces cuando llegó a dirigir los trabajos de la Comisión el ingeniero de minas de origen alemán Guillermo Schulz | fig. 8 |, quien renunció en 1857, al jubilarse de todos sus cargos oficiales. En esos



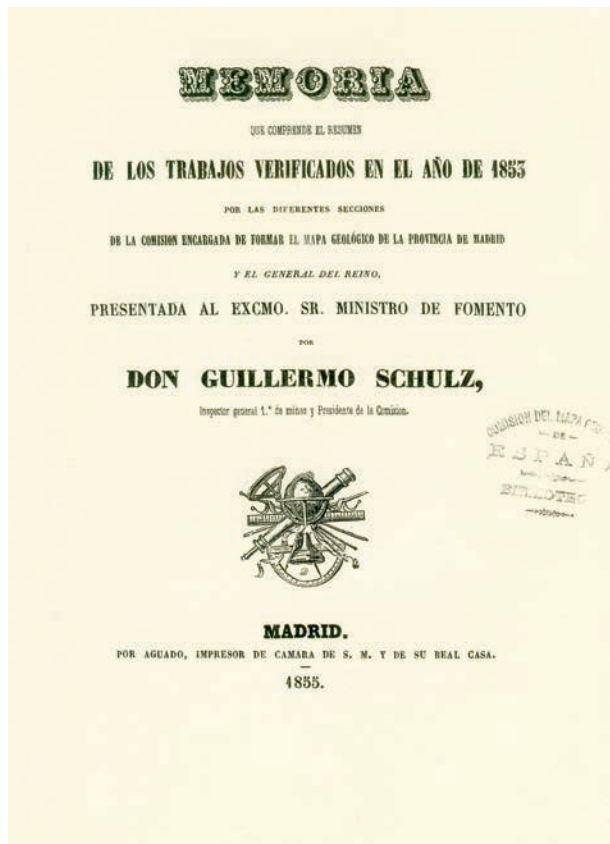
Figura 7. Francisco de Luxán y Miguel-Romero. Retrato en formato *carte-de-visite*. Museo del Ejército.

momentos la Comisión se encontraba en entredicho en medios parlamentarios por sus escasos resultados, si bien se confiaba en su continuidad, esperando el nombramiento de un ingeniero para ocupar este cargo (muy probablemente Casiano de Prado). Para sorpresa del Cuerpo de Minas, el ministro de Fomento, Claudio Moyano, optó por nombrar a un alto ejecutivo al servicio del Estado y político relevante del Partido Moderado, el matemático Vicente Vázquez Queipo (Rábano, 2013) | fig. 9 |, quien ocupó la presidencia hasta que, por el Real Decreto de 20 de agosto de 1859, fue cancelado el proyecto diseñado desde el ministerio de Bravo Murillo diez años atrás.

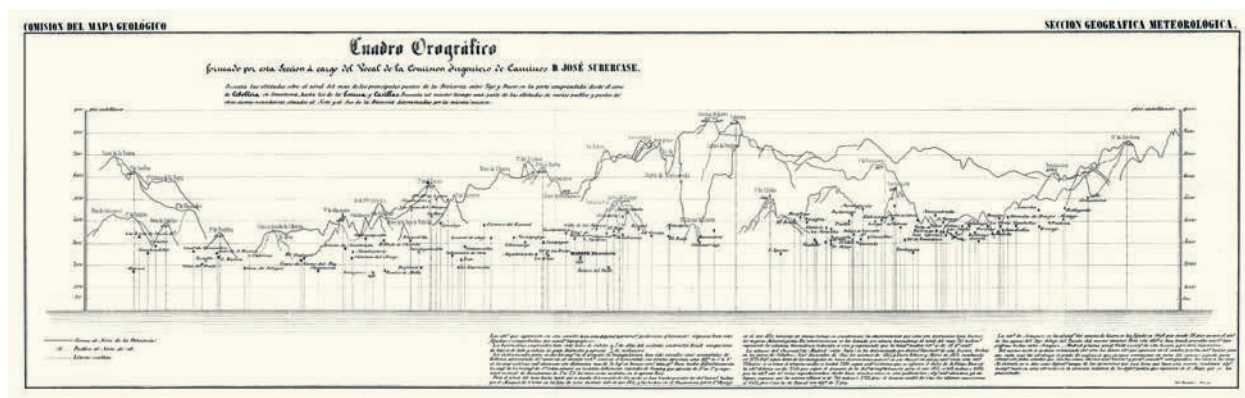


Figura 8. Guillermo Schulz y Schweizer. Galería de retratos del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

Figura 9. Vicente Vázquez Queipo. Retrato realizado por Federico de Madrazo. Museo Fernando Blanco de Lema, Cee (A Coruña). Tomado de Rábano (2015).



A través de las memorias anuales de la Comisión de la Carta Geológica | fig. 10 |, se conoce que las secciones funcionaron de forma irregular y con graves problemas económicos durante los años en que estuvo en activo, entre 1849 y 1859 (Rábano, 2015). La Geográfica fue la que dispuso de más recursos, económicos y humanos, pero el objetivo de completar el mapa geográfico de Madrid no llegó a consumarse. La formación en 1853 de una Comisión del Mapa Geográfico por el Ministerio de la Guerra supuso el traspaso al nuevo comité de casi todas las competencias, por lo que la sección quedó muy disminuida, reducida a los aspectos topográficos | fig. 11 |. De las dos secciones geológicas, la Geológico-Paleontológica, encomendada a Casiano de Prado, fue la que primero alcanzó los objetivos propuestos. Muy pronto, en 1853, publicó el mapa geológico de la provincia de Madrid, a una escala 1:400 000 | fig. 12 |. La intensa dedicación de Prado a los estudios geológicos tuvo como resultado que ese mismo año diese a la imprenta también el de la provincia de Segovia, y en años posteriores los de las provincias de Valladolid (1854) y Palencia (1856). Con el fin de avanzar en el conocimiento de algunas regiones, en 1854 se crearon unas nuevas secciones de apoyo a los trabajos geológicos, como la dedicada al estudio geológico



▲ Figura 10. Memoria de actividades realizadas por la Comisión durante 1853. Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

Figura 11. Cuadro de las alturas de la provincia de Madrid, entre Peña de Cenicientos y Peña Cebollera, medidas por la Sección Geográfica entre 1850 y 1851 y reproducida en la memoria anual de actividades de 1851 de la Comisión del Mapa Geológico (Rábano, 2015).

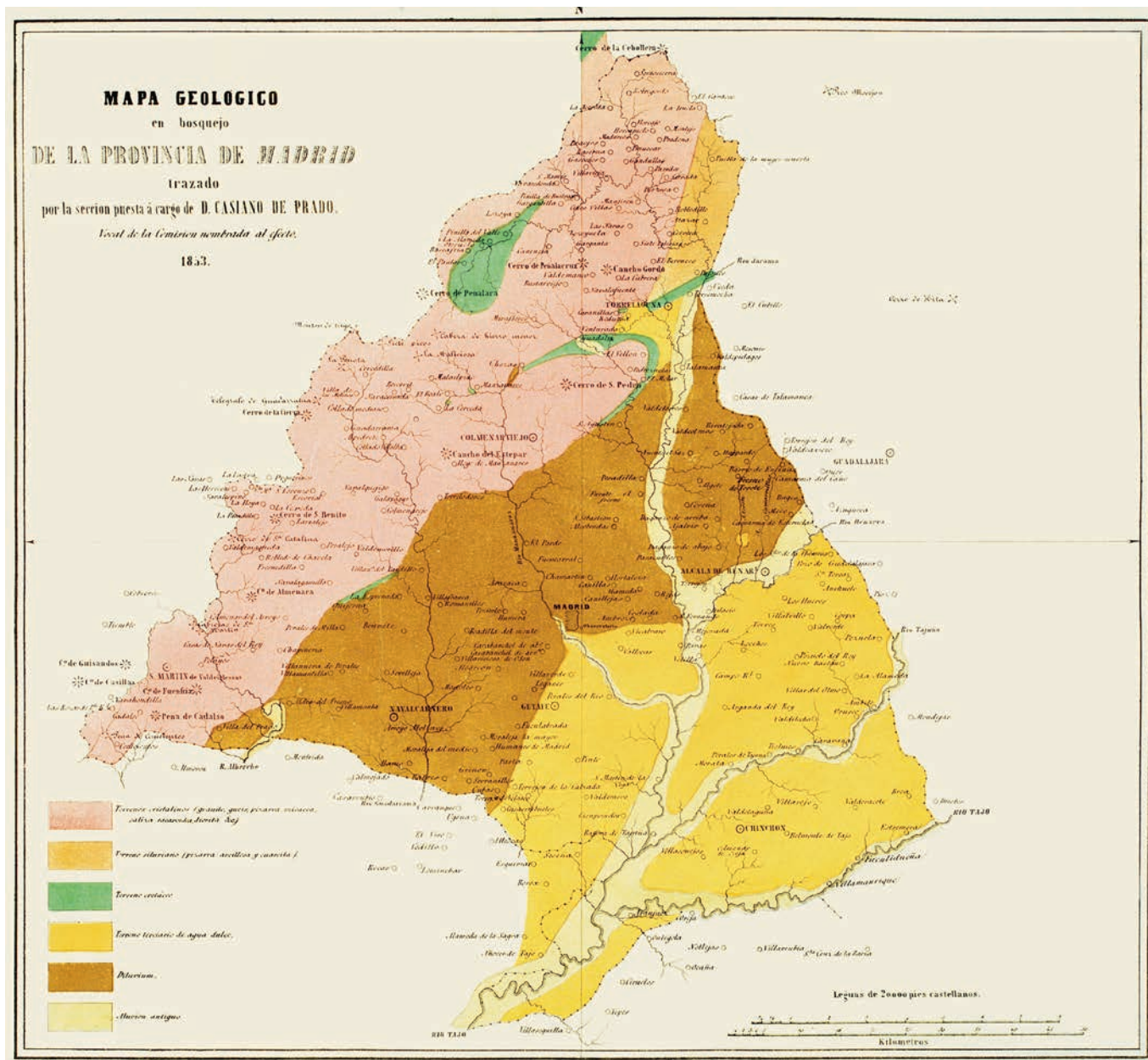


Figura 12. Mapa geológico en bosquejo de la provincia de Madrid, a escala 1:400 000, por Casiano de Prado (1853).

Fue el primero de esta provincia que publicó su autor, utilizando como base geográfica la de Francisco Coello. Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

del reino de Valencia, encargada a Juan Vilanova y Piera, o las consagradas a las investigaciones de las cuencas carboníferas, que tampoco llegaron a alcanzar los objetivos propuestos. Por su parte, la Sección Geológico-Mineralógica apenas desarrolló actividad. Vicente Cutanda, responsable de la Botánica, tuvo siempre muchos problemas para compatibilizar sus tareas docentes y administrativas en el Jardín Botánico con las campañas de campo, por lo que sus resultados se retrasaron en el tiempo. Hasta 1861 no publicó *Flora compendiada de Madrid y su provincia*. Sin embargo, la Sección Zoológica fue muy activa debido a la fuerte personalidad de su responsable, Mariano de la Paz Graells. Sus campañas para reconocer la fauna madrileña fueron muy numerosas, y llegó a completar algunos catálogos faunísticos, que publicó profusamente en las memorias de la Comisión | fig. 13 |. Sin embargo, la tarea era tan ingente y el personal tan escaso que la desaparición de la Comisión impidió que concluyera sus trabajos.

En 1856 el gobierno liberal de Narváez creó la Comisión de Estadística General del Reino, mediante la cual el Estado regulaba, por vez primera, los servicios oficiales de cartografía y estadística de la nación. Desde entonces, el levantamiento de un catastro parcelario sobre el que basar una política fiscal más justa y eficiente constituyó uno de los propósitos fundamentales de las administraciones liberales. Así, a lo largo de 1858 se gestó la Ley de Medición del Territorio, respaldada por otro gobierno liberal, el de O'Donnell, cuyo fin último era el de centralizar todas las operaciones cartográficas del Estado (Muro *et al.*, 1996; Moral Ruiz *et al.*, 2007). Una vez que Isabel II sancionó la norma el 5 de junio de 1859, que vino acompañada por un incremento de los fondos dedicados a Estadística (la Comisión se reorganizó en 1861 como Junta General de Estadística), la cartografía geológica se vio arrastrada a esta nueva organización y la Comisión de la Carta Geológica fue disuelta.

En el marco de la nueva organización se formaron unas brigadas geológicas que prosiguieron con los trabajos de levantamiento del mapa geológico. Tres de los ingenieros de minas destinados en la recién extinguida organización continuaron en la nueva como responsables de estas

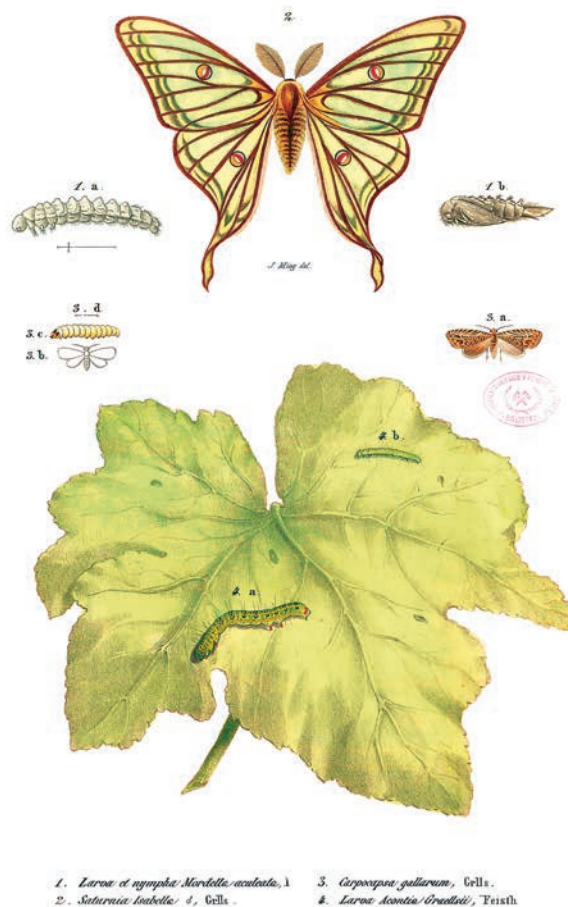


Figura 13. Lámina 6 de la memoria de actividades de la Comisión del Mapa Geológico correspondiente al año 1855, en la que Graells figuró el macho de su especie de lepidóptero nocturno «*Saturnia isabellae*» (= *Graellsia isabellae*), la denominada mariposa isabelina por estar dedicada a la reina Isabel II.



Figura 14. Boscquejo geológico de la provincia de Burgos, a escala 1:400 000, por Juan Manuel Aránzazu (1862). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

brigadas: Casiano de Prado, Amalio Maestre y Juan Manuel Aránzazu, a los que se unieron más tarde Federico de Botella y Felipe Martín Donayre. Se abría una nueva etapa prometedora para el avance en el conocimiento de la geología de España. Entre 1860 y 1867 se completaron los estudios geológicos de las provincias de Palencia, Santander, Teruel, Barcelona, Tarragona, Burgos | fig. 14 |, Navarra, Álava, Guipúzcoa, Vizcaya, Logroño, Soria, Zaragoza, Guadalajara y Madrid (Rábano, 2015). El de esta última provincia lo publicó Casiano de Prado en 1864, mejorando el que ya había realizado en 1853. Este mapa fue el complemento de su obra fundamental sobre la geología madrileña, la *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid* (Prado, 1864). Además, y como reacción a las noticias llegadas desde Francia de que Édouard de Verneuil estaba preparando un mapa de España para contribuir al mapa geológico de Europa, la Junta General de Estadística encomendó a Amalio Maestre, a finales de 1861, formar un mapa geológico general del país con los datos existentes hasta ese momento, que fue publicado en 1864 | fig. 15 |. Esto no fue óbice para que, ese mismo año, Verneuil concluyese también la *Carte géologique de l'Espagne et du Portugal*, en colaboración con Édouard de Collomb.

Un nuevo intento para agilizar los trabajos de Estadística en relación con el levantamiento de los mapas geológicos provinciales lo constituyó la creación de una comisión de ingenieros de minas, cuyo objetivo era el de «dirigir y ordenar todos los estudios y trabajos necesarios para el trazado, publicación y descripción de los mapas geológicos provinciales», la conocida como *Comisión Permanente de Geología Industrial* (*Gaceta de Madrid*, n.º 48, de 17.02.1865). Fue la consecuencia del nuevo reglamento del Cuerpo de Minas de ese mismo año, por el que se estableció entre sus objetivos la formación de mapas geológicos generales y provinciales. Se radicó en la Escuela de Minas y su dirección fue encomendada a Casiano de Prado, si bien su repentino fallecimiento en 1866 provocó que esta comisión quedase en suspenso.

La revolución de septiembre de 1868 puso fin al reinado de Isabel II y dio paso a gobiernos democráticos que se encontraron con las arcas vacías y una deuda difícil de

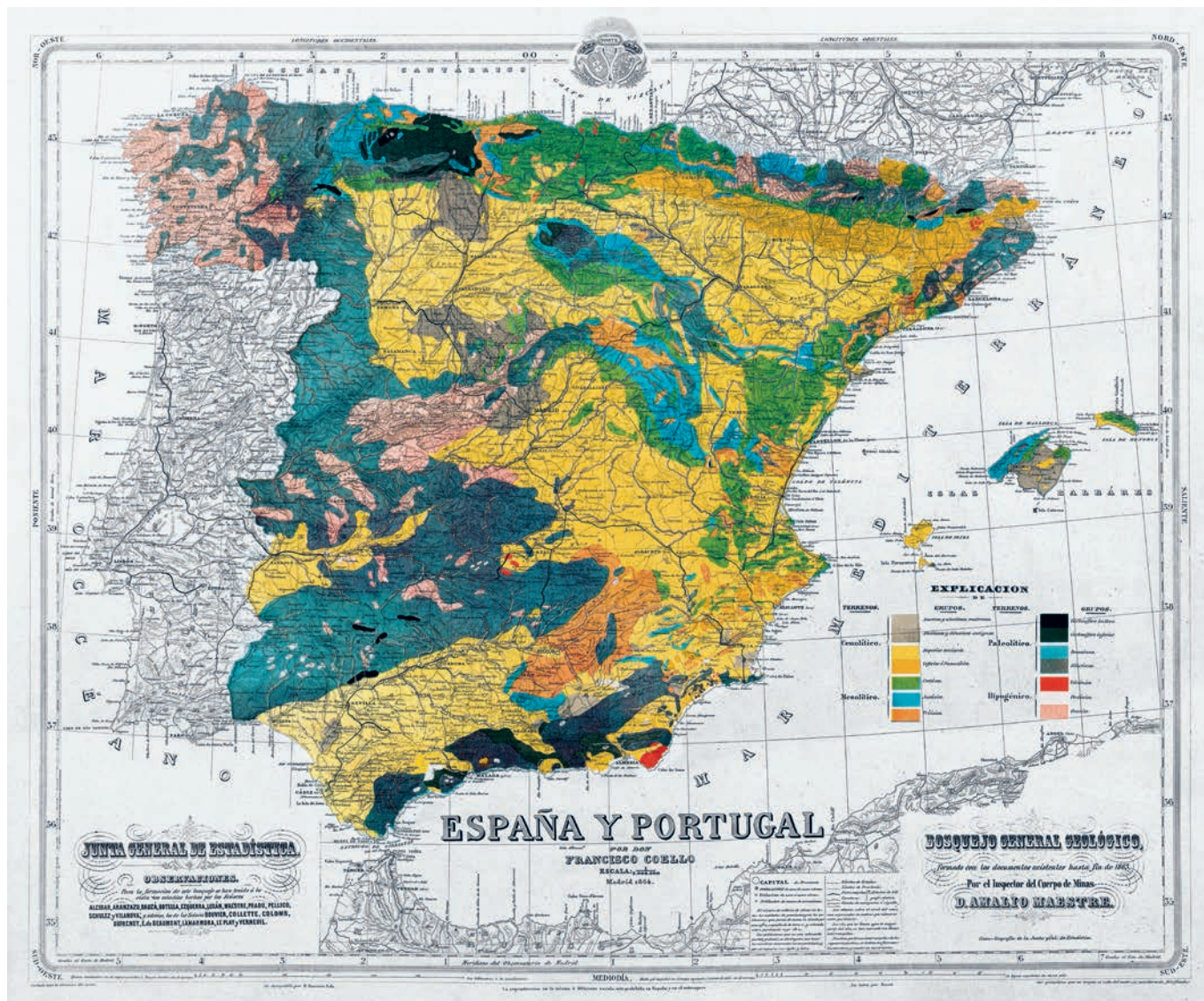


Figura 15. Mapa geológico de España a escala 1:2000 000, por Amalio Maestre (1864). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

afrontar. El Ministerio de Fomento canceló muchas de las operaciones que se venían desarrollando en el campo de los recursos naturales y modificó las estrategias en el ámbito de los mineros con el fin de atraer capitales extranjeros. La Junta General de Estadística canceló la ejecución de los mapas temáticos; las brigadas geológicas fueron suprimidas y cesaron los trabajos para el levantamiento del mapa geológico.

LA COMISIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO

Tras muchos años de tejer y destejer las estrategias para estudiar el territorio por parte de diferentes gobiernos isabelinos, la situación cambió con la construcción de un modelo liberal del Estado. El Sexenio Democrático (1868-1874) y la liberalización de la monarquía borbónica, restaurada a finales de 1874, impulsó el cultivo de las ciencias de la Tierra. Durante el Sexenio se sentaron las bases para una reforma duradera de las instituciones que debían protagonizar estas tareas. Nos referimos a la creación en 1870, por una parte, de la Comisión del Mapa Geológico (Decreto de 28 de abril; *Gaceta de Madrid*, n.º 119, de 29.04.1870), que sería la responsable única de la cartografía geológica nacional; y por otra, del Instituto Geográfico (Decreto de 12 de septiembre; *Gaceta de Madrid*, n.º 257, de 14.09.1870), actual Instituto Geográfico Nacional, al que se le asignaron los estudios geográficos, topográficos y catastrales, y cuyo primer director fue Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero. Estas decisiones pasaron por las manos del entonces ministro de Fomento José Echegaray, un personaje polifacético y singular de la España finisecular. Ingeniero de caminos, político, economista, matemático y escritor (recibió el Premio Nobel de Literatura en 1904), impulsó importantes mejoras en el ámbito de su ministerio.

Esta nueva Comisión del Mapa Geológico quedó bajo la dependencia exclusiva del Cuerpo de Ingenieros de Minas, y se articuló en torno a siete vocales nombrados directamente por el ministro de Fomento. La presidencia fue encomendada a Felipe Bauzá y Rávara, y se incorporaron



Figura 16. Lucas Mallada y Pueyo. Archivo de la familia (Rábano, 2015).

algunos de los ingenieros que habían trabajado para Estadística, como Federico de Botella y Felipe Martín Donayre (Casiano de Prado había fallecido en 1866). En el equipo se integró, también en 1870, un joven Lucas Mallada | fig. 16 |, quien llegó a jugar un papel fundamental en la historia de la geología y de la paleontología nacional (Alastrué y Castillo, 1983).

La nueva organización para la formación de los mapas geológicos se estructuró en tres secciones y, como en las etapas anteriores, se requirió a los ingenieros destinados en las provincias para que facilitasen sus datos con el fin de avanzar más rápidamente en las cartografías regionales. Pero, como en ocasiones anteriores, la realidad fue muy diferente. Una vez más se repetía la historia. El Gobierno no dotó a este nuevo proyecto de los recursos necesarios, y tampoco obtuvo la respuesta deseada desde los distritos mineros. Entre 1870 y 1873 los resultados fueron muy esca-

sos y todos ellos quedaron inéditos por falta de fondos para su publicación.

Felipe Bauzá se jubiló a comienzos de 1873. Un decreto de reorganización de la Comisión, de 28 de marzo de ese mismo año (*Gaceta de Madrid*, n.º 88, de 29.03.1873), recién proclamada la Primera República, siendo ministro de Fomento el gallego Eduardo Chao, farmacéutico y naturalista, dotó de una nueva estructura a la organización: por una parte, una Sección Inspector, instalada en la Junta Facultativa de Minería, que aprobaría las memorias anuales y los trabajos que fueran a ser sometidos a publicación; y por otra, una Comisión Ejecutiva dedicada específicamente a la formación del mapa geológico. La dirección de esta última recayó en el ingeniero de minas Manuel Fernández de Castro | fig. 17 |, quien permaneció en el cargo durante veintidós años, hasta su fallecimiento en 1895 (Rábano, 2022). Esta larga presidencia proporcionó a la Comisión una estabilidad y un esplendor en cuanto a logros que nunca había alcanzado hasta el momento. Fernández de Castro mantuvo siempre una gran determinación en la consecución de los objetivos propuestos, cuyo fin último era la formación del *Mapa geológico de España*.

Para la difusión de los resultados, Fernández de Castro creó dos publicaciones, a semejanza de lo que venían haciendo las sociedades geológicas de Londres y de Francia. Por un lado, las *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España*, que se destinaron a publicar los bosquejos geológicos provinciales que llegarían a configurar el mapa geológico nacional; y, por otro, el *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, que recogía los avances que se iban produciendo en los estudios geológico-mineros del país, así como traducciones al español de artículos de investigadores extranjeros sobre geología de España. La primera *Memoria* se publicó en 1873 y el primer *Boletín* en 1874 —este último continúa en la actualidad bajo el nombre de *Boletín Geológico y Minero* y es la revista oficial del Instituto Geológico y Minero de España—. En esta revista se publicaron también las memorias de las comisiones, española (presidida por Manuel Fernández de Castro) y francesa, que se formaron a raíz del terremoto de magnitud 6,7, con epicentro en Arenas del Rey (Granada), que el 25 de diciembre de 1884 asoló el poniente granadino



Figura 17. Manuel Fernández de Castro y Suero. Galería de retratos del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

y la provincia de Málaga (Fernández de Castro *et al.*, 1885; Rábano, 2022). La Comisión del Mapa Geológico fue también la destinataria del encargo que, por Real Decreto de 10 de febrero de 1888 (*Gaceta de Madrid*, n.º 43, de 12.02.1888), recibió del Ministerio de Fomento para formar «colecciones de los minerales, rocas y fósiles» que se encontraban en el territorio de la Nación, «para enriquecer con ellas los gabinetes de Historia Natural de los establecimientos de enseñanza sostenidos o auxiliados por el Estado». Este mandato se mantuvo en todas las normas publicadas posteriormente y el IGME continuó remitiendo estas colecciones a los centros educativos hasta la década de 1970.

Fernández de Castro fue el gran ideólogo y gestor del moderno mapa geológico, pero nunca hubiera podido alcanzar su objetivo sin tener a su lado a personas que se involucraron decididamente en la ejecución de sus planes. Fueron muchos los ingenieros de minas que, bajo su dirección, formaron parte de la Comisión del Mapa Geológico y alcanzaron importantes resultados en relación con el levantamiento cartográfico (para los mapas que se finalizaron, ver Rábano, 2015: tablas 10 a 13). Entre ellos cabe destacar a Daniel de Cortázar, Joaquín Gonzalo y Tarín, Rafael Sánchez Lozano, Gabriel Puig y Larraz, Pedro Palacios y al ya mencionado Lucas Mallada.

En 1889, dieciséis años después de tomar las riendas de la Comisión (y cuarenta años tras la creación de la primera, en 1849), Fernández de Castro logró ver cumplidos sus objetivos: la finalización del *Mapa Geológico de España* a escala 1:400 000. Planificó dos ediciones: una de 16 hojas, «de lujo», con un tamaño de hoja de 1 m × 0,75 m, y la segunda, formada por 64 hojas, «la edición económica», además de un mapa de conjunto a escala 1:1 500 000 | fig. 18 |. Este último formato se debió al acuerdo tomado en el Congreso Geológico Internacional de 1881, por el que se unificó la escala que debían utilizar los diferentes países para contribuir al *Mapa geológico de Europa*. La confianza que tenía depositada Fernández de Castro en su leal colaborador Lucas Mallada hizo que fuera la persona designada para redactar la monumental explicación de este mapa, que este desgranó a lo largo de siete volúmenes (Mallada, 1895-1911).

LA «EDAD DE PLATA» DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Los sucesores de Fernández de Castro en la dirección de la Comisión, Justo Egozcue y Cía (entre 1895 y 1900), Gregorio Esteban de la Reguera (abril a diciembre de 1900) y Ramón Pellico y Molinillo (diciembre de 1900 a junio de 1901), no alcanzaron resultados dignos de mención. No fue hasta el nombramiento como presidente de la Comisión, en junio de 1901, de un estrecho colaborador de Fernández de Castro, Daniel de Cortázar | fig. 19 |, cuando se retomó el espíritu de trabajo del añorado director. El *Boletín* y las *Memorias*, que habían quedado en suspenso durante los últimos años, volvieron a publicarse; continuaron las investigaciones geológico-mineras y se abordaron nuevos temas de estudio, como los sismológicos, encomendados al Cuerpo de Minas (Real Decreto de 21 de enero; *Gaceta de Madrid*, n.º 24, de 24.01.1905), y los de las aguas subterráneas que pudieran ser alumbradas por pozos en cada una de las cuencas hidrográficas españolas (Real Decreto de 15 de julio; *Gaceta de Madrid*, n.º 205, de 24.07.1905; López Geta, 2013).

El cese en 1908 de Cortázar, por unas diferencias con el ministro de Fomento, dio paso al nombramiento de Luis Mariano Vidal y Carreras, un ingeniero de minas catalán que solo estuvo un año al frente de la Comisión, pero trajo nuevos aires a la misma, modernizando sus publicaciones. Le sucedió Luis Adaro y Magro | fig. 20 |, quien ocupó la dirección entre 1909 y 1915 e impulsó una nueva reorganización en 1910 (Real Decreto de 28 de junio; *Gaceta de Madrid*, n.º 180, de 29.06.1910), por la que la institución adoptó la denominación de *Instituto Geológico de España (IGE)*. Al haber desaparecido la Junta Facultativa de Minería, la nueva organización se hizo depender del Ministerio de Fomento, bajo «la alta inspección» del Consejo de Minería. La plantilla seguía integrada por ingenieros del Cuerpo de Minas, y quedaron agregados al Instituto los profesores de la Escuela de Minas encargados de las cátedras de Geología, Paleontología, Mineralogía, Química Analítica y Topografía. Continuaba siendo responsable de la cartografía geológica del país, pero también iba a protagonizar nuevas líneas de actuación, por la necesidad «impuesta por

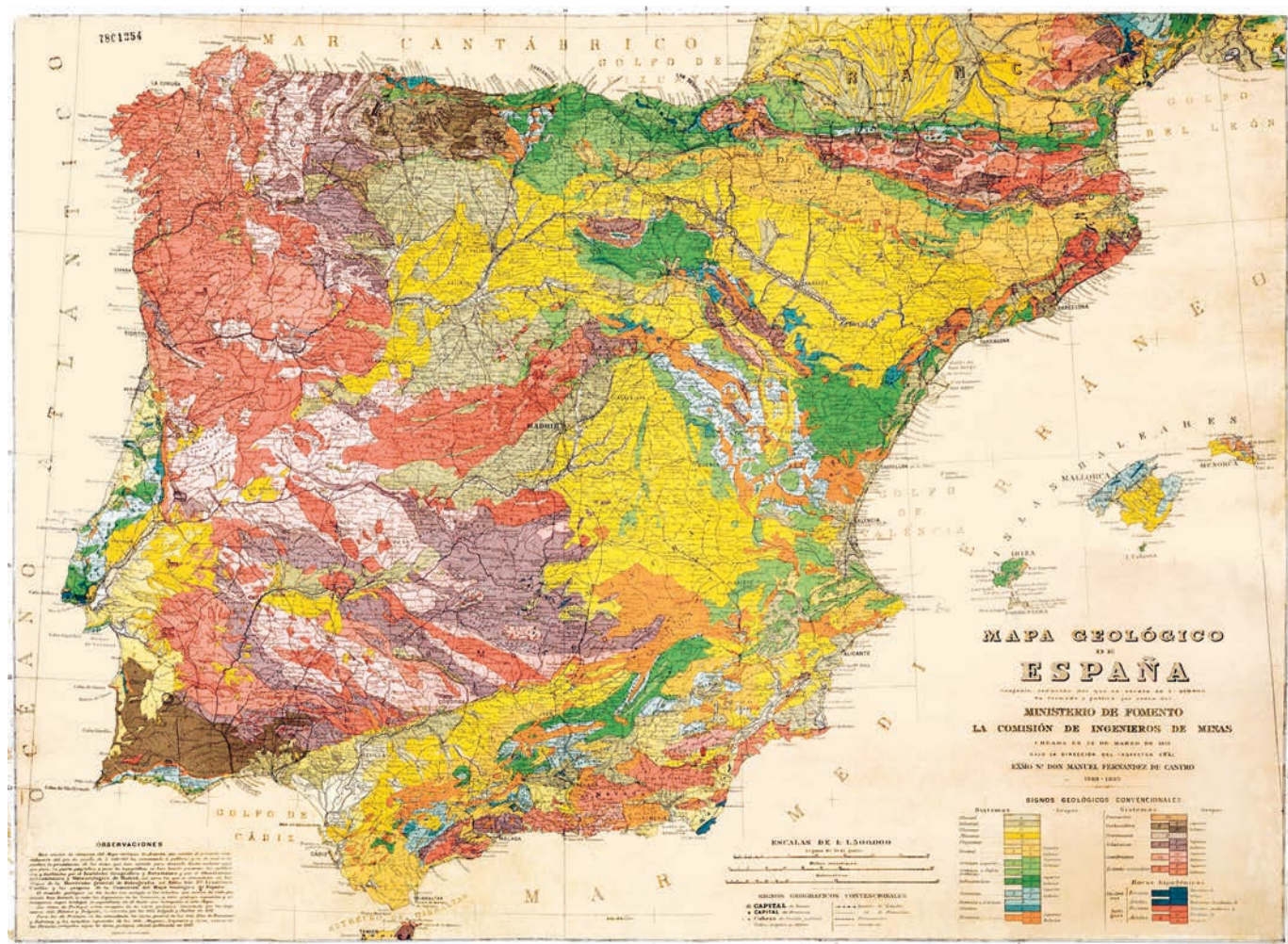


Figura 18. Mapa geológico de España a escala 1:1 500 000, realizado bajo la dirección de Manuel Fernández de Castro y cuya primera edición fue publicada en 1889. Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.



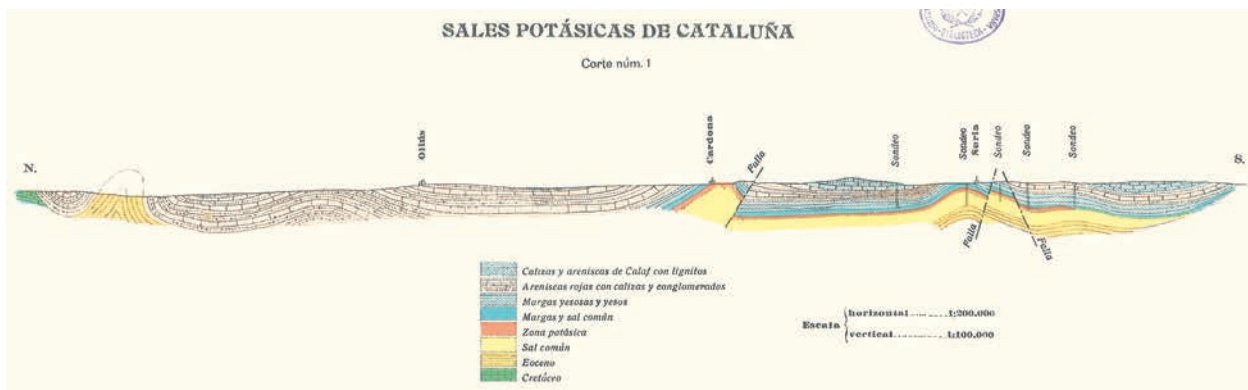
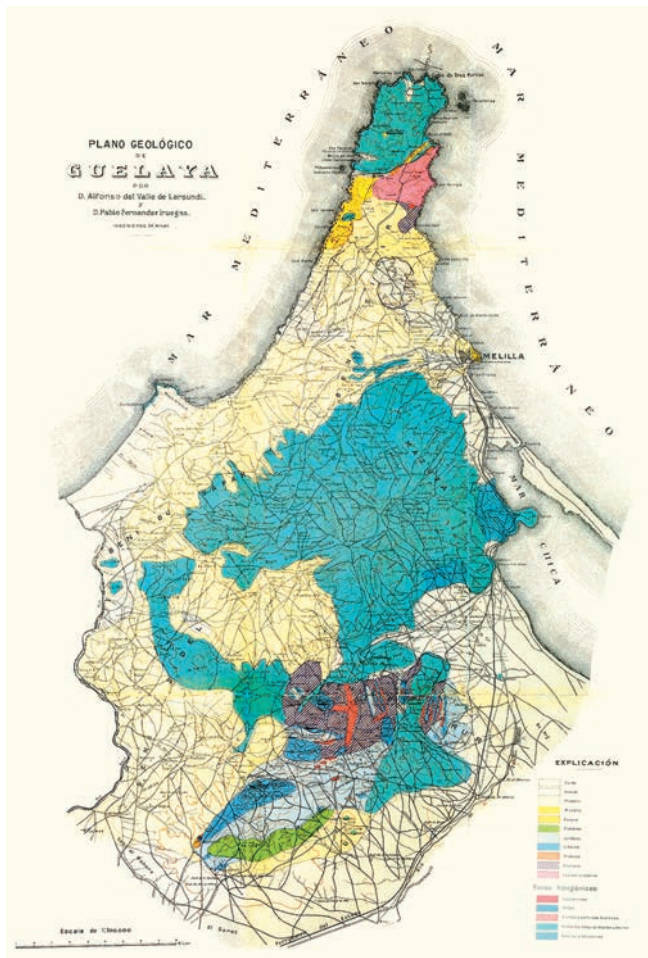
Figura 19. Daniel de Cortázar y Larrubia (ca. 1910). Fotografía Biedma. Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.



Figura 20. Luis Adaro y Magro (ca. 1898). Archivo de la familia (Rábano, 2015).

las circunstancias, de ensanchar la esfera de acción de los servicios especiales y propios de la Comisión, y de dar a este organismo técnico el carácter permanente e importante de un verdadero Instituto Geológico». Además de continuar por mandato legal con los estudios sismológicos e hidrogeológicos (se crea la nueva Sección de Hidrología Subterránea; López Geta, 2013), y con el estudio y descripción de los yacimientos minerales (en 1913 se inició la serie de memorias sobre los «criaderos de hierro de España», publicadas hasta 1944), se le encomendó al IGE la investigación de los recursos energéticos (Sánchez Rodríguez, 2000).

Otra línea importante de investigación se centró en la geología y minería del protectorado español de Marruecos. En 1909, el director del IGE, Luis Adaro junto con Alfonso del Valle de Lersundi acompañaron al ministro de Fomento en un viaje por Melilla y los territorios recién ocupados en el norte de Marruecos. La finalidad era el reconocimiento geológico, en especial del cordón de La Restinga, para evaluar su potencial hidrogeológico y minero, del que resultó un primer bosquejo geológico de Guelaya a escala 1:300 000, perfeccionado más tarde a escala 1:100 000 | fig. 21 |, y un plano de los yacimientos de hierro de Beni-Bu-Ifrur, en la



▲ Figura 21. Plano geológico de Guelaya, primer mapa del entorno de Melilla, realizado por Alfonso del Valle Lersundi y Pablo Fernández Iruegas (1917) en el protectorado español de Marruecos. Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

Figura 22. Corte geológico en la cuenca potásica de Cataluña (Marín, 1926).

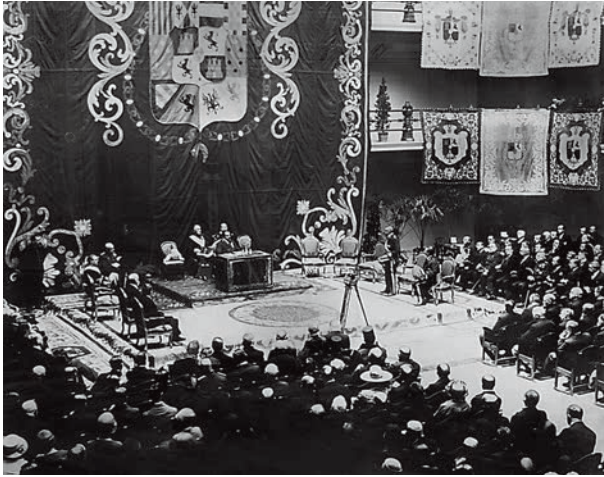


Figura 23. Izquierda, inauguración del XIV Congreso Geológico Internacional, el 24 de mayo de 1926, en el Salón de Colecciones del nuevo edificio del Instituto Geológico de España de la calle Ríos Rosas de Madrid, sede actual del Museo Geominero.



Derecha, Alfonso XIII acompañado del presidente del congreso, César Rubio (a su derecha). Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC. Ambas imágenes tomadas de Dupuy de Lôme (1926).

actual provincia de Nador (Adaro & Valle Lersundi, 1910). Esta expedición fue el germen de la Comisión de Estudios Geológicos de Marruecos, propuesta por Adaro en 1915 al Ministerio de Estado, cuyos resultados se plasmaron en extensas memorias publicadas en el *Boletín del Instituto Geológico de España* en 1917, 1921 y 1927 bajo el título «Estudios relativos a la geología de Marruecos». La comisión estuvo integrada por los también ingenieros del IGE Pablo Fernández Iruegas, Enrique Dupuy de Lôme Vidiella y Javier Milans del Bosch, coordinados por Agustín Marín y Bertrán de Lis (González Bueno & Gomis Blanco, 2007).

No queremos dejar de mencionar las investigaciones llevadas a cabo en las cuencas potásicas de Cataluña. A raíz del descubrimiento por Emilio Viader i Solé de las primeras manifestaciones de sales potásicas en Súria (Barcelona), el Ministerio de Fomento se interesó pronto por ello y encomendó al IGE las investigaciones geológicas para demarcar las reservas a favor del Estado (Real Decreto de 1 de octubre; *Gaceta de Madrid*, n.º 275, de 02.10.1914; Marín, 1929; Galera, 2005) | fig. 22 |.

Entre los meses de mayo y junio de 1926 se celebró en Madrid el XIV Congreso Geológico Internacional, organizado por el Instituto Geológico de España, con César Rubio al frente de tan importante evento, en calidad de presidente del Consejo de Minería y exdirector del Instituto, y Enrique Dupuy de Lôme en la secretaría | fig. 23 |. Se trató del congreso más concurrido de todos los que se habían organizado hasta la fecha, con 1123 participantes. Además de las sesiones científicas, que se desarrollaron entre el 23 y el 31 de mayo, se diseñaron quince excursiones geológicas por el territorio peninsular, insular y el protectorado español de Marruecos (Ayala-Carcedo *et al.*, 2005). El congreso fue un éxito al concebirse como un encuentro de conciliación y de cerrar las brechas que, desde un punto de vista científico, se habían producido entre varios países por causa de la Primera Guerra Mundial. Además, ciertos científicos extranjeros focalizaron en España sus investigaciones a partir de entonces, hecho que redundó en el avance notable del conocimiento geológico del territorio. No fue por casualidad también que, tras el congreso, España se convirtiera en



Figura 24. Luis de la Peña y Braña. Galería de retratos del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

sede de dos nuevas comisiones internacionales, la de geofísica y la de sondeos. Durante el mismo se aprobó que el Instituto Geológico de España fuese el organismo que reuniera todos los datos e informes generados por las comisiones nacionales de ambas temáticas: la primera, a propuesta del presidente del Instituto de Geofísica Aplicada de Rusia, Dimitri Mouchkétoff; y la segunda, como consecuencia de la proposición realizada por el director del Instituto Geológico de Rumanía, Georges Macovei (Dupuy de Lôme, 1926; Anduaga, 2009). En relación con esta última, a finales de 1927 se constituyó el Comité Nacional de Sondeos de España, con sede en el IGME y con el profesor de la Escuela de Minas, agregado al IGME, Pablo Fábrega como presidente (Propósitos, 1929).

Otra consecuencia inmediata del congreso de 1926, con el ingeniero de minas Luis de la Peña y Braña en la dirección del IGE | fig. 24 |, fue una nueva reorganización para abordar

«numerosos estudios geológicos y mineros de grandísimo interés mundial [...] y para seguir el movimiento internacional de los estudios de su competencia, aplicando los procedimientos modernos» (Real Decreto de 7 de enero; *Gaceta de Madrid*, n.º 8, de 08.01.1927). Es decir, con esta renovación se buscaba ampliar los objetivos científico-técnicos en geología y minería y progresar en los trabajos que se venían realizando en el estudio de las cuencas potásicas, fosfáticas y de yacimientos de interés energético, como el petróleo (Dupuy de Lôme, 1937; Navarro & Puche, 2018), aplicando para ello las nuevas técnicas geofísicas, además de continuar con los relativos a los estudios de los yacimientos minerales, al alumbramiento de aguas subterráneas y «de cuantas materias y productos contenidos en el subsuelo» pudieran ser objeto de una utilización industrial.

A raíz de esta reforma, que implicó también la nueva denominación de *Instituto Geológico y Minero de España (IGME)*, se produjeron muchas novedades en la organización, como la implantación de una nueva sección dedicada a los trabajos geofísicos, con un laboratorio propio; y la creación de otros laboratorios científico-técnicos, entre ellos uno destinado a «rocas y materiales empleados en la construcción o en la industria» (Reglamento del Instituto Geológico y Minero de España; *Gaceta de Madrid*, n.º 95, de 05.04.1927). La nueva regulación aportó también otras novedades relativas al régimen jurídico y a la gestión. Se dotó al IGME de personalidad jurídica suficiente para administrar, adquirir y poseer bienes de donaciones, subvenciones y otros ingresos que no figurasen en los presupuestos generales del Estado, y que se administrarían a través de un consejo de patronato. Además, el IGME podría actuar a partir de entonces para los diferentes ministerios del Gobierno, las diputaciones provinciales, corporaciones locales, particulares e internacionalmente, es decir, se dotó al IGME de cierta autonomía. En cuanto a la cartografía geológica, se postuló un nuevo modelo. Entre las muchas novedades que fueron introducidas, estaba el cambio de escala —de 1:400 000 pasó a 1:50 000—, por ser la utilizada por el Instituto Geográfico y Estadístico (actual Instituto Geográfico Nacional) en sus hojas topográficas (Gavala, 1927). Entre 1928, cuando se publicaron las primeras | fig. 25 |, y 1936, se

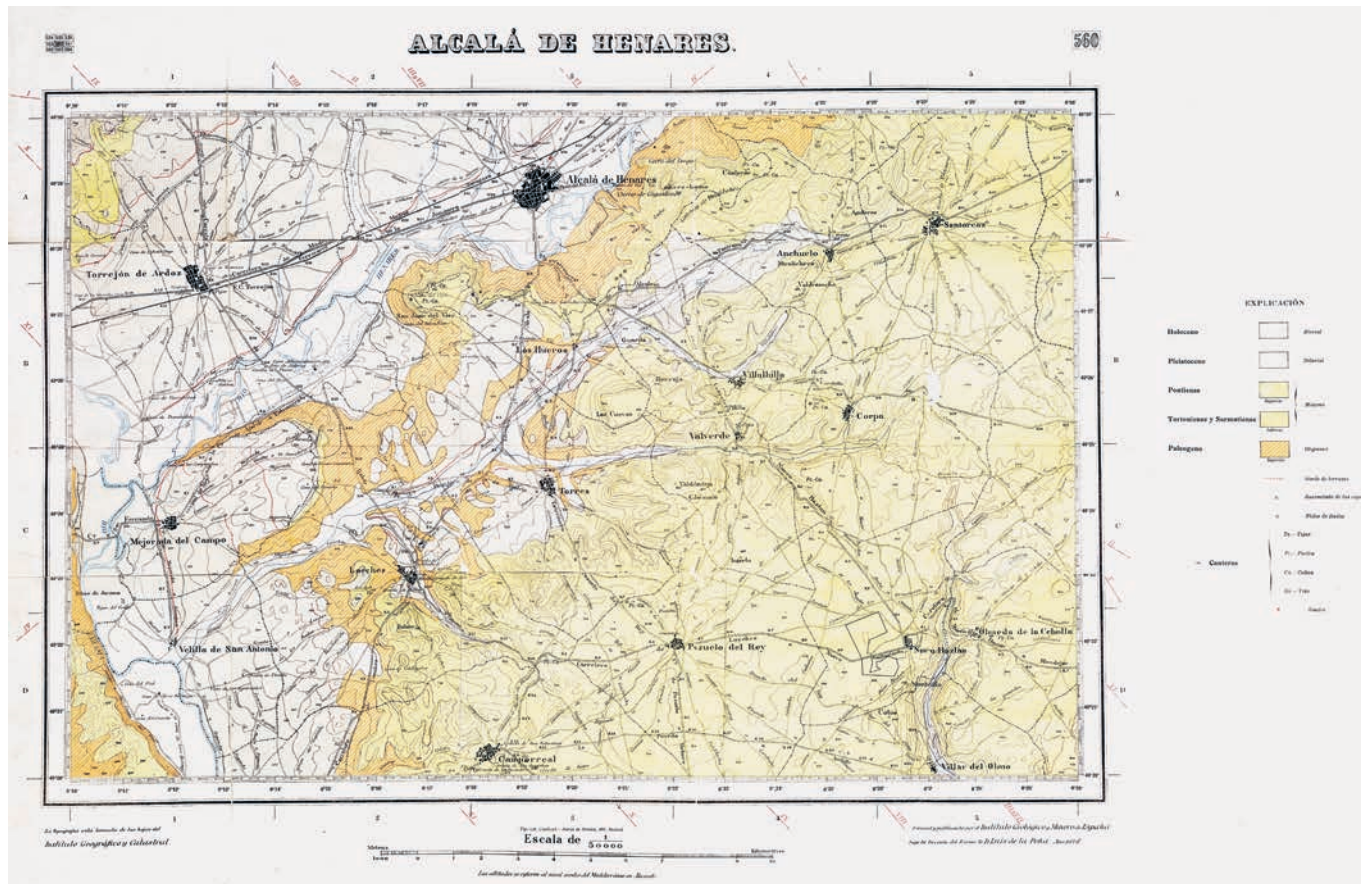


Figura 25. Hoja geológica de Alcalá de Henares (escala 1:50 000, 1928).
Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

finalizaron 71 con sus correspondientes memorias, cuatro de ellas en el protectorado español de Marruecos.

La crisis político-económica ocurrida entre 1929 y 1931 supuso una disminución de los presupuestos asignados, lo que ralentizó temporalmente las actividades del IGME. El Gobierno de la República modernizó el reglamento en 1934 (Decreto de 14 de febrero; *Gaceta de Madrid*, n.º 47, de 16.02.1934), dotando a la institución de un órgano de gobierno participativo y de funcionamiento democrático, la Junta de Vocales, con competencias para decidir sobre la planificación de trabajos, la distribución de los recursos económicos, la selección de los trabajos a publicar por el IGME y la asistencia por delegación a congresos internacionales. Una nueva medida en cuanto a la organización de la institución, también llevada a cabo en 1934, y que supuso imprimirle un carácter más descentralizado, fue la creación de divisiones geológicas e hidrogeológicas agregadas, con carácter temporal, a los distritos mineros, de forma que los ingenieros destinados en ellas dependerían de los jefes de los distritos mineros en cuanto a situación e incidencias, y de la dirección del Instituto para cuanto se relacionase con sus trabajos científicos (Decreto de 3 de agosto; *Gaceta de Madrid*, n.º 215, de 03.08.1934). En 1932 el IGME publicó una actualización del mapa geológico de España a escala 1:1 000 000 (reeditado en 1936), así como un mapa geológico-minero de España a escala 1:1 500 000 (en 1934), que recogía los datos estadísticos de la producción minera de España en 1933, y que fue reeditado en 1936 con una curiosa utilización del morado en la paleta de colores | fig. 26 |.

EL IGME DURANTE LA GUERRA CIVIL Y LOS PRIMEROS AÑOS DE LA DICTADURA

Poco después del fallido golpe militar del 18 julio de 1936, se decretó que la dirección del IGME fuera un cargo de libre designación, así como la cesantía del secretario y de una serie de vocales del IGME (*Gaceta de Madrid*, n.º 210, de 28.07.1936; *Gaceta de Madrid*, n.º 217, de 04.08.1936) por haber «tenido participación en el movimiento subversivo o fueran notoriamente enemigos del Régimen» (*Gaceta de*

Madrid, n.º 204, de 22.07.1936). Uno de dichos ingenieros, Manuel Cincúnegui Chacón, fue asesinado en Madrid ese mismo año (Meseguer Pardo, 1950).

José Royo Gómez, geólogo y paleontólogo del Museo de Ciencias Naturales y colaborador habitual del IGME, fue nombrado director general de Minas y sustituyó al director del IGME Luis de la Peña, quien llevaba diez años ocupando el cargo, por Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (*Gaceta de Madrid*, n.º 217, de 04.08.1936). En el mes de noviembre del mismo año, la dirección del IGME se trasladó a Valencia junto con el Gobierno de la República (*Gaceta de la República*, n.º 331, de 26.11.1936). La guerra supuso la interrupción de la edición de los mapas geológicos y demás publicaciones del IGME, la paralización de las obras de construcción de la sede y diversos daños en el edificio, pero no hubo pérdidas sustanciales en las colecciones, la biblioteca y los laboratorios (Rábano *et al.*, 2006; Navarro Comet, 2022).

Aunque la Guerra Civil acabó oficialmente el 1 de abril de 1939, el Estado franquista inició su configuración con anterioridad. El general sublevado Francisco Franco, que había asumido la jefatura del Estado del bando rebelde en 1936, nombró en enero de 1938 el primero de los doce gobiernos que presidió personalmente. Como titular del Ministerio de Industria y Comercio, con sede en Bilbao, nombró a una persona de su confianza, el ingeniero naval, militar y ferrolano Juan Antonio Suanzes. En el mes de junio, el gobierno franquista publicó la *Ley sobre otorgamiento de títulos de propiedad minera y transacciones mineras de todas clases* (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 594, de 08.06.1938). Se trató de una normativa de urgencia cuyo primer objetivo era evitar el colonialismo minero de España por parte del III Reich a través del conglomerado empresarial HISMA/ROWAK/SOFINDUS, un *holding* creado para gestionar el comercio de material bélico alemán con destino al ejército rebelde a cambio de alimentos, minerales y otras materias primas procedentes del territorio español controlado por los sublevados. La Sociedad Hispano-Marroquí de Transportes-HISMA había sido registrada en Tetuán el 31 de julio de 1936 para manejar los transportes y las importaciones recibidas desde Alemania por los rebeldes. Por su parte, Rohstoff Waren Kompensation Handelsgesellschaft AG-ROWAK



Figura 27. Trabajadoras y trabajadores en la mina de wolframio Valborraz (Casaio, Carballeda de Valdeorras, Orense) perteneciente al grupo SOFINDUS. Autor desconocido (ca. 1944). Fuente: <https://venustastu.wordpress.com/wolframio-nazi-en-galicia/>.

fue creada por el mariscal Hermann Göring el 2 de octubre de 1936 para gestionar las inversiones y el comercio del III Reich con España a través de HISMA/SOFINDUS. La Sociedad Financiera e Industrial-SOFINDUS, fundada en Lisboa en 1938 y sucesora de HISMA, llegó a poseer seis empresas mineras en España y el protectorado español de Marruecos agrupadas en su filial Montaña S. A. de Estudios y Fomento Mínero, con sede en Bilbao (Leitz, 1994). La ley de otorgamientos mineros de 1938 limitaba la participación extranjera en las empresas mineras españolas a un 40 % de su capital, que posteriormente fue reducido al 25 %, y a un tercio del consejo de administración, que solo podía estar presidido por personas de nacionalidad española | fig. 27 |.

Esta ley, que fue sorteada habitualmente a través de testaferros, establecía además otras disposiciones que autorizaban al Gobierno a obligar a las empresas concesionarias a realizar trabajos de exploración y explotación forzosa, y la posibilidad de declarar determinados yacimientos reservas del Estado, todo ello previo informe de las jefaturas de minas y del IGME. Por este motivo, Suanzes, que necesitaba poner de nuevo en marcha el IGME, nombró director a Alfonso del Valle de Lersundi (*Boletín Oficial del Estado*,

n.º 600, de 14.06.1938), uno de los vocales del Instituto cesados por la República y que había sido el jefe de la 2.ª Región-Norte de la institución. La estructura del IGME del bando sublevado durante la guerra se basó en sus delegaciones en las jefaturas de minas (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 100, de 08.10.1938).

Finalizada la guerra, y salvo pocas excepciones, la mayoría de los ingenieros de minas del IGME regresaron a sus puestos, y la reglamentación básica del Instituto volvió a ser la de 1927 (*Gaceta de Madrid*, n.º 8, de 08.01.1927; n.º 95, de 05.04.1927), ya que el reglamento del IGME aprobado por el Gobierno de la República había sido derogado (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 100, de 08.10.1938). Enrique Dupuy de Lôme Vidiella, director del IGME durante la Guerra Civil, sufrió varios procesos de depuración y fue separado definitivamente del servicio y dado de baja del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Estado (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 126, de 05.05.1940; Navarro Comet, 2022).

Se produjo, por tanto, una aparente continuidad institucional. De hecho, los seis primeros directores durante la dictadura se habían formado y trabajado en el IGME antes de la Guerra Civil, y todos ellos eran expertos en sus respectivas especialidades, tenían una reconocida trayectoria profesional y cierta proyección internacional, es decir, eran herederos de la «Edad de Plata» de la ciencia española | fig. 28 |. Sin embargo, el contexto en el que se desarrolló la actividad del Instituto fue muy diferente, pues toda la Administración estatal quedó supeditada a los intereses militares, a las políticas de «autarquía cuartelera» e intervencionismo estatal, y todo ello con un carácter marcadamente ordenancista y reglamentario (Tusell, 1999).

Sobre la base de los nuevos principios políticos, se crearon diversos organismos y empresas estatales de los que el IGME formó parte o en los que también estuvo involucrado, y se promulgaron normativas de carácter intervencionista sobre los recursos geológicos. A partir de entonces, el IGME tuvo que informar preceptivamente sobre la aplicación y el cumplimiento de dichas normas.

Para tratar de paliar las graves consecuencias económicas provocadas por la desaparición de la mayor parte de las reservas de oro del Banco de España, utilizadas por el



Figura 28. Directores del IGME durante los primeros años de la dictadura. De izquierda a derecha, línea superior: Alfonso del Valle de Lersundi (1939-1940), Agustín Marín y Beltrán de Lis (1940-1947), José García Siñeriz y Pardo Moscoso (1947-1954). Línea inferior: Juan Gavala y Laborde (1954-1955), Alfonso de Alvarado y Medina (1955-1958), Antonio Almela Samper (1958-1966). Galería de retratos del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.



Figura 29. Dos muestras de menas auríferas españolas. A) pepita de oro, yacimiento del río Sil (n.º inv. 2673, colección sistemática mineral; 4,3 cm × 3,2 cm; 39,3 g). B) oro diseminado en cuarzo jaspeado, minas de Rodalquilar, Níjar (Almería) (n.º inv. 5000, colección menas metálicas; 2 cm × 10,5 cm × 3 cm). Museo Geominero (IGME, CSIC).

Gobierno de la República en la adquisición de armamento, y ante la incertidumbre del abastecimiento de combustible por la Segunda Guerra Mundial, el Gobierno promulgó dos decretos en octubre de 1939 relativos a la exploración de hidrocarburos (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 278, de 05.10.1939) y a la minería del oro (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 279, de 06.10.1939). En relación con los hidrocarburos, la nueva disposición determinó que el IGME tendría en adelante funciones meramente administrativas, de realización de informes sobre permisos de exploración y planes de investigación. Al amparo de dicha norma, la empresa CEPESA constituyó en julio de 1940 la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas S.A. (CIEPSA), a la cual, no sin antes superar numerosas trabas y dificultades, se incorporó Enrique Dupuy de Lôme Vidiella (Navarro Comet, 2022).

El Gobierno decretó «de interés nacional excepcional los criaderos de oro, quedando excluida esta sustancia del derecho de registro por particulares con arreglo a la tramitación minera vigente», y se estableció una normativa específica para los permisos de exploración, investigación y explotación de dichos yacimientos, y de cuyo cumplimien-

to debería informar el IGME. Adicionalmente, el artículo 23 del decreto puso en marcha lo que posteriormente se ha denominado *Plan Nacional del Oro* (Huerga Rodríguez, 2000), señalando que era el Estado el encargado de realizar por su cuenta «aquellas investigaciones de yacimientos auríferos» que merecieran «verdadero interés nacional», y que debía figurar en los presupuestos generales del Estado, a partir del siguiente, «la debida partida para atender estas investigaciones» (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 279, de 06.10.1939).

La investigación estatal del oro se llevó a cabo mediante una subvención de 1,25 Mpts. (*Ley de 8 de marzo, Boletín Oficial del Estado*, n.º 82, de 23.03.1941), cuyo valor actualizado equivaldría aproximadamente a la misma cantidad de euros, y en ella participó activamente el IGME. Se investigaron varios yacimientos auríferos que ya eran conocidos, como los de Corcoesto en La Coruña, los del río Sil, los de Cala en Huelva y, en especial, los de Rodalquilar en Níjar (Almería) | fig. 29 |, donde dos ingenieros del IGME ya habían realizado en 1918 una investigación muy detallada (Marín & Milans del Bosch, 1918; Hernández Ortiz, 2005). Aunque los



Figura 30. Reunión del Consejo Ordenador de Minerales de Interés Militar (COMEIM). Detrás y en el centro, el ingeniero de minas y vocal del IGME Ultano Kindelán Duany. Sentados, de izquierda a derecha: Eduardo Carvajal y Acuña, director general de Minas y Combustibles; Fidel Dávila Arrondo, jefe del Alto Estado Mayor y presidente del COMEIM; José García Siñeriz, vocal del IGME y director del Instituto Nacional de Geofísica (CSIC). Fotografía: Martín Santos Yubero (ca. 1941). Archivo Regional de la Comunidad de Madrid.

nuevos trabajos no aportaron nada realmente relevante a los conocimientos que ya se tenían, el IGME organizó una exposición en la que se exhibieron varios lingotes de oro obtenidos en las minas de Rodalquilar, que tuvo un amplio eco en la prensa española de la época, e incluso fue visitada por el dictador el 13 de marzo de 1941 (Moya, 1941).

Como medida estratégica ante la situación bélica en Europa, mediante la Ley de 11 de julio de 1941 se creó el Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar (COMEIM). Se trataba de un organismo autónomo de carácter militar, al margen de las normas administrativas, dependiente directamente de Presidencia del Gobierno, con vocación intervencionista y capacidad para el «descubrimiento, ordenación y explotación de los recursos nacionales de esta clase [...] con arreglo a las necesidades militares y al margen de toda consideración de tipo económico o comercial» (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 197, de 16.07.1941). Varios vocales del IGME formaron parte del COMEIM y, a partir de febrero de 1942, también el director del IGME [fig. 30]. El COMEIM intervino en la exploración, producción y distribución de estaño, cobre, aluminio, zinc, man-

ganoso, wolframio, molibdeno, níquel, cromo, vanadio, titanio, berilio, circonio, magnesio, cobalto, bismuto, grafito, amianto y micas (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 260, de 17.09.1941 y n.º 305, de 01.11.1941). Finalizada la Segunda Guerra Mundial, entre 1945 y su desaparición en 1959, el COMEIM estuvo gestionado directamente por el Instituto Nacional de Industria (INI) (Sudriá, 1992). Además de asesorar al COMEIM, el IGME realizó exploraciones para localizar nuevas reservas y yacimientos de varias de las materias que estaban intervenidas (Sánchez Rodríguez, 2000).

El Instituto Nacional de Industria (INI) se creó por la Ley de 25 de septiembre de 1941. Fue una entidad estatal dependiente de la Presidencia de Gobierno, establecida inicialmente para propulsar y financiar industrias y en especial las encaminadas a «la resolución de los problemas impuestos por las exigencias de la defensa del país» o que se dirigían al «desenvolvimiento de nuestra autarquía económica», según señala el artículo uno de la citada ley (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 197, de 16.07.1941). El INI, que estuvo dirigido hasta 1963 por José Antonio Suanzes, se inspiró en el Istituto per la Ricostruzione Industriale (IRI) de Italia y su acción se basó en la creación de sociedades anónimas privadas, pero con capital, gestión y administración del Estado. Mediante el Decreto de 20 de marzo de 1942, el INI creó su primera empresa, que se constituyó legalmente el 31 de julio con el nombre de Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras (ENADIMSA). Tenía un capital social inicial de 20 millones de pesetas (unos 17 millones de euros actuales), y sus objetivos eran el desarrollo de planes de investigación minera, así como de investigaciones mineras por iniciativa propia y por encargo de entidades privadas (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 81, de 22.03.1942; Sudriá, 1992). A través de ENADIMSA, el INI podía beneficiar las reservas a favor del Estado, por lo que se hizo cargo de las minas de Rodalquilar en sustitución del IGME y las explotó hasta 1966 (Hernández Ortiz, 2005). Según el artículo tercero del citado decreto, ENADIMSA debía utilizar la organización científica del IGME para las actividades de prospección, análisis y ensayos en los laboratorios.

Existió una fuerte vinculación entre el IGME y ENADIMSA; parte de los primeros empleados de la nueva em-



Figura 31. El Centro de Investigación Juan Gava de ENADIMSA, situado en el kilómetro 12 de la carretera de Andalucía (Getafe, Madrid). Fecha: 21 de abril de 1959. Fondo Trabajos Aéreos y Fotogramétricos S. A., Archivo Nacional de Cataluña, ANC1-564-N-2391, 474887.0000.

presa procedían del Instituto y su primer presidente fue Agustín Marín, director del IGME. En términos actuales, se podría decir que ENADIMSA fue una empresa *spin-off* del IGME. Buena parte de la exploración en recursos mineros del Estado fue ejecutada a partir de entonces por ENADIMSA, con mayor o menor participación del IGME. A comienzos de los años cincuenta se amplió el capital social de ENADIMSA a 80 Mpts., lo que permitió la construcción y puesta en marcha del Centro de Investigación Juan Gava en la localidad madrileña de Getafe | fig. 31 |. Entre 1942 y 1964, ENADIMSA invirtió 639,9 Mpts. en investigación minera (equivalente a 126 M€ actuales), sin contar las inversiones en minería del oro (Sudriá, 1992).

El Instituto de Radiactividad, creado en 1903 por el catedrático de Química Inorgánica de la Universidad Central José Muñoz del Castillo como Laboratorio de Radiactividad y constituido en 1911 como Instituto, desapareció tras la Guerra Civil. Sus funciones quedaron repartidas entre la Sección de Radiactividad del Instituto Nacional de Geofísica del CSIC (ING, CSIC), dirigido por el vocal

del IGME y vicepresidente del CSIC José García Siñeriz, y el propio IGME. Bajo la dirección de Agustín Marín, en el IGME se creó una Comisión del Uranio, de carácter interno, formada por el jefe de laboratorios José Romero Ortiz de Villacián y los ingenieros López de Azcona, Abbad, Comba, Moya, Meseguer y Melián (Marín *et al.*, 1946). La Comisión del Uranio catalogó y estudió los principales yacimientos españoles conocidos, realizó nuevas prospecciones, analizó muestras, estableció tratamientos de purificación, llegando a obtener óxido de uranio concentrado (*yellow cake* o urania), y estudió las posibilidades de la explotación industrial del uranio en España (Sánchez Sánchez & López García, 2020). Además, los miembros de la Comisión realizaron las primeras dataciones radiométricas de minerales en España (Casares *et al.*, 1942), e impartieron varios cursos formativos, uno de los cuales se celebró entre diciembre de 1945 y marzo de 1946 (Marín *et al.*, 1946), pocos meses después de los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki.

La Ley de Minas de 19 de julio de 1944 (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 204, de 22.07.1944) derogó el *Decreto de 29 de diciembre de 1868 de bases generales para la legislación minera*, de marcado carácter liberal. A partir de una pretendida reivindicación de las Ordenanzas de Felipe II, el sistema de regalías y su influencia en el desarrollo del imperio colonial español, la nueva legislación minera otorgó al Gobierno amplios poderes para organizar cotos mineros y para la declaración de reservas del Estado allí donde «exista o se presuma la existencia de sustancias de interés especial para la economía y defensa nacionales». Esta legislación minera, que estuvo vigente durante buena parte del franquismo, determinaba que el IGME sería el órgano encargado de formular los planes generales de investigación de aquellos minerales recogidos en el título 1.º, artículo 2.º de la norma (los identificados en la sección B), de realizar las propuestas de cotos mineros y de zonas de reserva, e informar sobre qué explotaciones mineras debían ser abordadas directamente por el Estado a través de sociedades estatales o sociedades mixtas consorciadas. Según un expediente del IGME y al amparo de la nueva Ley de Minas, las órdenes ministeriales de 4 de octubre y 5 de noviembre de 1945 esta-

blecieron que todos los yacimientos españoles de uranio de veintidós provincias españolas fuesen declarados reserva del Estado (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 278, de 05.10.1945; n.º 320, de 16.11.1945).

Un decreto reservado del 6 de septiembre de 1948 creó la Junta de Investigaciones Atómicas (JIA), dependiente de Presidencia del Gobierno y supervisada por el subsecretario de Presidencia Luis Carrero Blanco. La JIA, que se mantuvo en secreto bajo la apariencia de una sociedad privada de nombre *Estudios y Patentes de Aleaciones Especiales*, asumió buena parte de las funciones que habían estado realizando el ING y la Comisión del Uranio del IGME. Mediante el Decreto Ley de 22 de octubre de 1951, la JIA se formalizó en un nuevo organismo público estatal: la Junta de Energía Nuclear (JEN) (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 297, de 24.10.1951; Sánchez Sánchez & López García, 2020). La Ley de la Ciencia de 1986 creó un nuevo Organismo Público de Investigación, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), en el que quedó integrada la JEN.

Durante las décadas de los años cuarenta a sesenta del pasado siglo, el IGME realizó numerosas labores de exploración en las cuencas carboníferas españolas, de pizarras bituminosas para la Empresa Nacional Calvo Sotelo de Combustibles Líquidos y Lubricantes (ENCASO) del INI, de hierro y manganeso para la siderurgia, de piritas, etc., aspectos tratados por Sánchez Rodríguez (2000).

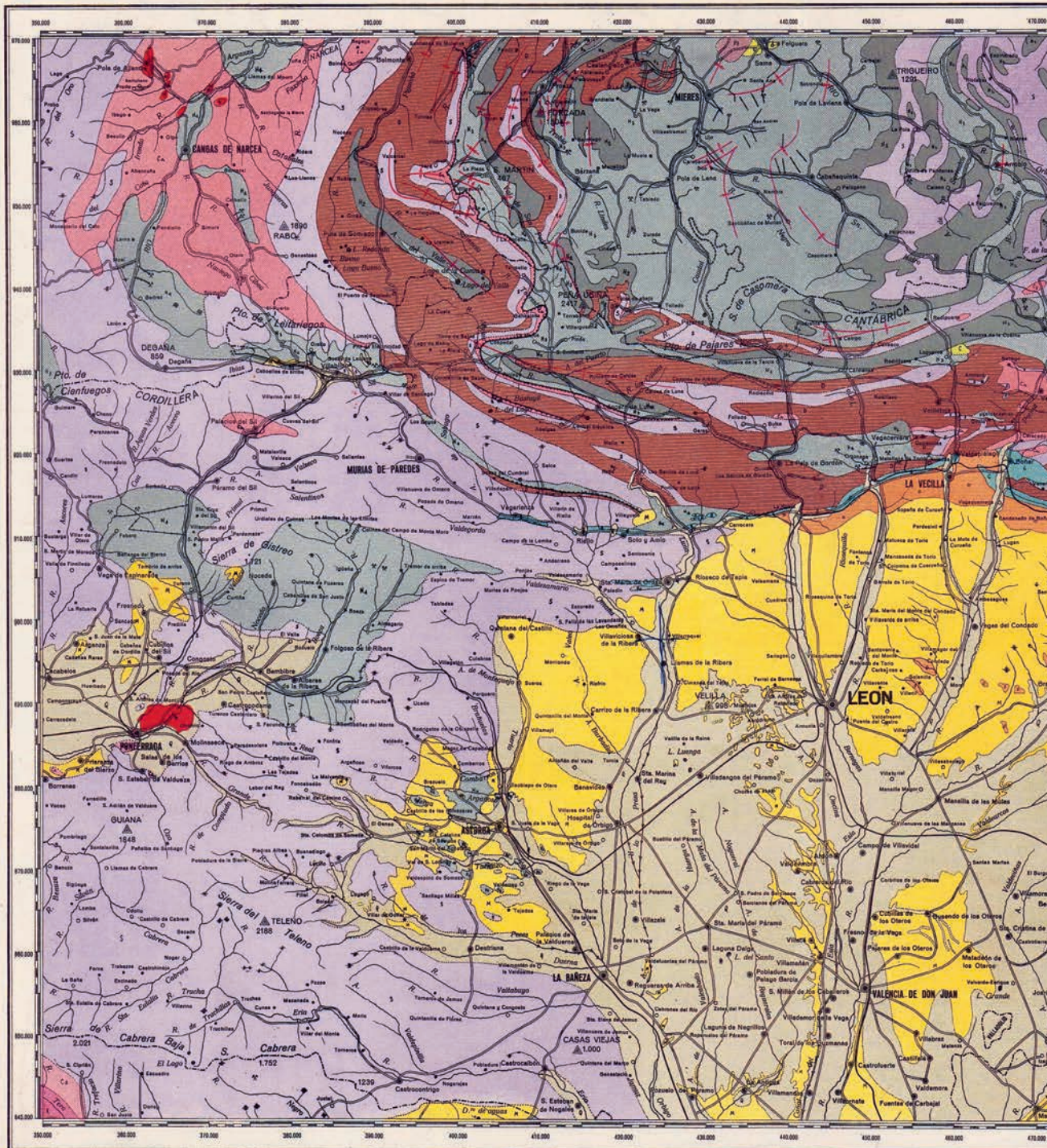
Tras la Guerra Civil, el IGME reanudó también la realización y publicación de los mapas geológicos a escala 1:50 000, en mayor medida a partir de 1946. Otra actividad cartográfica importante realizada por el IGME en la posguerra, pero mucho menos conocida e injustamente olvidada, fue la revisión, actualización y publicación de cartografías geológicas regionales a escala 1:400 000. Esta actividad era la continuación directa de los trabajos cartográficos iniciados en el siglo XIX por la Comisión del Mapa Geológico, y el IGE y el IGME la siguieron realizando hasta su sustitución en 1970 por la cartografía geológica regional a escala 1:200 000. En el periodo comprendido entre 1945 y 1960 el IGME actualizó doce de dichas hojas 1:400 000, siendo patente las numerosas mejoras

introducidas con respecto a las versiones iniciales de los mapas | fig. 32 |.

La licenciatura en Ciencia Geológicas se creó en España en 1953, y a mediados de los años sesenta un grupo de licenciados de las primeras promociones fue contratado por el Instituto Lucas Mallada de Investigaciones Geológicas del CSIC. Bajo la dirección del catedrático de la Universidad Complutense José María Fúster, los geólogos del Instituto Lucas Mallada colaboraron con el IGME en la realización de los primeros mapas geológicos a escala 1:50 000 de las islas Canarias. Ello permitió que el IGME publicara los primeros mapas geológicos completos de España que incluían información geológica de dichas islas | fig. 33 |.

En relación con las aguas subterráneas, la labor principal en la que trabajó el IGME en la posguerra fue en el abastecimiento de agua potable a poblaciones y captaciones para regadío, una labor que fue encomendada a la institución mediante el Decreto de 23 de octubre de 1941 (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 298, de 25.10.1941). Entre 1940 y 1945 el IGME realizó abastecimientos para 52 poblaciones y captó recursos para la puesta en regadío de 1250 hectáreas (Marín, 1946). El Instituto continuó ejecutando esta labor en las décadas siguientes, pero a partir de 1945 con equipos de perforación propios. Cabe señalar que el apoyo de técnicas geofísicas a las investigaciones hidrogeológicas fue una de las señas de identidad de los trabajos ejecutados por el IGME (Marín, 1942), en un contexto en el que el *método zahorí* y demás técnicas acientíficas todavía gozaban de popularidad entre la población e incluso de la credibilidad de algunas instituciones públicas (Durán Valsero, 2013).

En 1939 se fundó el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) sobre los rescoldos de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE). En su seno se creó en 1941 el Instituto Nacional de Geofísica (ING, CSIC), cuya dirección fue encomendada al vocal del IGME José García Siñeriz, quien también fue vicepresidente del CSIC y sustituyó a Agustín Marín como director del IGME en 1947. La Sección de Geofísica, que había sido creada en 1927, desarrolló una intensa actividad durante estos años, como se puede apreciar en los volúmenes segundo a quinto de *La interpretación geológica de las mediciones geofísicas*



2	3	4
10	11	12
18	19	20

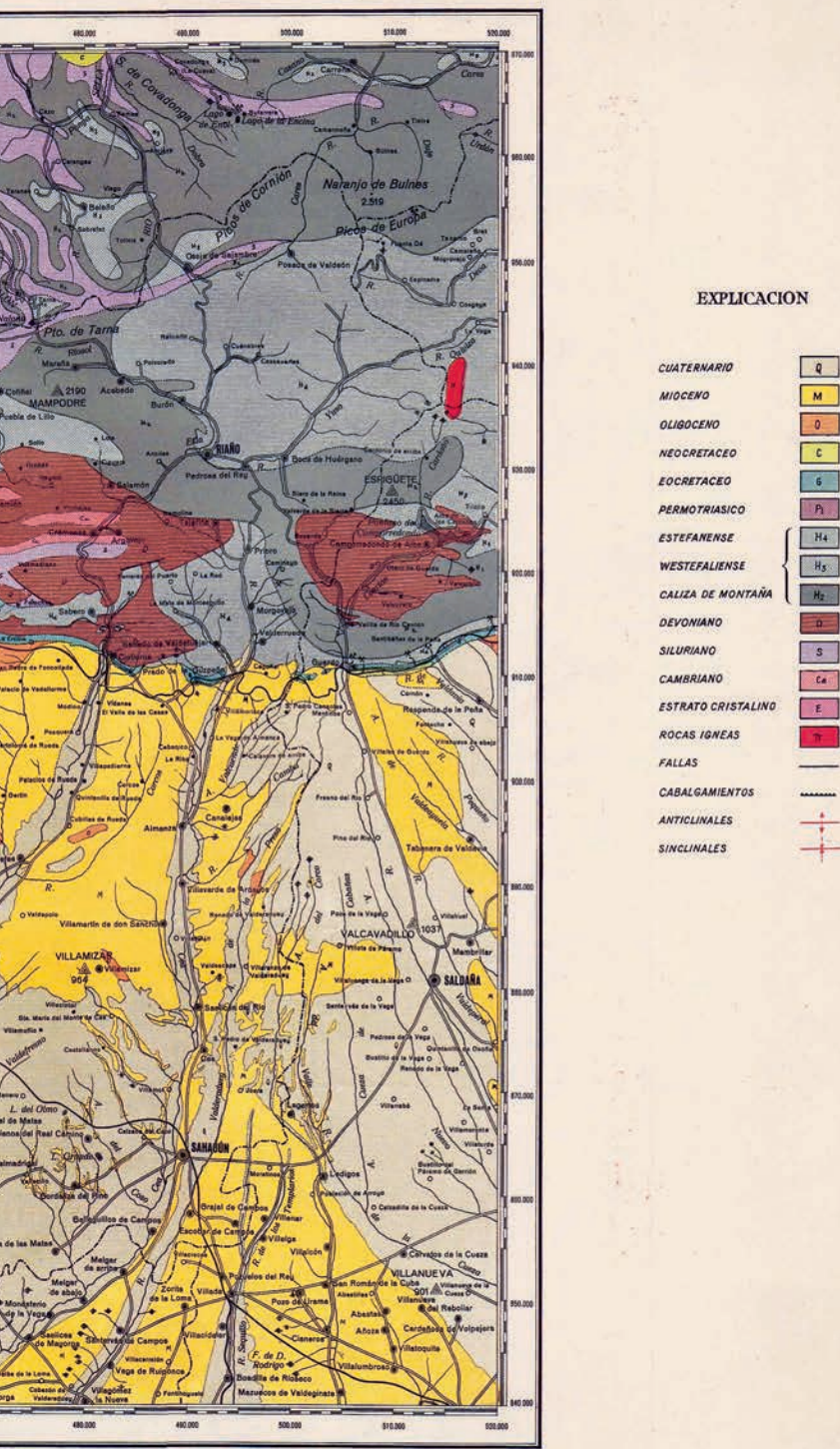
La parte topográfica, construída por el Instituto Geográfico y Catastral.

ESCALA EN KILOMETROS



400.000

ELIPSOIDE TERRESTRE INTERNACIONAL



EXPLICACION

- CUATERNARIO Q
- MIOCENO M
- OLIGOCENO O
- NEOCRETACEO C
- EOCRETACEO G
- PERMIANICO P1
- ESTEFANENSE H4
- WESTFALIENSE H5
- CALIZ DE MONTAÑA H2
- DEVONIANO D
- SILURIANO S
- CAMBRIANO Ca
- ESTRATO CRISTALINO E
- ROCAS IGNEAS R
- FALLAS
- CABALGIAMIENTOS
- ANTICLINALES
- SINCLINALES

Formado y publicado por el Instituto Geológico y Minero de España, bajo la dirección del Exmo. Sr. D. José García Siliéris, Año 1954.

Figura 32. Mapa geológico de España, a escala 1:400 000: Asturias, Santander, León, Zamora, Palencia (5.ª edición), realizado bajo la dirección de José García Siliéris. IGME, 1954. Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

O
C
C
I
D
E
N
T
I
C
O
S
I
B
E
R
I
C
O
S
I
B
E
R
I
C
O
S
I
B
E
R
I
C
O
S
I
B
E
R
I
C
O
S
I
B
E
R
I
C
O
S
I
B
E
R
I
C
O
S

M A R C A N T A B R I C O



EXPLICACION PARA LA PENINSULA Y BALEARES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

EXPLICACION PARA LAS ISLAS CANARIAS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

ESCALA

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

1.^a EDICION DEL MAPA GEOLOGICO DE
ESPAÑA Y PORTUGAL PENINSULARES, BALEARES Y CANARIAS
DEL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
CON LA COLABORACION DE LOS SERVICIOS GEOLOGICOS DE PORTUGAL
POR LA DEDICACION DE LOS SEÑORES D. FELIX ANTONIO VARELA Y D. CARLOS MONTEIRO DE ALBUQUERQUE
FORMANDO YA PARA POR LOS SOCIETARIOS D. JUAN MANUEL LOPEZ DEL PUERTO Y D. JOSE SUAREZ PEREZ



Figura 33. Mapa geológico de España y Portugal peninsulares, Baleares y Canarias, escala 1:1 250 000 (Instituto Geológico y Minero de España-Serviços Geologicos de Portugal, 1.ª edición). Autores: Juan Manuel López de Azcona y José Suárez Feito (1965). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

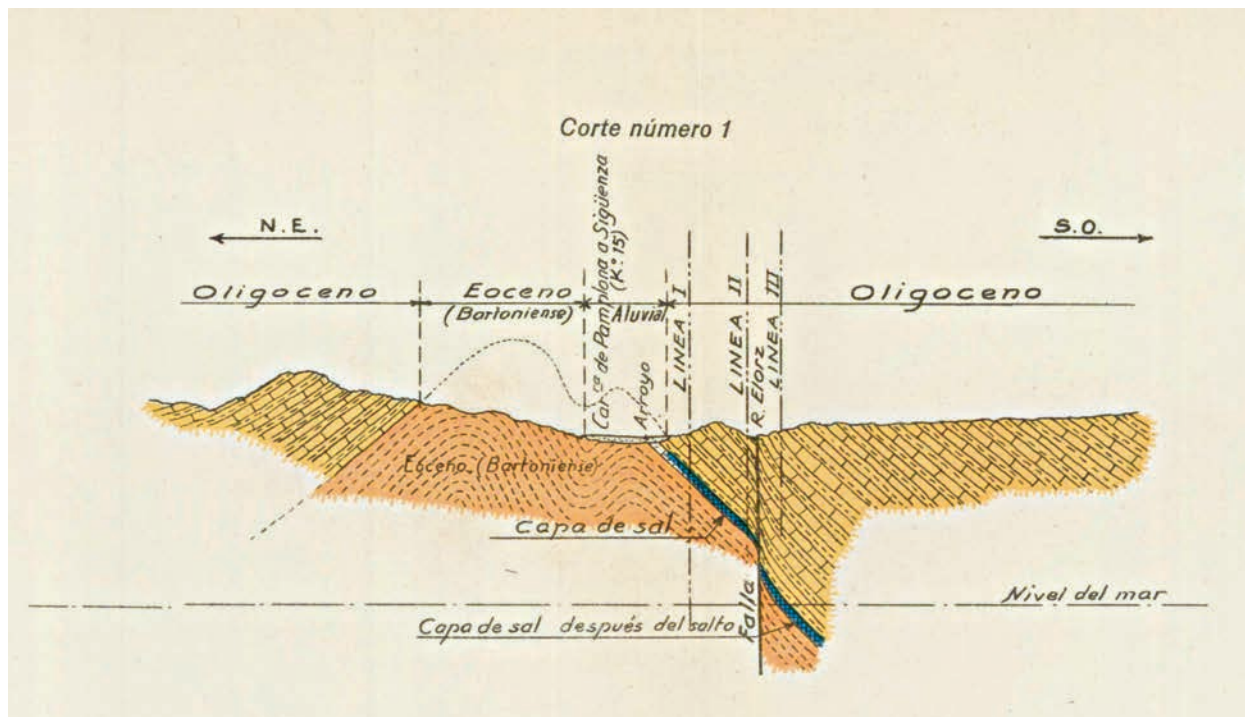


Figura 34. Corte geológico de la Cuenca Potásica de Navarra. Investigación sísmica en Monreal (Navarra) (García Siñeriz, 1941).

aplicadas a la prospección | fig. 34 |, que publicó el IGME como continuación del primero aparecido en 1933 (García Siñeriz, 1933-1949; Cantos Figuerola, 1953). En estos cuatro volúmenes, además de explicaciones teóricas, se recogen multitud de trabajos realizados por el IGME para exploración minera, de hidrocarburos, de aguas subterráneas e incluso alguna aplicación a la ingeniería civil. La realización de trabajos geofísicos para empresas públicas o privadas, en especial para las dedicadas a la exploración de hidrocarburos, fue también una actividad importante que desarrolló el IGME durante este periodo (Sánchez Rodríguez, 2000).

La organización interna del IGME continuó siendo la establecida en el reglamento de 1927 | fig. 35 |, pero con mayor presencia territorial a través de las delegaciones en las jefaturas de minas (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 127, de 07.05.1939; n.º 349, de 15.12.1939). Las únicas novedades

notables fueron la creación de una sección o servicio de sondeos y maquinaria en 1945 (Marín, 1946) y, tras la entrada de España en la ONU en 1955, la constitución y puesta en marcha de la Comisión Nacional de Geología como organismo dependiente del IGME para «servir de nexo de unión entre los Comités Organizadores de las sesiones del Congreso Geológico Internacional y los Geólogos y Entidades nacionales» y demás funciones de representación científica internacional conexas (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 197, de 02.08.1957; n.º 247, de 15.10.1958).

El discurso pronunciado por el director Agustín Marín en 1945 sobre la organización y fines del IGME ofrece una visión muy completa de la institución en aquellos años (Marín, 1946). A pesar de las evidentes dificultades por las que atravesaba España, la dirección del IGME mantuvo intacto el espíritu científico e investigador de la institución. Sor-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
ORGANIZACIÓN DE SERVICIOS

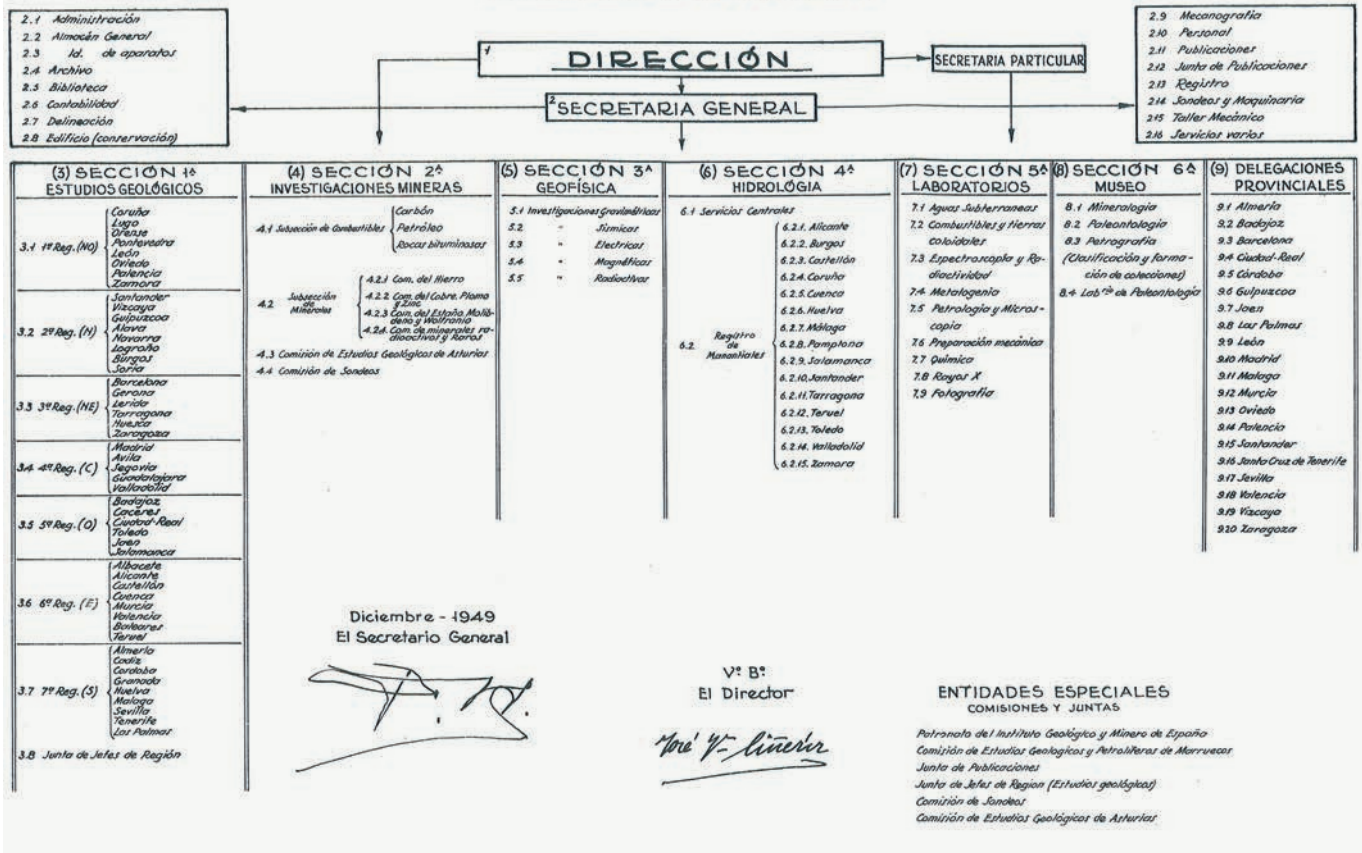


Figura 35. Estructura organizativa del Instituto Geológico y Minero de España en 1949. IGME, *Memoria general anual* (1949). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

prende conocer el deseo de Marín, por ejemplo, de dotar al IGME en aquellas fechas con un microscopio electrónico, una aspiración que solo se pudo cumplir setenta años más tarde.

EL IGME DURANTE EL SEGUNDO FRANQUISMO Y LA TRANSICIÓN DEMOCRÁTICA

Tras el fracaso del modelo autárquico, el Gobierno se vio forzado a modificar su política exterior y económica. Los pactos bilaterales firmados con Estados Unidos, la entrada de España en la ONU y la implementación del Plan Nacional de Estabilización Económica de 1959 dieron lugar a una nueva etapa de la dictadura, el llamado *segundo franquismo* o *desarrollismo*. Esta nueva etapa se caracterizó por el fin del aislamiento político, la incorporación de España a los mercados internacionales en un momento de marcada expansión económica, la inversión de empresas extranjeras en España, la llegada de remesas de divisas enviadas por la emigración española establecida en Europa, el aumento del gasto público con reducción del porcentaje de gasto en defensa, la planificación indicativa de la economía y un intento de legitimar el régimen y asegurar su supervivencia futura a través de su «institucionalización» (Tusell, 1999; Juliá *et al.*, 2007; Delgado Gómez-Escalonilla & López García, 2019).

Bajo la creciente influencia del almirante Luis Carrero Blanco, la Secretaría General Técnica de la Presidencia, ocupada por Laureano López Rodó, realizó una profunda reforma de la Administración del Estado entre 1956 y 1958. Dicha reforma constituyó una de las piezas clave del proceso de institucionalización del régimen franquista (Cañellas Mas, 2010). El texto refundido de la Ley de Régimen Jurídico de la Administración del Estado fue la normativa más importante, y autorizaba «al Gobierno para realizar por Decreto aquellas transferencias, fusiones, segregaciones o supresiones de órganos estatales y de organismos autónomos que sean necesarias», y daba potestad a los ministros para «nombrar y separar a las autoridades afectas a su departa-

mento» (Decreto de 26 de julio de 1957; *Boletín Oficial del Estado*, n.º 195, de 31.07.1957).

Como parte del «proceso de racionalización orgánica» de la Administración pública, el undécimo Gobierno de la dictadura suprimió diversos organismos, que desaparecieron o fueron integrados en otros. El Decreto 2149/1967, de 19 de agosto, eliminó el Patronato del IGME (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 221, de 15.09.1967). Este Patronato, creado en 1927 (*Gaceta de Madrid*, n.º 95, de 05.04.1927), había dotado al IGME de personalidad jurídica suficiente para administrar, adquirir y poseer bienes de donaciones, subvenciones y otros ingresos que no figurasen en los presupuestos generales del Estado. El Patronato suprimido permitía al IGME, por ejemplo, realizar trabajos de consultoría para empresas del sector privado. En el artículo 3.2 del citado decreto se indicaba también que en el plazo de tres meses el Ministerio de Industria debería proponer que se reorganizase el IGME como un organismo autónomo, pero tal cosa no sucedería hasta 1977, como luego se verá.

Mediante el Decreto 87/1968, de 18 de enero, el IGME fue incluido en el Ministerio de Industria como unidad adscrita y subordinada a la Dirección General de Minas y Combustibles, por tanto, sin autonomía ninguna. Poco después, dicha Dirección General fue reorganizada y dividida, y el IGME quedó adscrito a la Dirección General de Minas (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 22, de 25.01.1968 y n.º 167, de 12.07.1968) con categoría de subdirección. Otro organismo que desapareció fue el Consejo Superior de Minería y Metalurgia, un órgano heredero del Consejo de Minería creado en 1900 y muy relacionado con las actividades del IGME, que quedó integrado, junto con otros organismos suprimidos, en el Consejo Superior del Ministerio de Industria (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 284, de 28.11.1967).

Los directores del IGME nombrados durante esta segunda etapa de la dictadura siguieron siendo funcionarios del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Estado, pero su perfil profesional fue diferente. A diferencia de la etapa anterior, los nuevos directores habían tenido muy poca o ninguna relación con el IGME previamente a su nombramiento. No se habían formado dentro de la institución, y por lo general —salvo alguna excepción, como la de Antonio Almela

Samper (1958-1965)—, carecían de experiencia profesional en la exploración de recursos o en la investigación geológica, o esta era escasa. Su experiencia la habían adquirido en la dirección y gestión de empresas públicas del INI o en la Administración del Estado. Es decir, eran tecnócratas cuyo propósito era cumplir con los objetivos marcados en la planificación gubernamental de la economía española.

Sería injusto dejar en el olvido a Enrique Dupuy de Lôme Sánchez-Lozano, ingeniero de minas del IGME y que tenía una gran experiencia profesional, especialmente en cartografía geológica, siendo el autor de 36 hojas escala 1:50 000, así como de otros estudios y publicaciones. Enrique Dupuy de Lôme fue nombrado director general de Minas en 1968, cargo que ocupó hasta finales de 1972. Fue el jefe inmediatamente superior de los directores del IGME durante esos años y responsable de la dirección y coordinación del Programa Nacional de Investigaciones Mineras, de gran impacto en las actividades del Instituto y del que se hablará más adelante.

El Gobierno de la dictadura creó en 1962 el cargo de comisario del Plan de Desarrollo, con categoría de subsecretario del Ministerio de Presidencia, un cargo que posteriormente fue elevado a la categoría de ministro sin cartera y formó parte del Gobierno entre 1965 y 1973. Luis Carro Blanco, ministro de Presidencia, nombró a López Rodó para ocupar dicho cargo, y desde dicho órgano se diseñaron cuatro planes de Desarrollo Económico y Social, que fueron la base de la planificación indicativa de la economía española en la etapa final del franquismo. Estos planes, que tenían carácter «vinculante para la administración del Estado, organismos autónomos, empresas nacionales y corporaciones locales» (Ley 19/1963, *Boletín Oficial del Estado*, n.º 312, de 30.12.1963), tuvieron una influencia creciente en las actividades del IGME.

Aunque el Plan de Desarrollo Económico y Social para el periodo 1964-1967 no incluía temas directamente relacionados con la investigación o con el Instituto, los presupuestos en el capítulo de inversiones de la Dirección General de Minas y Combustibles y del IGME tuvieron un cierto incremento durante el cuatrienio del Plan (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 312, de 30.12.1963 y n.º 307, de 24.12.1965;

IGME, 1980), lo que permitió una creciente expansión de sus actividades | fig. 36 |.

Coincidiendo temporalmente, pero sin una relación directa con el Plan, el IGME, conjuntamente con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, más conocida por sus siglas en inglés FAO, llevaron a cabo el Proyecto Hidrogeológico de la Cuenca del Guadalquivir, que fue financiado en un 42 % por el Fondo Especial de las Naciones Unidas para el Desarrollo Económico y en un 58 % por el Estado español. Este proyecto supuso un hito para el IGME y un cambio de rumbo para la investigación hidrogeológica española (Navarro Alvargonzález *et al.*, 2013).

Por recomendación de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) al Gobierno, la Ley 1/1969, de 11 de febrero, por la que se aprueba el II Plan de Desarrollo Económico y Social (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 37, de 12.02.1969) señaló en su artículo sexto que era el Estado quien debía estimular «la investigación en todas sus modalidades, concentrando su esfuerzo, con criterio selectivo en la investigación aplicada y de desarrollo». Es decir, el segundo Plan que, con un plazo de ejecución 1969-1972, incluyó un programa de I+D. En el apartado a del citado artículo sexto se señalaba específicamente que se concedería especial atención a los recursos naturales, y que se elaboraría un Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM).

Por decisión del Ministerio de Industria, el PNIM quedó finalmente englobado dentro de un Plan Nacional de la Minería de alcance más amplio, y que además del PNIM incluyó otros tres programas en los que no participó directamente el IGME: Programa Nacional de Explotación Minera, Programa Nacional de Actualización de la Legislación Minera y el Programa Nacional de Política Social en la Minería (Ministerio de Industria-Dirección General de Minas, 1971). Cabe señalar que el Programa de Actualización de la Legislación Minera condujo a la aprobación de la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 176, de 24.07.1973), todavía vigente, y que implicó una serie de nuevas obligaciones y responsabilidades para el IGME.

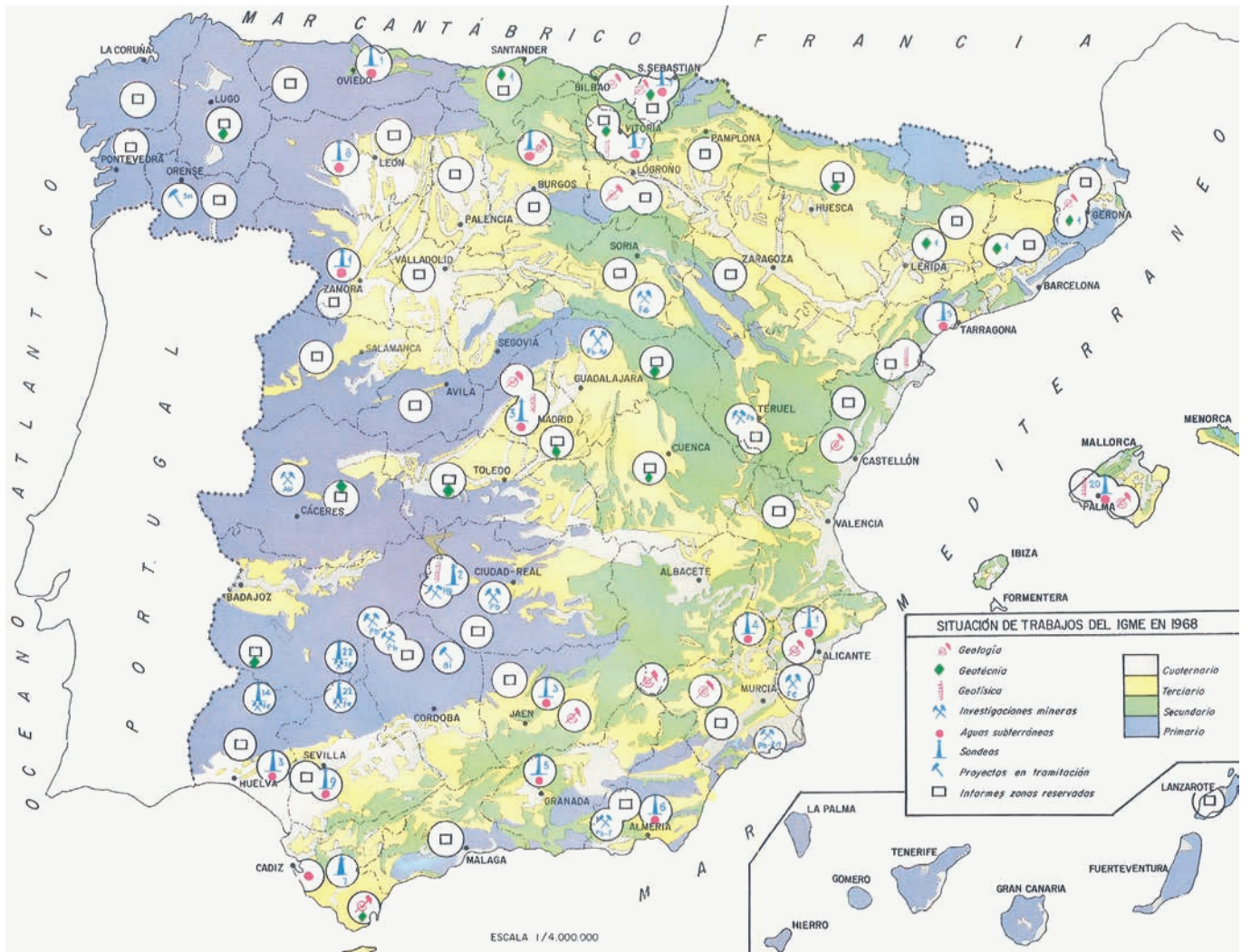


Figura 36. Situación de los trabajos del IGME en 1968. IGME, *Memoria general anual* (1968). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

El IGME fue el organismo encargado de llevar adelante el PNIM, con la excepción de los minerales radioactivos y los combustibles sólidos e hidrocarburos, que fueron encargados a la JEN y a la Dirección General de Combustibles, respectivamente. Para la ejecución del PNIM se dotó económicamente a la Dirección General de Minas y al IGME, incrementando el presupuesto anual hasta alcanzar los 328 Mpts. (cuyo valor actualizado equivaldría a 49,41 M€). Pero dicho incremento no se distribuyó uniformemente entre los diferentes capítulos del gasto. Mientras que el capítulo 6 de inversiones reales se elevó desde 65 Mpts. hasta 246,8 Mpts., los capítulos correspondientes a gastos de personal (6,9 Mpts.) y gastos en bienes y servicios corrientes (72 Mpts.) se mantuvieron fijos (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 84, de 06.04.1968 y n.º 313, de 31.12.1969). Una situación que no fue exclusiva del IGME y afectó a todo el sistema de I+D español, ya que las inversiones de los planes de desarrollo «no se habían acompañado de los incrementos presupuestarios deseables para personal y suministros, por lo que las inversiones realizadas no producirían los resultados esperados» (Delgado Gómez-Escalonilla & López García, 2019).

Para poder ejecutar el presupuesto previsto sin aumentar apenas la plantilla de personal, a partir de 1969 el IGME, además de contar con las colaboraciones habituales de las universidades y centros de investigación, tuvo que recurrir a la contratación de buena parte de sus actividades (IGME, 1980), es decir, se recurrió a la externalización del I+D. El contratista principal fue la empresa ENADIMSA, que seguía siendo parte del Instituto Nacional de Industria (INI), pero que ya no dependía orgánicamente de Presidencia del Gobierno, pues desde 1968 el INI pasó a depender directamente del Ministerio de Industria. A ENADIMSA se sumaron posteriormente otras empresas contratistas, especialmente a partir del III Plan de Desarrollo, de las que se hablará más adelante.

Uno de los primeros trabajos del PNIM fue la realización de una cartografía de síntesis geológica sobre la base topográfica 1:200 000 del Servicio Geográfico del Ejército. El mapa, compuesto de 87 hojas y que no incluyó Canarias, se elaboró mediante el tradicional sistema de colaboracio-

nes, y se publicó entre 1971 y 1972 con el nombre de *Mapa geológico a escala 1:200 000. Síntesis de la cartografía existente*, también llamado *Serie azul*, debido al color de la portada de sus memorias. Este mapa fue realizado por personal del IGME con la colaboración de docentes e investigadores de las universidades españolas que impartían la licenciatura de Ciencias Geológicas. En concreto participaron los profesores Alberto Marcos, Manuel Julivert y José Pello de la Universidad de Oviedo, Oriol Riba y Lluís Solé del Instituto Jaume Almera (CSIC)-Universidad de Barcelona, Antonio Arribas de la Universidad de Salamanca, José María Fúster, Manuel Alía y Carmina Virgili de la Universidad de Madrid y Josep María Fontboté de la Universidad de Granada | fig. 37 |.

Por el contrario, el Mapa Metalogénico de España a escala 1:200 000, que se realizó sobre la base geológica simplificada del mapa de síntesis anterior, fue contratado íntegramente a ENADIMSA, siendo los directores del proyecto los ingenieros de minas de dicha empresa José Sierra López, Antonio Ortiz Ramos y Joaquín Burkhalter Anel | fig. 38 |. Además, se confeccionaron, a escala 1:1 500 000, los mapas previsores de mineralizaciones para un total de 21 sustancias | fig. 39 |.

Pero la actividad de mayor calado realizada por la Dirección General de Minas, IGME y ENADIMSA al amparo del II Plan de Desarrollo fue la programación y diseño del PNIM, cuya realización completa se planteó para los dos siguientes planes de desarrollo, y que incluía la elaboración de una serie de planes sectoriales y proyectos concretos que constituyeron la base de la actividad del IGME durante las siguientes décadas. Es necesario destacar que, además de una valoración económica coste-beneficio de cada programa, para el futuro desarrollo del PNIM se hicieron algunas previsiones del uso de medios informáticos, por lo que se procedió a definir códigos alfanuméricos para una buena parte de las actividades previstas (Ministerio de Industria-Dirección General de Minas, 1971).

Entre los programas planteados en el PNIM y cuya ejecución correspondía al IGME figura en primer lugar la elaboración del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escala 1:50 000, con una duración estimada de dieciseis años, pero que se alargó por tres décadas (Pérez Estaún, 2005;

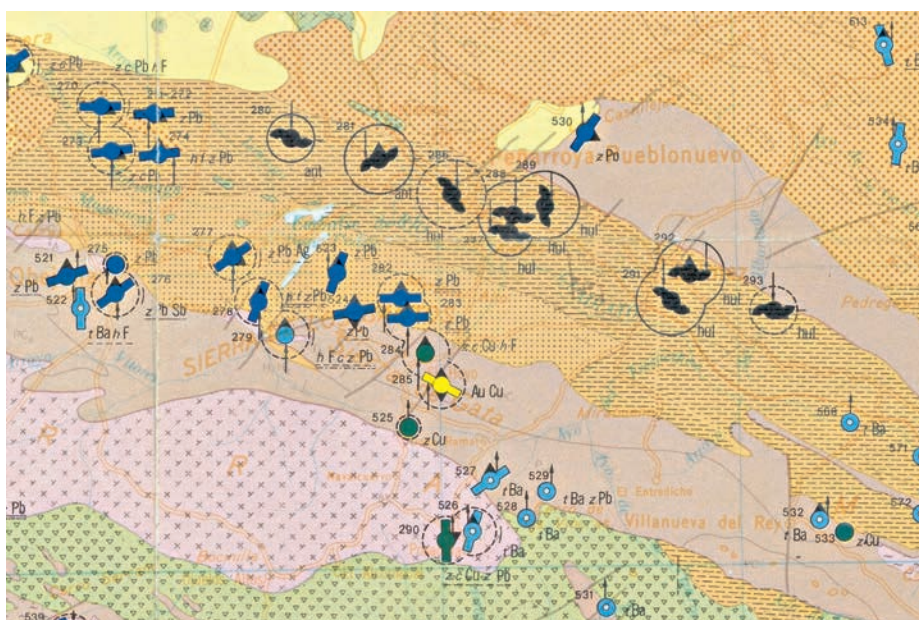


Figura 37. Fragmento (esquina SE) del Mapa Geológico 1:200 000. Síntesis de la cartografía existente, Hoja 41 (Tortosa). Autores: O. Riba & L. Solé, Instituto Jaime Almera (CSIC)-Universidad de Barcelona (IGME, 1970). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

Figura 38. Fragmento (zona Peñarroya-Pueblonuevo) del Mapa metalogénico de España, a escala 1:200 000, Hoja 69 (Pozoblanco). Autores: J. Sierra, A. Ortiz, J. Burkhalter & G. Leal (ENADIMSA) (IGME, 1973). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

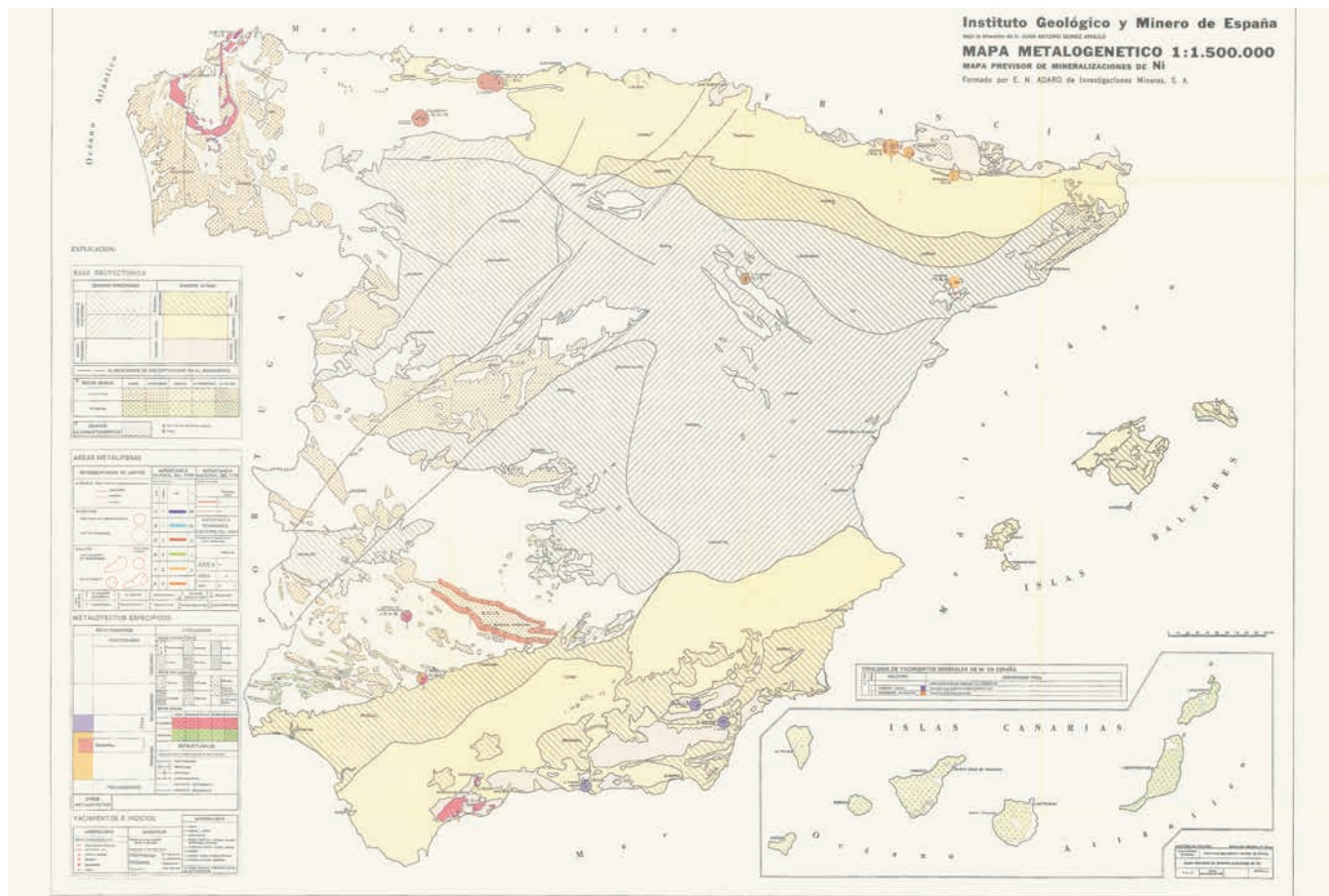


Figura 39. Mapa metalogénico 1:1 500 000. Mapa predictor de mineralizaciones de Ni (ENADIMSA & IGME, 1972). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

Rodríguez Fernández, 2005). Para el diseño del MAGNA se preparó la correspondiente normativa y en 1971 comenzó la realización de ocho hojas piloto (números 29, 62, 159, 176, 351, 510, 903 y 1045). Todas las hojas piloto, excepto una, fueron contratadas a ENADIMSA, que también contó con la participación de investigadores y profesionales ajenos a la empresa. La realización del MAGNA se transformó, con los años, en una vía para el desarrollo transversal del conocimiento geológico de España en todos sus aspectos, pues la escala elegida se reveló muy adecuada y precisa para la investigación de estructuras geológicas mayores, refrendada por numerosos asesores procedentes de las universidades y otros organismos públicos de investigación.

El segundo programa a desarrollar por el IGME fue el de investigaciones geotécnicas, cuyos objetivos eran la confección del Mapa Geotécnico Nacional, la investigación de rocas de aplicación industrial y el estudio geotécnico de las explotaciones mineras.

Un tercer programa, el denominado *Mapa Hidrológico Nacional y Programa para el Inventario de las Aguas Subterráneas*, dio lugar a la elaboración de dicho mapa | fig. 40 (véanse *infra* pp. 84-85) |, que fue presentado como contribución española al Decenio Hidrológico Internacional, y a lo que posteriormente se denominó Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS) (Coma Guillén, 2002).

La investigación de fondos marinos configuró un cuarto programa, que recibió un fuerte impulso en el III Plan de Desarrollo Económico y Social junto con otro de investigaciones oceanográfico-pesqueras, que incluía la construcción de buques oceanográficos y de investigación pesquera, y en el que el IGME debería hacerse cargo de las «campanas geológicas y geofísicas en el mar, del estudio de muestras y registros en laboratorios, de la cartografía sedimentológica y geológica de la plataforma continental y de la exploración de sus recursos mineros» (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 113, de 11.05.1972). También se incluyeron programas concretos sobre aquellos recursos minerales considerados de mayor valor estratégico, en concreto hierro, plomo y zinc, con la posibilidad de añadir otros recursos en función no solo de los estudios de mercado, sino del conocimiento geológico y la posibilidad o no de localizar yacimientos en España, así

como la realización de un mapa geoquímico nacional (Ministerio de Industria-Dirección General de Minas, 1971).

El III Plan de Desarrollo supuso la puesta en marcha de los trece proyectos considerados como prioritarios del PNIM, en muchos de los cuales la Dirección General y el IGME eran los ejecutores. En consecuencia, el presupuesto anual de la Dirección General de Minas y del IGME alcanzó los 706,5 Mpts. en 1972 (valor actualizado: unos 90,6 M€) y 883,4 Mpts. en 1973. También hubo incremento en el capítulo de gastos de personal, que pasó de 6,9 Mpts. a 9,8 Mpts. en 1973 (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 51, de 29.02.1972 y n.º 308, de 25.12.1972).

Otras consecuencias del III Plan para el IGME fueron la definición de nuevas funciones, incluyendo a partir de entonces la geotecnia y la investigación de fondos marinos, y la reorganización de su estructura en siete divisiones (Subdirección, Secretaría General, Laboratorios y Servicios Comunes, Estudios y Cartografía Geológica, Investigación Minera, Aguas Subterráneas, Geotecnia) más la Comisión Nacional de Geología (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 163, de 08.07.1972 y n.º 244, de 11.11.1972).

La buena situación presupuestaria del IGME, junto con este incremento de funciones y la ambiciosa planificación del PNIM y el Plan MAGNA, dio lugar a la contratación de un buen número de licenciados en Ciencias Geológicas (también de algunos ingenieros de minas y químicos). Esto significó un hito importante en la política de recursos humanos, ya que hasta entonces eran muy escasos los licenciados o doctores en geología. De este modo, del centenar de efectivos que contaba por entonces la plantilla del IGME, aproximadamente un tercio eran contratados laborales, la gran mayoría de los cuales conseguiría, década y media después, la consolidación por concurso de sus plazas, ya como funcionarios de la Escala de Técnicos Superiores Especialistas del Ministerio de Industria y Energía.

Aunque es evidente que el aumento de gasto en recursos humanos fue muy importante (44 %), es preciso señalar que no era proporcional con respecto al incremento total del presupuesto, y en especial en relación con el aumento en capítulo 6 de gastos en inversiones, que pasó de 247 Mpts. en 1970-1971 a 1104 en 1975, un crecimiento del 340%. Por



Figura 41. Logotipos de las principales empresas contratistas del IGME en los años setenta y ochenta del pasado siglo, la mayoría de ellas ya desaparecidas. Autor: Carlos Peropadre.

esta razón, el IGME tuvo que aumentar la contratación externa de sus proyectos a ENADIMSA y a otras empresas.

Ante este nuevo escenario, ENADIMSA duplicó su cartera de pedidos (*ABC*, 14.05.1972), y tuvo que ampliar sus medios materiales y humanos, con lo que su plantilla llegó a superar los mil empleados en 1974 (*ABC*, 10.04.1975). En comparación, los recursos humanos del IGME en aquella época rondaban el centenar de personas. A partir de 1978, el IGME, que por entonces era ya organismo autónomo, pudo pasar a poseer una parte del capital social de ENADIMSA (Huerga Rodríguez, 2000). La empresa realizó algunos trabajos notables en el exterior, donde obtuvo un gran éxito con el descubrimiento de yacimientos de carbón en Indonesia (Insúa Márquez & Obis Salinas, 2016), y diversificó sus actividades, incluyendo también la gestión de residuos, única actividad que, bajo la denominación social de EMGRISA, permaneció tras la desaparición de ENADIMSA

en 1995 (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 174, de 22.07.1995). Otras empresas privadas también adaptaron sus medios al objeto de poder contratar la ejecución de los proyectos de la Dirección General de Minas y del IGME, y en ellas trabajaron varias generaciones de geólogos e ingenieros de minas | fig. 41 |.

La Compañía General de Sondeos S. A. (CGS) fue una de las principales empresas contratadas por el IGME, y en ella trabajó uno de los autores de este texto (Ángel Salazar). Fundada en Vitoria-Gasteiz por el grupo CEPSA como empresa especializada en perforación para la exploración de hidrocarburos (Bakedano, 2007), batió el récord absoluto de profundidad perforada en España en 1968, que aún permanece vigente (5842 m TD en el sondeo Urbasa-2). CGS también incluyó entre sus actividades la perforación de sondeos mineros e hidrogeológicos, la consultoría experta y la limpieza química. Como consecuencia de la puesta en marcha del PNIM, CGS trasladó su sede central a Madrid y sus laboratorios a Majadahonda (Madrid) en 1973, creando posteriormente diversas oficinas regionales y aumentando considerablemente su plantilla de técnicos. Tras la ampliación de su cartera de clientes (ENUSA, ENRESA, confederaciones hidrográficas, comunidades autónomas, Adif, Río Narcea Gold Mines, etc.) y transferir su departamento de perforación profunda íntegramente a otra empresa especializada (SONPETROL), la empresa fue vendida en 1993 a un grupo inversor norteamericano y, una vez desaparecida ENADIMSA, CGS pasó a ser la consultora líder en ciencias de la Tierra en España. La empresa continuó con sus actividades hasta su cierre en el año 2014.

Ibérica de Especialidades Geotécnicas S.A. (IBERGESA) fue otra de las empresas que trabajó para el IGME en los años setenta y ochenta del pasado siglo, principalmente en cartografía geológica y geotecnia, llegando a ser uno de los principales contratistas de la institución. IBERGESA publicó durante diez años (1973-1983) la revista especializada en geología y minería *Tecniterrae* y, tras su desaparición en 1986, parte de su plantilla continuó trabajando en otras consultoras para el IGME o se integró en él. Otras empresas que posteriormente también trabajaron para el IGME con frecuencia fueron GEOPRIN, especialmente en Canarias,



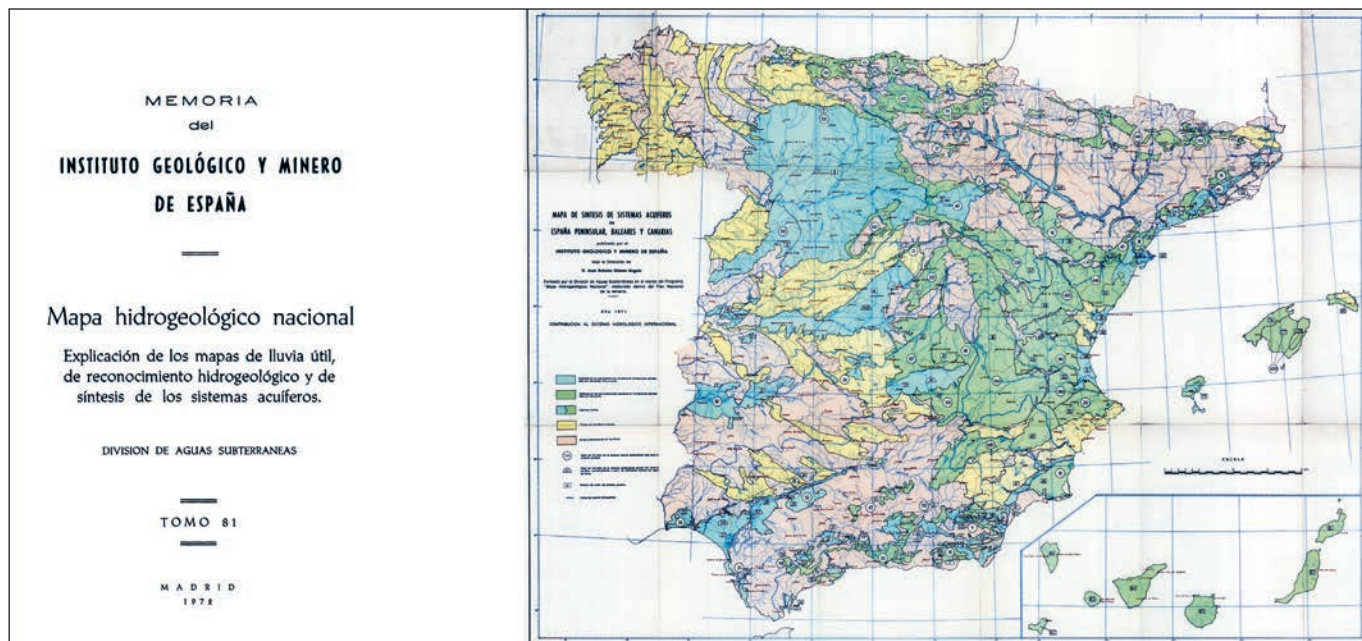


Figura 40. El *Mapa hidrogeológico nacional* incluyó la realización de tres mapas temáticos: i) mapa de lluvia útil o escorrentía total, ii) mapa de reconocimiento hidrogeológico, ambos a escala 1:1 000 000, y iii) mapa de síntesis y de potencialidad de los sistemas acuíferos, a escala 1:1 500 000. Según Álvarez Fernández *et al.* (1972).

las ingenierías INTECSA e INYPSA, así como muchas otras consultoras de la época tales como INGEMISA, EPTISA, GEOTEHIC, IMINSA, EGEO o ECOMINSA.

La primera crisis del petróleo y la crisis económica internacional de 1973-1974, y el cambio en la política del Gobierno, consecuencia de la muerte por atentado terrorista del presidente Luis Carrero Blanco, supusieron el abandono de buena parte de las actividades previstas para el III Plan de Desarrollo. Sin embargo, el último Gobierno del franquismo no cortó la ejecución y la financiación del PNIM, posiblemente porque su ejecución era, en cierta medida, parte de la solución a los problemas del momento, principalmente el incremento de precios de la energía y de las materias primas. De hecho, el IGME, junto con ENADIMSA, inició en esa época los primeros trabajos e investigaciones sistemáticas sobre geotermia en España. Pero, tras el fallecimiento del dictador y el agravamiento de la situación económica y política, el IV Plan de Desarrollo (1976-1979) quedó en suspenso, y los presupuestos asignados a la Dirección General de Minas e Industria de la Construcción y al IGME sufrieron un duro recorte en 1976.

Para tratar de paliar las consecuencias de la crisis, reduciendo la dependencia del exterior y la vulnerabilidad en el suministro de materias primas minerales, el segundo Gobierno de la transición aprobó una serie de medidas, entre ellas el Plan Energético Nacional, el Plan Nacional de Exploración de Uranio y el Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales, dentro de los cuales se integraron buena parte de los grandes proyectos iniciados anteriormente por el IGME, como el MAGNA y, a partir de la década de los ochenta, las nuevas series del Mapa Metalogenético y del Mapa de Rocas y Minerales Industriales, ambos a escala 1:200 000. Otra medida adicional frente a la crisis fue la promulgación de la Ley 6/1977, de 4 de enero, de Fomento de la Minería, según la cual el IGME pasó a ser un organismo autónomo dependiente del Ministerio de Industria y adscrito funcionalmente a la Comisaría de la Energía y Recursos Minerales (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 7, de 08.01.1977 y n.º 53, de 03.03.1977).

El Real Decreto 2402/1977, de 17 de junio, dispuso los órganos de gobierno del IGME bajo el nuevo régimen jurí-



Figura 42. Adriano García-Loygorri Ruiz (ca. 1979), primer director del IGME nombrado después de la dictadura por un gobierno elegido democráticamente. Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC

dico: Consejo General, la Comisión Permanente y el director del Instituto, que tendrá a partir de entonces la categoría de director general. También se derogaron las disposiciones anteriores sobre la institución, entre ellas los decretos de 7 de enero y 1 de abril de 1927, que aún permanecían parcialmente vigentes. Pero a diferencia del reglamento de 1934, no se creó ningún órgano de carácter participativo (junta, claustro, etc.). Tras las elecciones generales de 1977, las primeras celebradas libremente desde la Segunda República, el primer Gobierno democrático nombró a Adriano García-Loygorri y Ruiz | fig. 42 | director del IGME (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 92, de 18.04.1978). También se publicó un nuevo reglamento (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 64, de 15.03.1979 y n.º 310, de 27.12.1979), que en lo básico no era más que un organigrama detallado del IGME con un carácter netamente jerarquizado, estructurado en siete niveles organizativos: consejo, dirección general, secretaría general, direcciones, divisiones, secciones y departamentos.

El reglamento estableció además que, adscrita a la dirección del IGME, existía una sección del Museo del Instituto Geológico y Minero de España, actual Museo Geominero.

Siguiendo las indicaciones de la OCDE, los gobiernos del segundo franquismo trataron de impulsar las actividades de I+D, pero encontraron serias dificultades para ello, principalmente debido a la insuficiente fiscalidad pública, que no superaba el 12 % del producto interno bruto (PIB), muy alejado del 30 % de media de los países desarrollados en aquellos años, lo que hacía inviable poder alcanzar las recomendaciones dadas por dicha organización de llegar al 1 % del PIB de inversión en I+D. Por ello, el II y III Plan de Desarrollo Económico y Social se orientaron hacia el desarrollo tecnológico y se centraron en grandes proyectos de carácter sectorial (Sanz Menéndez & López García, 1997). Algunas instituciones, como la Dirección General de Minas y el IGME, fueron dotadas presupuestariamente para llevar a cabo esos grandes proyectos tecnológicos, como el PNIM, pero sin asignaciones económicas adecuadas para incrementar los recursos humanos o para la formación del personal, y con escasos contactos con instituciones extranjeras, lo que algunos autores identifican con una continuidad de la «autarquía científica» (Delgado Gómez-Escalonilla & López García, 2019). La institución se vio obligada a la contratación externa de las actividades de I+D a ENADIMSA y a otras empresas privadas. La situación de crisis política y económica del tardofranquismo y de la transición obligó a los gobiernos a dar continuidad a los programas iniciados durante el desarrollismo. Todo ello permitió al IGME adquirir un gran volumen de datos del suelo y subsuelo español en un periodo de tiempo relativamente breve, pero es indudable que la externalización de las actividades privó al IGME de una parte del *know how*, un valor añadido e intangible inherente al hacer que no se adquiere por contrato. Aunque la llegada de la democracia supuso la autonomía del Instituto, la organización interna del IGME siguió un modelo excesivamente jerárquico y nada participativo, inadecuado para una institución científica. Revisando la presentación del IGME hecha por uno de sus directores a finales de los años setenta, resulta evidente que la visión de la institución había experimentado un cambio importante

en esos años, pues, según sus palabras, el IGME debía ser un «Organismo de carácter técnico que [...] provea el necesario apoyo y asesoramiento a la Administración» (IGME, 1980), muy diferente a la visión eminentemente científica del IGME de los primeros años de la dictadura (Marín, 1946). Algo se había perdido en el camino.

EL INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

Aunque el tiempo transcurrido entre la muerte del dictador Francisco Franco y la aprobación de la nueva Constitución de 1978 fue relativamente breve, la construcción del llamado Estado de las *autonomías* fue un proceso más largo y complicado, cuyo resultado final fue la formación de diecisiete comunidades autónomas entre 1979 y 1983. Pero dicho proceso no concluyó completamente hasta la aprobación de los estatutos de las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla en 1995. Adicionalmente, España, que había solicitado su adhesión a la Comunidad Europea (actual Unión Europea) en julio de 1977, pasó a ser un estado miembro en 1986 mediante la firma del Tratado de Adhesión en Madrid (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 1, de 1.01.1986).

Ambos procesos políticos, construcción del Estado de las autonomías y adhesión a la Unión Europea, requirieron cambios profundos y complejos de las administraciones públicas españolas. A partir de una Administración única y marcadamente centralista, fue necesario crear diecisiete administraciones nuevas capaces de gestionar la burocracia de las comunidades autónomas. Además, la Administración General del Estado tuvo que dotarse de mecanismos y medios para mantener relaciones de cooperación eficientes con Europa y con las comunidades autónomas.

Tras una década de estancamiento, como consecuencia directa de la entrada de España en la Unión Europea, la economía tuvo un nuevo impulso a partir de 1986, lo que supuso un crecimiento sostenido del PIB del 2,1 % anual, muy por encima de la media de los países miembros del 1,7 %. La profunda reforma fiscal emprendida en los primeros años de la democracia, que supuso el paso de un sistema basado

principalmente en la imposición indirecta a un sistema de imposición directa, principalmente a través del IRPF, tuvo un gran efecto recaudatorio, lo que permitió alcanzar una fiscalidad superior al 30 % del PIB (Buesa, 2003; Torregrosa Hetland, 2021). Aunque el porcentaje dedicado a I+D no superó el 1 % del PIB, dicha partida presupuestaria tuvo un incremento constante desde 1987, alcanzando un máximo del 0,92 % del PIB en 1993 y estabilizándose en el entorno del 0,85 % a partir de esa fecha (Muñoz, 1999).

En este contexto, el sistema de I+D español necesitaba de profundos cambios para su adaptación a la nueva realidad política y financiera del Estado, un reto que asumieron los gobiernos de la segunda y tercera legislaturas de la nueva democracia (Muñoz, 1999). La Ley 13/1986, de 14 de abril, de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 93, de 18.04.1986) otorgó al IGME y a otras instituciones del Estado (CSIC, JEN/CIEMAT, INTA, IEO; y a partir del año 2000, INIA e ISCIII) un nuevo régimen jurídico bajo la denominación de *organismo público de investigación (OPI)*. La nueva Ley habilitaba al IGME para gestionar y ejecutar programas del Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, así como programas derivados de convenios firmados con comunidades autónomas, a desarrollar programas de formación de investigadores y permitía al Instituto contratar en régimen laboral personal científico y técnico para la ejecución de proyectos determinados. Pero, sorprendentemente, este importante cambio en el régimen jurídico de la institución no tuvo repercusiones a nivel organizativo en el IGME, siendo el único cambio una modificación del nombre. En el *Real Decreto 1270/1988, de 28 de octubre, por el que se determina la estructura orgánica básica del Ministerio de Industria y Energía*, el IGME pasó a denominarse Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 260, de 29.10.1988). Este cambio de nombre atendió a una de las acciones contempladas en el plan estratégico diseñado en 1987 tras la incorporación de Emilio Llorente Gómez a la dirección de la institución: mejorar y actualizar la imagen institucional (Llorente Gómez, 1989). También se encargó un logotipo institucional para el ITGE, que fue diseñado por Cruz Novi-

llo y se basó en una simplificación del emblema tradicional de los ingenieros de minas, manteniendo los «muebles», punterola y martillo minero montados en aspa, y eliminando la orla vegetal o «símbolos honorables» y la corona real (Silva Suárez, 1999).

Las comunidades autónomas crearon diversas instituciones y entidades públicas para adquirir y gestionar información geológica del suelo y subsuelo, que a partir de entonces trabajaron de manera independiente o en colaboración con el IGME o ITGE. Las más importantes son las que se comentan a continuación.

La Generalitat de Catalunya fundó en 1979 el Servei Geològic de Catalunya (SGC) o Servicio Geológico de Cataluña, una entidad administrativa sin personalidad jurídica, de carácter técnico y especializado en el campo de la geología y la geotecnia, y que asumió parte de las actividades desarrolladas tradicionalmente por el IGME en el territorio catalán. En 1997 el SGC quedó integrado en el Institut Cartogràfic de Catalunya, y posteriormente el Parlamento de Cataluña aprobó la Ley 19/2005, de 27 de diciembre, del Instituto Geológico de Cataluña, por la que se crea el Institut Geològic de Catalunya (IGC), con personalidad jurídica propia y plena capacidad de obrar para ejercer sus funciones (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 33, de 8.02.2006). Mediante la Ley 2/2014, de 27 de enero, ambos institutos catalanes fueron fusionados bajo la denominación actual de Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 69, de 21.03.2014). El SGC, IGC o ICGC han elaborado con sus propios medios, en colaboración con las universidades catalanas, consultores autónomos, el CSIC o con el IGME o ITGE, múltiples cartografías y otros estudios geológicos.

El País Vasco creó el Ente Vasco de la Energía (Ley 9/1982, de 24 de noviembre; *Boletín Oficial del País Vasco*, n.º 160, de 16.12.1982), una entidad pública de derecho privado y cuyo principal campo de actuaciones es la energía, pero que también se ocupó de la cartografía geológica, principalmente a escala 1:25 000 en los años ochenta, así como de otras cartografías geológico-mineras de detalle. La realización de dichas cartografías fue contratada a empresas consultoras (principalmente a CGS e INGEMISA), contan-

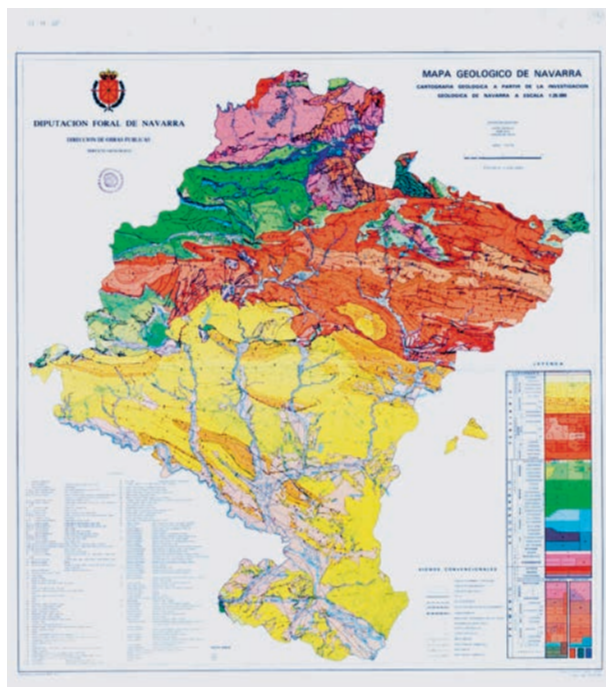


Figura 43. Mapa geológico de Navarra, a escala 1:200 000. Servicio Geológico del Departamento de Obras Públicas-Diputación Foral de Navarra (1978).

do en ocasiones con el apoyo y colaboración de la Universidad del País Vasco y del IGME/ITGE.

Navarra constituye un caso aparte, pues bajo el régimen franquista (1936-1975) no solo mantuvo sus fueros, sino que incrementó su autonomía, de tal modo que su diputación foral ya gozaba de bastante margen de autogobierno previamente a la llegada de la democracia. En 1968 creó el Servicio Geológico de Obras Públicas de la Diputación Foral de Navarra, que estuvo dirigido durante varios años por un ingeniero de minas con gran experiencia y que había trabajado en el IGME, Joaquín del Valle de Lersundi Mendizábal. Los técnicos del Servicio elaboraron la «Investigación Geológica de Navarra», que incluía cartografía geológica, litológica y de permeabilidades a escala 1:25 000 de toda Navarra, y de la que se publicó un mapa de síntesis a escala 1:200 000 en 1978 | fig. 43 |. La Diputación no publicó la cartografía geológica a 1:25 000 realizada por su servicio geológico, sino que llegó a un acuerdo con el IGME para integrarla en la cartografía del plan MAGNA, como así se hizo (Valle de Lersundi, 1998). El Servicio Geológico realizó también estudios y proyectos hidrogeológicos, generalmente con la colaboración de la empresa CGS (Castiella *et al.*, 1982). En la última década del siglo XX se preparó una nueva versión de la cartografía 1:25 000 de Navarra, que fue contratada directamente a empresas consultoras (INYPSA y CGS).

Otras comunidades autónomas también realizaron trabajos de cartografía geológica parciales o de síntesis de sus territorios, así como investigaciones de recursos geológicos, peligrosidad o aguas subterráneas, muchas veces con la colaboración del ITGE/IGME a través de convenios de colaboración.

El nuevo régimen jurídico como OPI supuso un cambio en la política de los recursos humanos del Instituto, cuyos primeros pasos se habían iniciado pocos años antes a través de la convocatoria de cincuenta becas para titulados superiores de diez especialidades (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 256, de 26.10.1983). Simultáneamente a la promulgación de la Ley 13/1986, se abordó una primera actuación para cubrir, por el sistema de concurso de méritos, 43 plazas de titulados superiores y una de técnico de sistemas en la plantilla

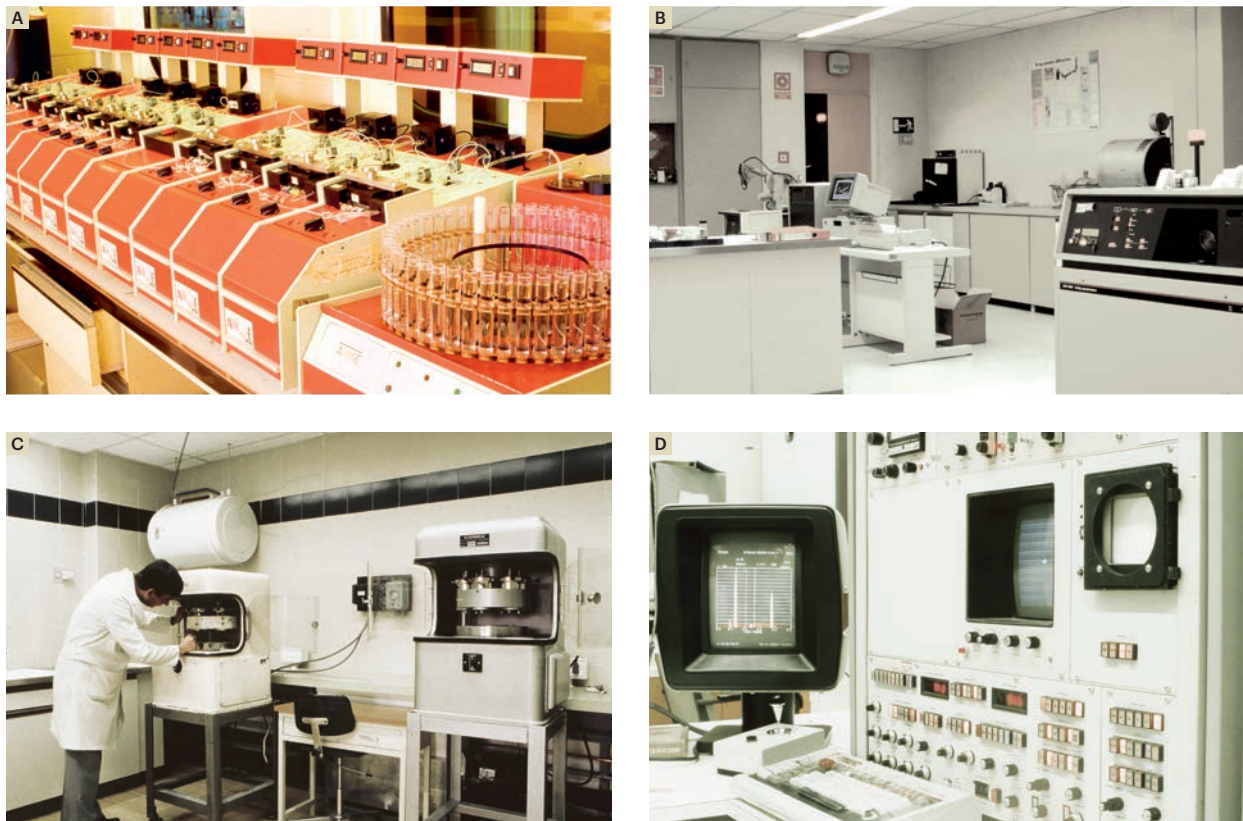


Figura 44. Instalaciones y aparatos de los laboratorios del IGME en Tres Cantos (década de los noventa). A) Laboratorio de Aguas, autoanalizador de flujo continuo (Alliance Instruments). B) Espectrómetro de fluorescencia de rayos X difractor de rayos X (Philips. PW 1404; Philips. PW 1700. C) Pulidora de probetas (H. Depiereux. Düren) y desbastadora de láminas (Farnell). D) Microsonda electrónica (ARL. SEM Q2). Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

laboral fija del IGME (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 93, de 18.04.1986). A esta primera convocatoria siguieron otras en años posteriores, bien para becas, contratación laboral temporal o fija, o bien para la incorporación de funcionarios en las escalas de titulados superiores y de titulados de escuelas técnicas de grado medio de los organismos autónomos del Ministerio de Industria y Energía. A través de estas convocatorias, la plantilla tradicional del IGME, escasa y compuesta casi exclusivamente por ingenieros de minas, se incrementó de tamaño y variedad de titulaciones, incor-

porando no solo geólogos, sino también biólogos, químicos, ingenieros de caminos y otras titulaciones. De una plantilla compuesta tan solo por 124 personas en 1980, se pasó paulatinamente a 423 personas al finalizar el siglo XX y, en consecuencia, la capacidad de llevar adelante proyectos sin tener que recurrir a la contratación externa aumentó considerablemente. Aunque la mayoría del personal se encontraba en Madrid, llegaron a existir hasta catorce oficinas de proyectos repartidas por todo el territorio nacional. Se produjeron también cambios progresivos en cuanto a igual-



Figura 45. Ramón Querol Müller, director del Instituto Geológico y Minero de España entre 1985 y 1987. Galería de retratos del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.



Figura 46. Inauguración del Museo Geominero el 2 de marzo de 1989 por el rey Juan Carlos I, tras las importantes obras de rehabilitación ejecutadas durante 1988. Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

dad de género en la nueva plantilla. Mientras que en 1980 las mujeres representaban tan solo el 5,6 % del personal, a comienzos del siglo XXI superaba el 40 %.

También fueron momentos propicios para la creación de nuevas infraestructuras y reforma de las existentes. Entre las primeras hay que destacar la construcción en 1985 en Tres Cantos (Madrid) de un edificio para los laboratorios | fig. 44 | y de un almacén de publicaciones, así como la creación de la Litoteca de sondeos del IGME en Peñarroya-Pueblonuevo por iniciativa del director del IGME Ramón Querol Müller | fig. 45 |. También se llevaron adelante importantes obras de mejora y restauración en el Museo, que fue reinaugurado el 2 de marzo de 1989 por el rey Juan Carlos I | fig. 46 |, y que a partir de entonces pasó a denominarse *Museo Geominero*.

El IGME pudo dar continuidad a determinados programas y proyectos iniciados en la etapa anterior gracias a financiación propia, pero también mediante financiación

procedente de convenios con algunas comunidades autónomas o con entidades como la Empresa Nacional de Residuos Radioactivos (ENRESA), que financió la realización de numerosas hojas de la cartografía geológica MAGNA (Rodríguez Fernández, 2005). Pero el sello distintivo de esta nueva etapa del Instituto es quizá la puesta en marcha de los estudios y trabajos de lo que, en el sentido más amplio del término, se ha denominado *geología ambiental* (Keller, 1976; Llorente Gómez, 1988), es decir, aquellos relacionados con la peligrosidad de los procesos geológicos, el uso sostenible y la prevención de la contaminación de las aguas y de los suelos, la gestión de los recursos geológicos, el almacenamiento subterráneo de residuos o de recursos, el impacto ambiental, especialmente de la minería, o la planificación y gestión del medio físico, entre otros. Repasaremos brevemente algunos de dichos trabajos, muchos de los cuales se tratan en detalle en los diversos capítulos del presente libro.

Adicionalmente a la puesta en marcha de cartografías geomorfológicas a escala 1:50 000, la publicación del Mapa Geológico de España a escala 1:200 000 y de las primeras hojas del *Mapa geológico de la plataforma continental española*, se realizaron diversos mapas temáticos singulares a escala 1:1M (Tectónico, karst, Cuaternario, gemológico, nueva edición del hidrogeológico, movimientos del terreno, etc.). Entre dichos mapas singulares destaca el *Mapa neotectónico de España* a escala 1:1 000 000, realizado en colaboración con ENRESA, y muy representativo de la tipología de retos que caracterizan el trabajo desarrollado por el Instituto de finales del siglo XX | fig. 47 (véanse *infra* pp. 94-95) |. En su elaboración participó un numeroso grupo de expertos del IGME y de varias universidades españolas. Otro mapa singular reseñable es el *Mapa previsor de riesgos por expansión de arcillas en España*, realizado en colaboración con el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

El IGME había permanecido alejado de la investigación de los hidrocarburos en el momento en que la exploración de dicho recurso alcanzó su máxima actividad en España (Puche Riart & Navarro Comet, 2019). Mucha de la información del subsuelo generada por esa actividad exploratoria era desconocida para buena parte de la comunidad científica española, por lo que el director del IGME Ramón Querol Müller, promovió la realización de una recopilación y síntesis general de la misma (Lanaja, 1987), una publicación realizada sin demasiadas pretensiones pero que tuvo cierta repercusión: el *Lanaja*, junto con el *Ríos* (Comba, 1983), se convirtieron en los vademécums geológicos de la época. Poco después, ante la necesidad que tenía ENRESA de disponer de dicho tipo de información, el siguiente director, Emilio Llorente Gómez | fig. 48 |, encargó la elaboración de una recopilación y síntesis mucho más extensa, dividida por cuencas sedimentarias, que fue llevada a cabo por técnicos de la empresa GESAL y supervisados por Jose Luis Martínez Abad y Ramón Querol Müller (Hernández *et al.*, 1989). Esta información ha constituido el punto inicial de consulta obligada para muchos de los estudios realizados posteriormente relativos a almacenamiento subterráneo.



Figura 48. Emilio Llorente Gómez, director del IGME entre 1987 y 1991. Real Academia de Ingeniería.

En cuanto a las aguas subterráneas, y como continuación de las realizaciones previas, se puso en marcha el «Plan de Gestión y Conservación de Acuíferos» (PGCA) y se implantaron las primeras redes de control periódico y sistemático, con medición de niveles y muestreo del agua subterránea para su análisis en los laboratorios del IGME, labores que se siguieron realizando hasta el año 2000. La Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 189, de 08.08.1985), supuso un cambio en cuanto al papel del Instituto, pues las aguas subterráneas quedaron incorporadas al dominio público hidráulico y bajo la responsabilidad directa de las confederaciones hidrográficas de cada cuenca. El IGME/ITGE participó activamente con las confederaciones en la elaboración de los diferentes planes de cuenca, aportando su información, una actividad que se prolongó

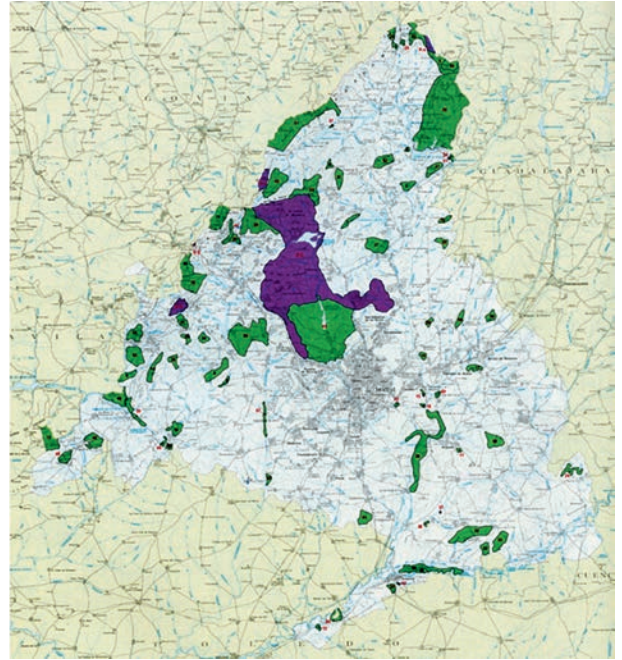
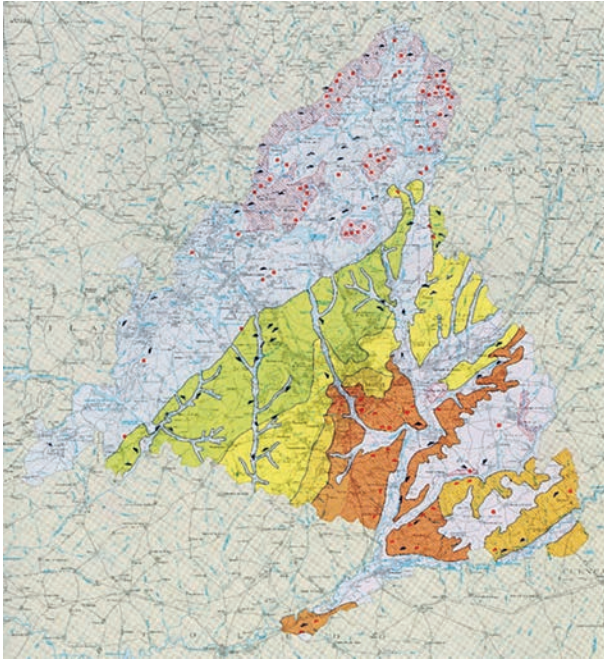


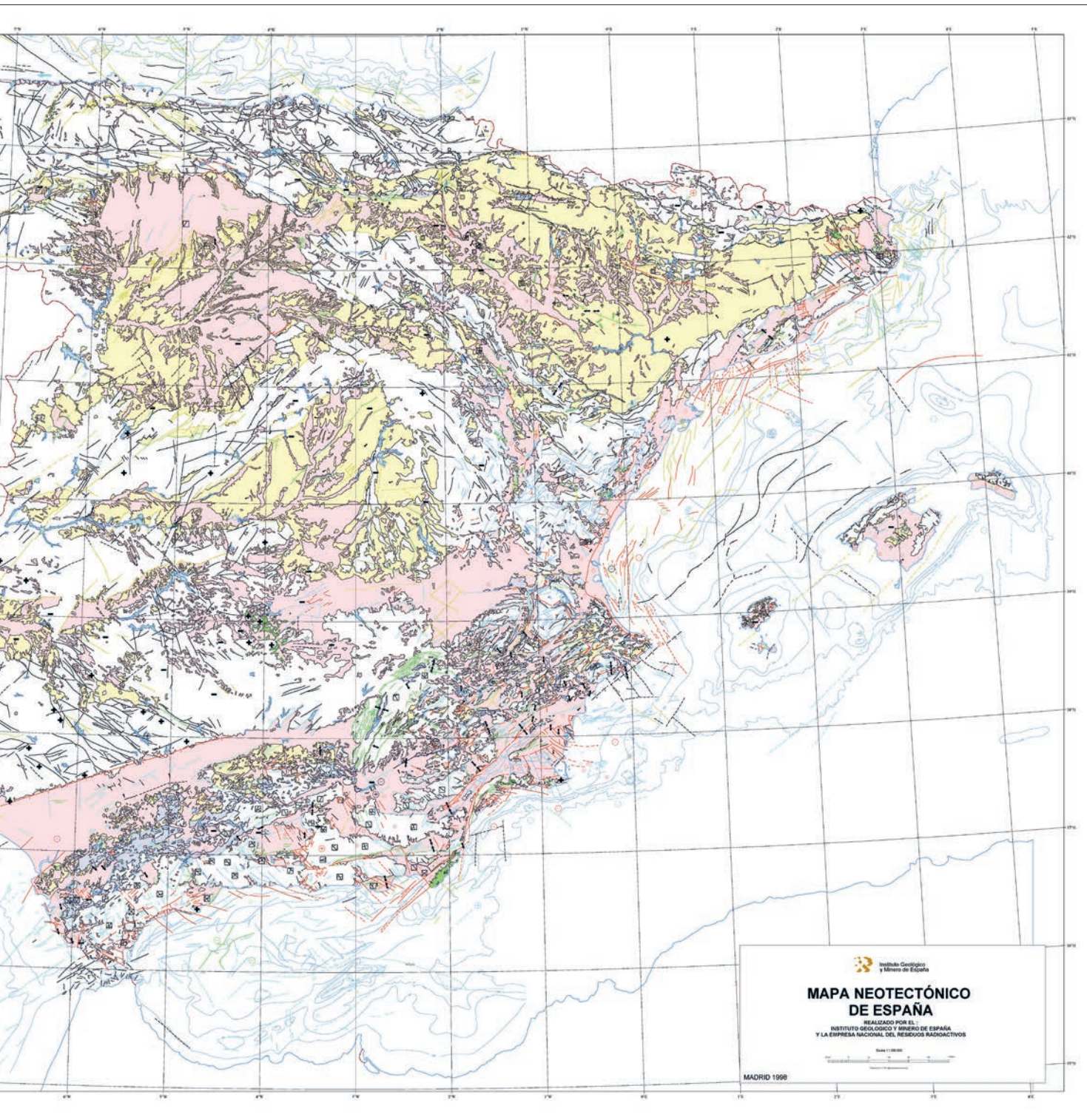
Figura 49. Algunos mapas (escala 1:500 000) del *Atlas geocientífico del medio natural de la Comunidad de Madrid: peligrosidad geológica* (izquierda), *espacios naturales* (derecha). Según Ayala-Carcedo (1988).

casi hasta finales del siglo XX y, posteriormente, aportando su conocimiento experto. Por el contrario, las aguas minero-medicinales continuaron estando consideradas como un recurso geológico regulado por la legislación minera, por lo que el ITGE/IGME ha continuado siendo organismo consultivo y trabajando en el tema hasta la actualidad.

La preocupación conservacionista de la sociedad tuvo su respuesta en las actividades del Instituto, que ya había iniciado, por ejemplo, los primeros inventarios de patrimonio geológico a finales de los años setenta. Se abordaron distintos tipos de inventarios de recursos en formato atlas [fig. 49], así como la publicación de manuales para evaluación de impacto ambiental, restauración de canteras y graveras, etc. En la última década del siglo XX, a instancias del Ministerio de Obras Públicas, Turismo y Medio Ambiente, comenzó un proyecto piloto para el Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental (PNCTA), que incluía la elabora-

ción a escala 1:50 000 o 1:25 000 de seis cartografías (litología, geomorfología, suelos, vegetación, paisaje y patrimonio natural) para todo el territorio nacional y en formato digital. El ITGE coordinó la fase de diseño del PNCTA, que contempló la realización de diez hojas piloto. Aunque el PNCTA no se llegó a ejecutar, la fase piloto sirvió de base para el desarrollo de normativas y aplicación de los sistemas de información geográfica o GIS en cartografías de contenido muy diverso, una tecnología emergente y con la que el IGME llevaba algunos años trabajando (Baretino Fraile, 1999).

En los años ochenta del pasado siglo ocurrieron en España diversas catástrofes relacionadas con los peligros geológicos que causaron graves pérdidas, entre ellas las inundaciones en Valencia (1982) y en el País Vasco (1983), o el deslizamiento de tierras en Los Olivares, provincia de Granada (1986). La tragedia de Armero (Colombia, 1985), producida por la erupción del volcán Nevado del Ruiz, también



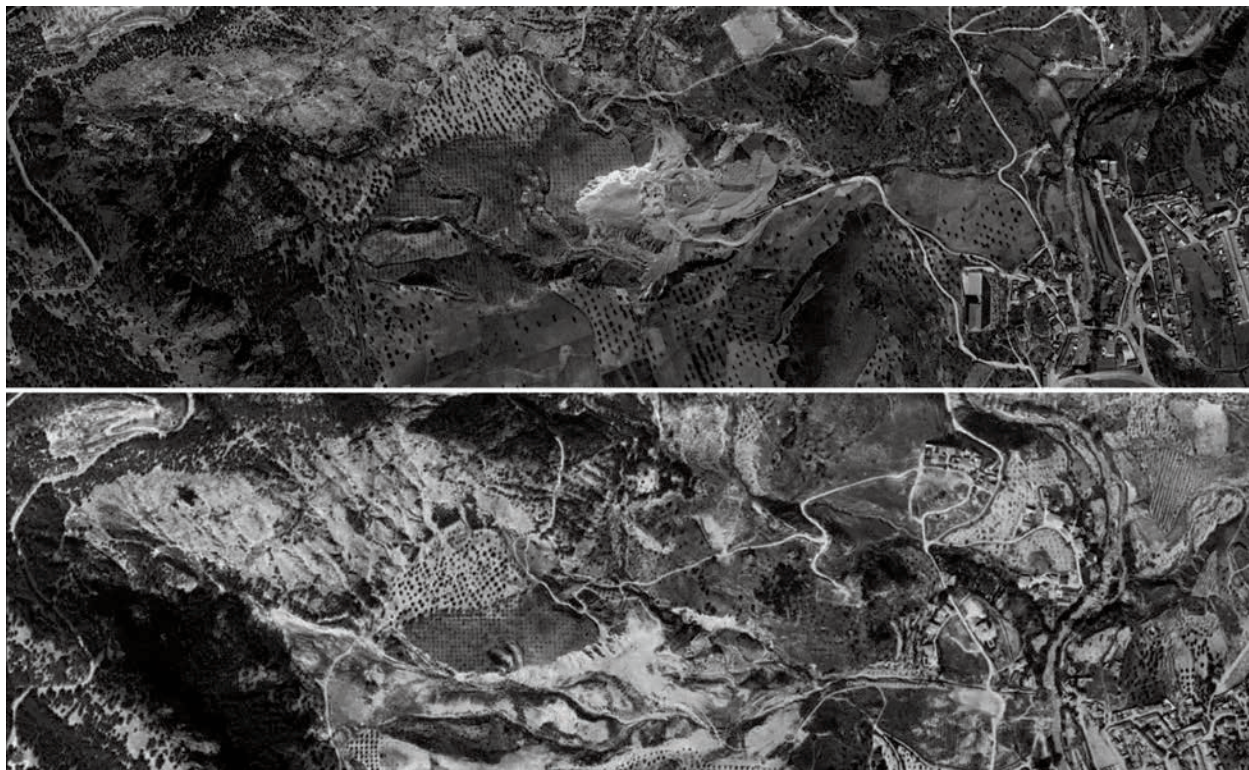


Figura 50. Imágenes aéreas del deslizamiento de tierras ocurrido en Olivares (Moclín, Granada) en abril de 1986. Arriba: fotografía aérea tomada en marzo del 1985, once meses antes de ocurrir el deslizamiento; se observa una cantera en el centro de la foto. Abajo: ortofoto posterior al deslizamiento (vuelo OLISTAT de 1997-1999). Fuentes: Vuelo Nacional 1980-1986 CC-BY 4.0 ign.es & Orto-OLISTAT 1997-1999 CC-BY 4.0 scne.es.

tuvo un gran seguimiento mediático y conmocionó al país. A partir de entonces, el IGME/ITGE comenzó a generar mapas preventivos, tratando de delimitar las zonas de mayor peligrosidad, y se llevaron a cabo también actuaciones directas de asesoramiento en el terreno, como en el caso de Los Olivares | fig. 50 |, así como seminarios de formación sobre peligrosidad de diferentes procesos geodinámicos, inventarios de peligros geológicos y prospectivas de su impacto económico y social.

Otras de las actividades realizadas por el IGME/ITGE estuvieron encaminadas a dar apoyo al Plan Nacional de Seguridad Minera, para lo cual se creó dentro de la institución un área específica en 1987, que en los años su-

cesivos preparó diversos estudios y manuales (Llorente Gómez, 1988).

Las últimas dos décadas del siglo XX supusieron un periodo de cambios continuos y rápidos para la sociedad española y también para el Instituto. Estos afectaron directamente al régimen jurídico, que pasó a ser el de un organismo público de investigación, y a la plantilla, que aumentó en tamaño y en diversidad de titulaciones. De este modo, el IGME/ITGE pudo afrontar a partir de entonces la ejecución de muchos de sus proyectos sin tener que recurrir a la contratación externa. Las comunidades autónomas comenzaron a realizar sus propios trabajos geológicos con mayor o menor dedicación, el ITGE/IGME ya no estaba solo. Fue

también una época de cambios en cuanto a la temática de los proyectos realizados y a las tecnologías utilizadas. La actividad principal de la institución durante sus primeros 130 años de existencia había sido la exploración de la geología y sus recursos o *geological survey*, pero a partir de entonces tomó un gran peso la componente ambiental del medio geológico, teniendo que realizar trabajos pioneros o de los que existían escasos antecedentes. Simultáneamente, los sistemas de información geográfica, las bases de datos y los modelos numéricos pasaron a ser herramientas de uso cotidiano en el trabajo del Instituto. Todos estos cambios supusieron un reto importante, hubo que aprender, experimentar y desarrollar nuevos métodos y tecnologías, a veces partiendo de cero y mediante el autoaprendizaje.

UN NUEVO SIGLO

Durante la sexta legislatura de la democracia, el Gobierno de España creó el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), que asumió competencias que hasta entonces habían estado repartidas entre los ministerios de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, el de Agricultura, Pesca y Alimentación y el de Industria y Energía. El *Real Decreto 1894/1996, de 2 de agosto, de estructura orgánica básica del Ministerio de Medio Ambiente*, dispuso en su artículo 2.3 que el ITGE quedaba adscrito a dicho Ministerio, con dependencia orgánica de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas y funcional de la Secretaría General de Medio Ambiente en las actuaciones propias de sus competencias. El Servicio de Sondeos y Afros del ITGE quedó adscrito en 1999 al Parque de Maquinaria del MMA, pero siguió dando apoyo al Instituto a través de convenios específicos hasta que dicho parque desapareció. El *Real Decreto 1894/1996* también suprimió la Subdirección General del Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP), unidad administrativa creada en 1960 y que a lo largo de sus 36 años de existencia había realizado numerosos estudios geológicos e hidrogeológicos para su ministerio.

A raíz de que Luis Fernando Granados Granados, funcionario del Ministerio y autor del estudio paleontológico de 196 hojas del MAGNA, y que previamente había traba-



Figura 51. Emilio Custodio Gimena, director del IGME entre 1997 y 2004, durante la salida de campo del II Workshop sobre «Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas», celebrado en Las Palmas de Gran Canaria en enero de 2015. Fotografía: María del Carmen Cabrera Santana.

jado en ENADIMSA, se incorporase al ITGE, la institución recuperó gracias a su mediación diversas colecciones de muestras de ENADIMSA que habían sido estudiadas por Enrico Perconig y por él mismo, así como de CIEPSA/CGS (colección de láminas delgadas Mariano Aguilar y colección de muestras micropaleontológicas José Ramírez del Pozo).

Al año siguiente, el MMA nombró director del ITGE al ingeniero industrial Emilio Custodio Gimena | fig. 51 |, eminentemente hidrogeólogo con una sólida trayectoria docente e investigadora. Custodio fue el primero en dirigir la institución que no era ingeniero de minas (excepción hecha, como se vio más arriba, de los dos primeros directores de la Comisión de la Carta Geológica) y lideró diversos cambios en el ITGE, unos por iniciativa propia, otros como consecuencia de medidas emprendidas desde el Gobierno. A Emilio Custodio le sucedieron en la dirección José Pedro Calvo Sorando en el año 2004 | fig. 52 |, el primer geólogo en ser director del IGME, y posteriormente Rosa de Vidania Muñoz en 2010 | fig. 53 |, la primera mujer en ocupar dicho cargo.

Los días 23 y 24 de marzo del año 2000, el Consejo de Europa aprobó la llamada Estrategia de Lisboa, cuyo objetivo era fortalecer la economía de la Unión Europea para ser más competitiva, basándose en el conocimiento y en el

empleo. En consecuencia, el Gobierno de España hizo un mayor esfuerzo presupuestario a partir de esa fecha, para converger con lo que se ha denominado la *Europa del Conocimiento*. España superó la ansiada barrera del 1 % del PIB de inversión en I+D en el año 2003 y se alcanzó el 1,4 % del PIB en 2010 (INE, s/f). Pero la crisis económica posterior impidió mantener esos niveles de inversión, que solamente se han podido recuperar de nuevo a partir de 2021 con la ayuda de los fondos destinados por Europa a reparar los daños provocados por la crisis del COVID-19. La nueva política de investigación supuso cambios importantes en el devenir del ITGE/IGME en lo que respecta a su dependencia orgánica, denominación, organización, recursos humanos, económicos y materiales.

El Real Decreto 696/2000, de 12 de mayo, dispuso que el ITGE, junto con los demás OPI, quedaran adscritos orgánicamente al Ministerio de Ciencia y Tecnología, de nueva creación, pasando a depender de la Secretaría General de Política Científica de dicho ministerio (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 115, de 13.05.2000). El Real Decreto 1953/2000, de 1 de diciembre, estableció un nuevo estatuto (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 289, 02.12.2000). Además de recuperar el nombre tradicional de *Instituto Geológico y Minero de España*, se creó un órgano de gobierno colegiado, el Comité de Dirección, y se renombraron las direcciones existentes: Geología y Geofísica, Hidrogeología y Aguas Subterráneas, Recursos Minerales y Geoambiente. Hay que destacar que, entre las funciones del Instituto, se señalan «las relaciones interdisciplinarias con otras áreas del saber, contribuyendo al mejor conocimiento del territorio y de los procesos que lo configuran y modifican, al aprovechamiento sostenido de sus recursos y a la conservación del patrimonio geológico e hídrico», de marcado perfil ambientalista. El estatuto del IGME fue modificado nuevamente en el año 2007 (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 219, de 12.09.2007), renombrando las direcciones y con un reparto diferente de sus funciones (Investigación en Recursos Geológicos, Investigación y Prospectiva Geocientífica, Infraestructura Geocientífica y Servicios).

Otra de las novedades organizativas de los primeros años del siglo XXI, promovida por Emilio Custodio, fue la de actualizar la naturaleza, fines y régimen jurídico de la



Figura 52. José Pedro Calvo Sorando, director del IGME entre 2004 y 2010, en la inauguración de la exposición itinerante del Museo Geominero «Tesoros en las rocas», en su edición de Valladolid (2005). Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

Figura 53. Rosa de Vidania Muñoz, directora del IGME entre 2010 y 2012. Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.



Figura 54. La presidenta del CSIC, Eloísa del Pino, durante una visita a las instalaciones en Tres Cantos del IGME el 11 de septiembre de 2023. Fotografía: Lorenzo Plana Torres.

Comisión Nacional de Geología, y regular sus funciones (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 57, de 07.03.2003). Entre ellas figura la de «la validación científica de la cartografía geológica y geotemática nacional», un tema en el que no se ha avanzado desde entonces.

Mediante el Real Decreto 1183/2008, de 11 de julio, el IGME quedó adscrito al Ministerio de Ciencia e Innovación, pasando a depender de la Secretaría de Estado de Investigación (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 171, de 16.07.2008). Dicho Ministerio promovió la aprobación de la Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 131, de 02.06.2011), por la cual se confirmaba el carácter del IGME como organismo público de investigación, y se estructuraba el personal de investigación en las escalas científicas y técnicas. A partir de la disposición adicional octava de la Ley 14/2011, el IGME, junto con el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y el Instituto Español de Oceanografía (IEO), se integraron en 2021 en la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas

(CSIC) | fig. 54 |, con carácter de centro nacional (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 77, de 31.03.2021).

Tras su integración en el CSIC, el IGME cuenta con un órgano directivo, la Dirección del Centro Nacional IGME, y con la Comisión Rectora (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 77, de 31.03.2021). Además, según las normas reguladoras de los institutos y demás unidades del CSIC, el IGME tiene una gerencia, dos órganos de asesoramiento científico: el Claustro, formado por el personal investigador del IGME, y el Comité Externo de Asesoramiento Científico, y los siguientes órganos internos: Dirección, Vicedirección Científica, Vicedirección Técnica y Junta de Centro, esta última con representación del personal del IGME. Los grupos de investigación de la Vicedirección Científica se reparten en cuatro departamentos: Riesgos Geológicos y Cambio Climático, Aguas y Cambio Global, Recursos para la Transición Ecológica, Geología y Subsuelo.

La Estrategia de Lisboa también supuso cambios importantes en cuanto a los recursos humanos del IGME y demás OPI. Antes de finalizar el año 2000 se aprobó la

Ley 14/2000, de 29 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social (Boletín Oficial del Estado, n.º 313, de 30.12.2000) que, en su artículo 35, creaba dos nuevas escalas de funcionarios en los organismos públicos de investigación: la de investigadores titulares de OPI y la de técnicos superiores especialistas de OPI. Aquellos funcionarios del IGME y de otros OPI que cumplieran determinadas condiciones se pudieron integrar en ellas (Real Decreto 868/2001, de 20 de julio; *Boletín Oficial del Estado*, n.º 176, de 24.07.2001), y en años sucesivos se convocaron pruebas selectivas para opositar a las nuevas escalas. Estos cambios se vieron reforzados por la Ley 14/2011, que favoreció una transformación paulatina de la plantilla. Mientras que en el año 2003 había 52 doctores o investigadores en el IGME, lo que tan solo representaba el 11 % de la plantilla, en el año 2015 ya eran 96 personas y suponían el 25 % del total, una cifra que ha experimentado un ligero ascenso hasta superar el centenar en la actualidad (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, 2004; IGME, 2016, 2023).

Tras la progresiva finalización de buena parte de los programas nacionales de las décadas anteriores, se produjo una reducción de los recursos humanos y económicos disponibles para la actividad del IGME, por lo que a finales de la década de los años ochenta y en la de los noventa del pasado siglo el Instituto reorientó su actividad a la investigación aplicada en temas hidrogeológicos, geoambientales y de peligrosidad geológica, reforzando la colaboración con otras administraciones y con empresas públicas, como ENRESA, así como con las comunidades autónomas y con la administración local, lo cual se vio reforzado en 1996 con la adscripción del IGME al MMA. El ITGE/IGME logró estabilizar así su presupuesto y consolidar la plantilla (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, 2004).

A partir del año 2000, con la incorporación al Ministerio de Ciencia y Tecnología, hubo un incremento paulatino de los recursos económicos, desde 23,1 M€ en el año 2000 (cuyo valor actualizado según el índice de precios al consumo sería de 38,92 M€), hasta alcanzar un máximo de 40,9 M€ en 2009 (valor actualizado 52,6 M€) (IGME, 2010). La buena situación económica permitió al Instituto crear nuevas instalaciones y adquirir diversos equipos durante la primera década

del siglo. Cabe mencionar por su importancia la ampliación de la sede de Tres Cantos entre 2001 y 2004, y la adquisición de un espectrómetro de masas de ionización térmica (TIMS) en 2005 para abordar trabajos de geocronología | fig. 55A |.

La crisis económica mundial de 2008 afectó a España con retraso, pero de manera contundente. En 2010 la dirección del IGME, junto con las del INIA y el IEO, pasó a tener rango de subdirección general, como lo había sido con anterioridad a 1979. Los presupuestos del IGME descendieron a partir de ese año 2010, alcanzando un mínimo en 2015 y manteniéndose estable a partir de entonces. A pesar de ello, entre los años 2013 y 2015 se adquirieron diversos equipamientos científicos a través de convocatorias cofinanciadas con fondos FEDER (espectrómetro de fluorescencia de rayos X, escáner de fluorescencia de rayos X para testigos de sondeos, microscopio electrónico de barrido compacto, entre otros | fig. 55B |), y en 2022 el Plan de Recuperación y Resiliencia ha permitido adquirir otros equipos de última generación (espectrómetro hiperespectral, tomógrafo axial computarizado de rayos X, espectrómetro de masas, sistema ablación laser, analizador elemental C, N y S, analizador de Carbono Orgánico Total o TOC, entre otros) | fig. 55C-D |.

Las actividades realizadas en el último cuarto de siglo son muy numerosas, muchas de las cuales se desgranar a lo largo de los restantes capítulos del presente libro. Algunos de los rasgos esenciales de este último periodo se resumen a continuación.

La cuantía de proyectos competitivos liderados por el IGME, obtenidos tanto en convocatorias nacionales como europeas, se ha incrementado, mientras que los proyectos por convenios y encomiendas han disminuido, sobre todo con posterioridad a la publicación de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, y la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, que transpone al ordenamiento jurídico español diversas directivas europeas y determinan los requisitos de los organismos públicos para ser considerados medio propio y servicio técnico de la Administración.

La diversidad de temáticas y lugares donde se desarrollan los trabajos se han incrementado enormemente. Técnicas tales como el paleomagnetismo o la geocronología



Figura 55. Algunos equipos actuales de los laboratorios del IGME en Tres Cantos. a) Espectrómetro de masas TMS (Finnigan TRITON). b) Microscopio electrónico de barrido SEM (Jeol JSM-6010plus). c) Cromatógrafo de gases/espectrómetro de masas (Agilent Technologies 7000 GC/MS triple quad). d) Difractómetro de rayos X (Malvern Panalytical X'Pert).



◀ Figura 56. Terremoto de Lorca (Murcia) (5,1 Mw), ocurrido el 11 de mayo de 2011. Estudio de daños orientados en una construcción contemporánea. Fotografía: Miguel Ángel Rodríguez Pascua.

▼ Figura 57. Investigadoras e investigadores del IGME y de la Universidad de Barcelona trabajando en el lago Marboré, Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (septiembre de 2014). Fotografía: Ángel Salazar.





Figura 58. Sala del Museo Geominero durante uno de los talleres divulgativos de primer domingo de mes. Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

permiten alcanzar actualmente un conocimiento mucho más preciso de la geología regional. La tecnología actual, con el apoyo imprescindible de la geofísica, permite modelizar dicha geología en sus tres dimensiones. La hidrogeología afronta problemas cada vez más complejos, como son la contaminación y calidad del agua subterránea, el cambio climático y la disponibilidad de recursos, o la conservación de humedales y sus hábitats. En cuanto a los recursos del subsuelo, los nuevos retos para la sociedad y para el IGME son el almacenamiento subterráneo de CO₂ o de hidrógeno y la localización de yacimientos de materias críticas minerales. El terremoto de Lorca del año 2011 y la reciente erupción volcánica en la isla de La Palma en 2021 han puesto de manifiesto la necesidad de potenciar el estudio de los peligros debidos a la geodinámica tanto externa, inundaciones y deslizamientos, como interna | fig. 56 |, así como de proveer a las autoridades competentes de un asesoramiento científico adecuado e inmediato durante las emergencias, labor por la cual el IGME fue condecorado en el año 2022. Los estudios relativos a paleoclima y de cambio global | fig. 57 | ocupan también un lugar importante entre los trabajos realizados. La actividad del IGME se ha expan-

dido de forma notable en las últimas décadas a diversos países de Iberoamérica y de África, así como a la Antártida.

La publicación y comunicación de los resultados de los trabajos de investigación realizados por miembros del IGME ha experimentado diversos cambios en este siglo. A finales del siglo XX el número de trabajos citables indexados en la Web of Science era de nueve o diez al año, pero ese número se multiplicó por diez en menos de una década y actualmente supera los doscientos (IGME, 2016, 2023).

El gran escaparate de la ciencia para el público ha dejado de ser el papel impreso. El usuario de información geológica ya no acude a la biblioteca o al centro de documentación, sino que desea poder acceder a dicha información a través de la World Wide Web y el IGME ha puesto los medios adecuados para que esto sea posible. Su web, que ya tenía más de 2,5 M de visitas al año, duplicó el número durante la erupción volcánica de La Palma (IGME, 2022), alcanzando casi los 6 M de visitantes en 2021.

La divulgación ocupa también un lugar importante en la agenda de la institución. A la labor que ha venido realizando el Museo Geominero desde su reinauguración en 1989 | fig. 58 |, se ha sumado buena parte del personal técnico



e investigador, realizando numerosas publicaciones divulgativas, como las guías geológicas de los parques nacionales españoles, coeditadas con el Organismo Autónomo Parques Nacionales, o aquellas relacionadas con el patrimonio geológico. El IGME participa activamente en la Semana de la Ciencia, ofreciendo diversas actividades, algunas de ellas, como «A todo riesgo. Convivir con los desastres geológicos cotidianos en Segovia» o «Itinerario geológico por La Pedrizas del Manzanares», llevan realizándose ininterrumpidamente desde hace más de quince años | fig. 59 |. Otro evento divulgativo que ha alcanzado gran éxito de público, patrocinado por el IGME y en el que su personal participa activamente, es el «Geolodía», promovido por la Sociedad Geológica de España, con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología y la Asociación Española para la Enseñanza

▲ Figura 59. Actividad divulgativa organizada por el IGME en la Pedrizas del Manzanares (Parque Nacional Sierra de Guadarrama) durante la Semana Ciencia del CSIC el 4 de noviembre de 2021. Fotografía: José Miguel Fernández Portal.

► Figura 60. Drones del IGME y del Grupo de Emergencias y Salvamento de la comunidad autónoma de Canarias (GES) volando cerca de Las Manchas (El Paso y Llanos de Aridane) el 2 de noviembre de 2021 durante la erupción volcánica de La Palma. Fotografía: Ana María Cabrera Ferrero.



de las Ciencias de la Tierra. También se han producido vídeos divulgativos, varios de ellos galardonados con diversos premios (*Las avenidas torrenciales con Piqueto, Gea y los fósiles, Lagos y hielo en los Pirineos, Dibujando la piel de la Tierra*). Los vídeos grabados a pie o desde drones por el personal del IGME durante el reciente evento eruptivo de la isla de La Palma estuvieron durante semanas entre los más populares en las redes sociales | fig. 60 |, casi un centenar de ellos superaron las 100 000 visualizaciones, y siete el medio millón.

LAS SEDES

La Comisión de la Carta Geológica que se creó en 1849 se instaló en el Palacio del Duque de San Pedro, en la calle Flo-

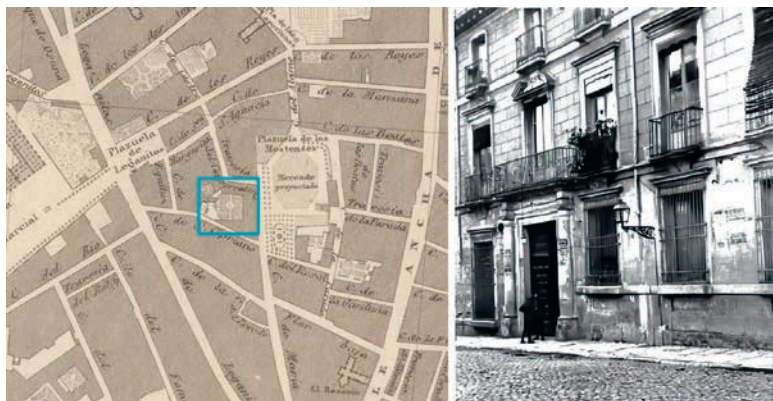
rín n.º 2 de Madrid (actual Fernanflor), al lado del Congreso de los Diputados | fig. 61 |, donde radicó hasta su disolución en 1859. En este edificio, que había sido la sede de la recién suprimida Dirección General de Minas, la Comisión compartió espacios con la Escuela de Minas, que ocupaba la planta baja desde su traslado de Almadén a Madrid en 1835.

La desaparición de la Comisión en 1859 y el paso a la Comisión General de Estadística (más tarde Junta General de Estadística), produjo el abandono de los locales de la calle Florín. El archivo y las colecciones fueron trasladados al antiguo convento de la Trinidad Calzada, en la calle Atocha n.º 12, sede entonces del Ministerio de Fomento, donde iban a continuar sus trabajos las brigadas geológicas de Estadística.

La refundación en 1870 de la Comisión, esta vez bajo el nombre de Comisión del Mapa Geológico, obligó al Minis-



▲ Figura 61. El Palacio del Duque de San Pedro en la calle Florín de Madrid (actual Fernánflor) esquina con la Carrera de San Jerónimo, sede de la Comisión de la Carta Geológica entre 1849 y 1859. Fotografía: Charles Clifford (1853). Calotipo. Biblioteca Nacional de España.



◀ Figura 62. Izquierda, ubicación del edificio donde tuvo la sede la Comisión del Mapa Geológico de España entre 1870 y 1926, en la calle Isabel la Católica n.º 25 (renumerado después como n.º 2 de la plaza de los Mostenses), según el *Plano de Madrid* de Pascual Madoz y Francisco Coello (1848). Derecha, fachada de la casa hacia 1923. Hemeroteca Municipal de Madrid.

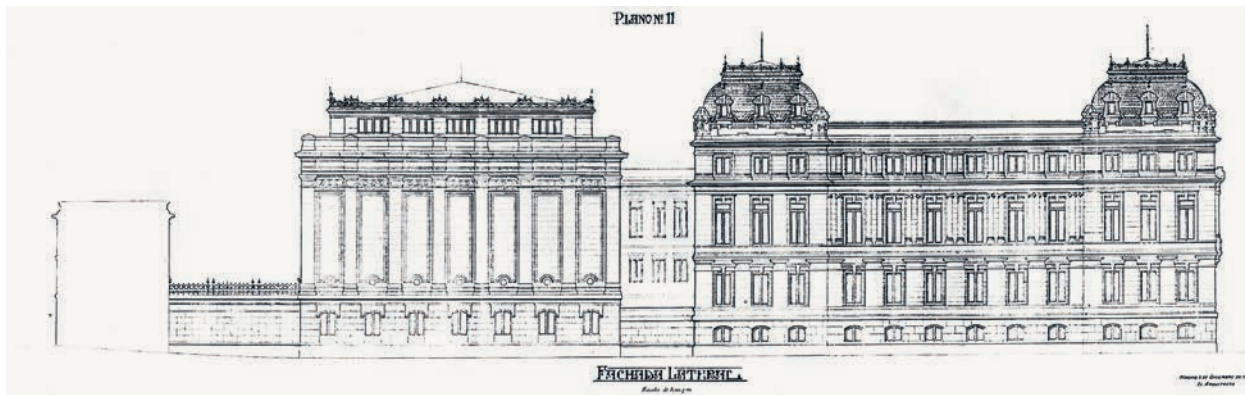


Figura 63. Fachada lateral del edificio del Instituto Geológico y Minero de España en la calle Ríos Rosas de Madrid, según proyecto de Francisco Javier de Luque (1918). El cuerpo central corresponde a la sala que alberga actualmente al Museo Geominero. Las mansardas trazadas inicialmente en el cuerpo anterior, semejantes a las del edificio anejo de la Escuela de Minas, no llegaron a construirse. Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

terio de Fomento a alquilar un espacio en el que se pudieran reubicar los nuevos materiales reunidos en Estadística, así como los que procedían de la primera Comisión. La nueva organización se instaló en varios pisos de un edificio en el número 25 de la calle de Isabel la Católica (renombrada más tarde como *plaza de los Mostenses*, n.º 2), con fachadas a las calles del Conservatorio y de San Cipriano | fig. 62 |. Se trataba de una casa-palacio que había albergado entre 1830 y 1852 el Conservatorio de Música (Ortiz Ballesteros, 2005-2006), y que fue derribada durante la tercera fase de la ampliación de la Gran Vía. Se conocía como la casa del Conde de Revillagigedo o la Casa del Patriarca.

La importante reestructuración que experimentó la Comisión en 1910, durante la dirección de Luis Adaro, junto con el proyecto del Ayuntamiento de Madrid para la apertura de la Gran Vía, en el que estaba contemplado el derribo del «viejo caserón de la Plaza de los Mostenses», llevó a Adaro a planificar la construcción de una sede propia. Entre 1915 y 1916 se realizaron las gestiones para comprar dos solares disponibles en la calle Ríos Rosas, inmediatamente al lado de la Escuela de Minas, de forma que, en palabras de su sucesor en la dirección, Rafael Sánchez Lozano, resulta-

rían «así agrupados y en mutua comunicación el edificio de la Escuela de Minas, con sus laboratorios y colecciones, y el del Instituto Geológico con sus museos, talleres y gabinete de estudios» (Sánchez Lozano, 1917). Francisco Javier de Luque fue el arquitecto encargado por el Ministerio de Fomento para formular el proyecto definitivo y llevar la dirección facultativa de las obras | fig. 63 |. La construcción del nuevo edificio coincidió en el tiempo con la propuesta que hizo España para organizar en 1925 el XIV Congreso Geológico Internacional, celebrado finalmente en 1926 por el retraso que experimentaron las obras, sirviendo la espléndida Sala de Colecciones (actual sede del Museo Geominero | fig. 64 |) como escenario para las sesiones del mismo. No se ha conservado ningún documento que certifique la terminación oficial de la construcción del edificio, aunque se conoce que la construcción se encontraba muy avanzada a comienzos de la década de 1930 (*Luz*, 26.03.1933), que ya se estaban instalando allí tanto las personas como los laboratorios, y que en otoño de 1936 se interrumpieron las pocas obras que restaban para rematar el proyecto. En palabras de Moya (1943), «durante tres años el Instituto esperó quieto y mudo. Fueron protegidos en sus sótanos aparatos, libros y



Figura 64. Sala del Museo Geominero. Fotografía: Pedro López. Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

colecciones; muchos objetos fueron destruidos o se extraviaron; el edificio sufrió considerables daños». Al finalizar la contienda, se habilitó un presupuesto especial para reparar los desperfectos (Rábano *et al.*, 2006). Muchos afectaron a la sala del museo y a su «lucera», la estructura en forma de claraboya que preserva la vidriera artística del interior. Desde entonces el edificio de la calle Ríos Rosas n.º 23 de Madrid | fig. 65 | alberga la sede central del Instituto Geológico y Minero de España.

En 1981 el IGME adquirió, mediante concurso, a la empresa pública Tres Cantos S. A. tres parcelas de suelo industrial situadas a veinticinco kilómetros de Madrid, en unos terrenos del término municipal de Colmenar Viejo en los que se pretendía construir una nueva ciudad. En dos de

esas parcelas, el IGME levantó un edificio para albergar los laboratorios (calle Calera n.º 1) y una nave para almacén de publicaciones (calle Calera n.º 2). El nuevo municipio declaró su independencia de Colmenar Viejo en 1991 y pasó a llamarse *Tres Cantos*. Entre los años 2001 y 2004 el edificio de laboratorios fue ampliado para albergar oficinas, un aula de formación, salón de actos, talleres, almacenes y otros | fig. 66 |. En la tercera parcela, la de mayor superficie, se planteó la construcción de otro edificio para trasladar allí la mayor parte del personal técnico y de investigación y dejar la sede central de Ríos Rosas para actividades administrativas, de gerencia e información, y albergar la biblioteca y el museo (Custodio Gimena, 2000), un proyecto que no se llegó a ejecutar.



Figura 65. Edificio del IGME en la calle Ríos Rosas n.º 23 de Madrid. Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.



Figura 66. Edificio del IGME en la calle Calera n.º 1 de Tres Cantos (Madrid). Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

BIBLIOGRAFÍA

ADARO, L., & VALLE LERSUNDI, A. del. (1910). Nota acerca de la constitución geológica de Guelaya. *Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería*, 61, 133-140.

ALASTRUÉ Y CASTILLO, E. (1983). *La vida fecunda de Don Lucas Mallada*. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas.

ÁLVAREZ FERNÁNDEZ, C., COMA GUILLÉN, J. E., LUCENA BONNY, C., PORRAS MARTÍN, J., SAN JOSÉ LANCHÁ, M. A., & QUANG TRAC, N. (1972). Mapa Hidrogeológico Nacional: Explicación de los mapas de lluvia útil, de reconocimiento hidrogeológico y de síntesis de los sistemas acuíferos. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 81, 1-44.

ANDUAGA, A. (2009). *Geofísica, economía y sociedad en la España contemporánea*. CSIC.

ARAGONÉS, E. (1999). Noticia de D. Ángel Vallejo y Villalón (1778-1840), comisionado para realizar estudios geológicos en Cataluña y encargado de formar el primer mapa geológico de España. *Boletín Geológico y Minero*, 110(5), 645-660.

AYALA-CARCEDO, F. J. (Dir.) (1988). *Atlas Geocientífico del Medio Natural de la Comunidad de Madrid*. Instituto Tecnológico Geominero de España; Comunidad de Madrid.

AYALA-CARCEDO, F. J., PEREJÓN, A., JORDÁ, L., & PUCHE, O. (2005). The XIV International Geological Congress of 1926 in Spain. *Episodes*, 28(1), 42-47.

BAKEDANO, K. (2007). *La búsqueda de petróleo en Álava*. Eusko Ikaskuntza-Sociedad de Estudios Vascos.

BARETTINO FRAILE, D. (1999). Objetivos y bases metodológicas del Plan Nacional de Cartogra-

fía Temática Ambiental (PNCTA). En L. Lain Huerta (Ed.), *Los sistemas de información geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente* (pp. 287-314). Instituto Tecnológico Geominero de España.

BUESA, M. (2003). *Ciencia y tecnología en la España democrática: la formación de un Sistema Nacional de Innovación*. Instituto de Análisis Industrial y Financiero; Universidad Complutense de Madrid. <http://eprints.ucm.es/6814/>

CANTOS FIGUEROLA, J. (1953). La interpretación geológica de las mediciones geofísicas aplicadas a la prospección. Tomo V. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 55, 1-370.

CAÑELLAS MAS, A. (2010). La reforma de la administración en España (1956-1958). *Revista de Estudios Políticos* [nueva época], 148, 193-221.

CASARES, R., LÓPEZ DE AZCONA, J. M., & LEAL, J. (1942). Aplicación del método del plomo a la

- determinación en años de minerales de Madrid y Córdoba. *Revista de Geofísica*, 1, 113-122.
- CASTIELLA, J., SOLÉ, J., NIÑEROLA, S., & OTAMENDI, A. (1982). *Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto Hidrogeológico*. Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra.
- COMA GUILLÉN, J. (2002). El Plan Nacional de Investigación de las Aguas Subterráneas. En J. C. Rubio Campos, & J. A. López Geta (Eds.), *Libro homenaje a Manuel del Valle Cardenete. Aportaciones al conocimiento de los acuíferos andaluces* (pp. 35-42). Instituto Geológico y Minero de España.
- COMBA, J. A. (Ed.). (1983). *Libro jubilar J.M. Ríos. Geología de España* (Vols. 1 y 2). Instituto Geológico y Minero de España.
- COMISIÓN INTERMINISTERIAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. (2004). *Planes estratégicos de los Organismos Públicos de Investigación y Experimentación. Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007*. Ministerio de Educación y Ciencia.
- CUSTODIO GIMENA, E. (2000). El Instituto Tecnológico Geominero de España: una nueva estructura para un nuevo siglo. En E. Custodio Gimena, & A. Huerga Rodríguez (Eds.), *Ciento cincuenta años, 1849-1999. Estudio e investigación en Ciencias de la Tierra* (pp. 291-319). Instituto Tecnológico Geominero de España.
- MORAL RUIZ, J. del, PRO RUIZ, J., & SUÁREZ BILBAO, F. (2007). *Estado y territorio en España. 1820-1930*. Los Libros de la Catarata.
- VALLE DE LERSUNDI, J. del (1998). Evolución del conocimiento sobre la geología de Navarra. *Naturaleza*, 13, 27-34.
- VALLE LERSUNDI, A. del, & FERNÁNDEZ IRUEGAS, P. (1917). Estudios relativos a la geología de Marruecos. Zona de Melilla. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 18, 171-242.
- DELGADO GÓMEZ-ESCALONILLA, L., & LÓPEZ GARCÍA, S. M. (2019). La emergencia de la política científica en España, con el desarrollismo como telón de fondo. En L. Delgado Gómez-Escalonilla & S. M. López García (Eds.), *Ciencia en transición: el lastre franquista ante el reto de la modernización* (pp. 9-37). Sílex Ediciones.
- DUPUY DE LÔME, E. (1926). Congreso Geológico Internacional, XIVª Sesión, Madrid, 1926. Memoria. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 37(Primera parte), 1-409.
- DUPUY DE LÔME, E. (1937). Las investigaciones de petróleo en España. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 54, 333-386.
- DURÁN VALSERO, J. J. (2013). La Hidrogeología a lo largo del tiempo: de la etapa pre-científica hasta finales del siglo XX. En J. A. López-Geta & J. M. Fornés Azcoiti (Eds.), *100 años de Hidrogeología en España 1900-2000* (pp. 87-110). Instituto Geológico y Minero de España.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO, M., LASALA, J. P., CORTÁZAR, D., & GONZALO Y TARÍN, J. (1885). Comisión para los terremotos de Andalucía. Informe dando cuenta del estado de los trabajos en 7 de marzo de 1885. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 12, 1-105.
- GALERA, A. (2005). La búsqueda y explotación de la potasa en Cataluña. El Parque Cultural de la Montaña de Sal (Cardona, Bages) y la reinterpretación de su historia. *De Re Metallica*, 4, 39-57.
- GARCÍA SIÑERIZ, J. (1933-1949). La interpretación geológica de las mediciones geofísicas aplicadas a la prospección. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 40 (tomo I, 1933), 1-477; 44 (tomo II, 1941), 1-676; 48 (tomo III, 1944), 1-573; 52 (tomo IV, 1949), 1-429.
- GAVALA, J. (1927). Mapa Geológico de España a escala 1:50 000. Memoria correspondiente a la Hoja de Cantillana. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 49, 1-80.
- GONZÁLEZ BUENO, A., & GOMIS BLANCO, A. (2007). *Los territorios olvidados. Naturalistas españoles en el África hispana (1860-1936)*. Ediciones Doce Calles.
- HERNÁNDEZ, E., BARTRINA, T., JURADO, M. J., TORRESCUSA, S., KLIMOWITZ, J., SERRANO, A., MARTÍNEZ ABAD, J. L., & QUEROL, R. (1989). *Documentos sobre la Geología del Subsuelo de España* (13 Tomos). ITGE. <https://info.igme.es/geologia/subsuelo/GeologiaSubsuelo/Documents.aspx>
- HERNÁNDEZ ORTIZ, F. (2005). El Instituto Geológico y Minero de España y las minas de oro de Rodalquilar (Almería): años 1918 a 1943. *De Re Metallica*, 4, 59-64.
- HERNÁNDEZ-SAMPELAYO, P., & RÍOS, J. M. (1948). Ahora hace cien años... *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 60, 3-73.
- HUERGA RODRÍGUEZ, A. (2000). Cronología. En E. Custodio Gimena & A. Huerga Rodríguez (Eds.), *Ciento cincuenta años, 1849-1999. Estudio e investigación en Ciencias de la Tierra* (pp. 19-33). Instituto Tecnológico Geominero de España.
- JULIÁ, S., DELGADO, J. L. G., JIMÉNEZ, J. C., & FUSI, J. P. (2007). *La España del siglo XX*. Ediciones de Historia, Marcial Pons.
- IGME. (1980). *Situación actual y planteamiento de futuro*. Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME. (2010). *Resumen Anual 2009*. Instituto Geológico y Minero de España. https://www.igme.es/QuienesSomos/memorias/RESUMEN_ANUAL2009.pdf
- IGME. (2016). *Memoria IGME 2015*. Instituto Geológico y Minero de España. https://www.igme.es/quienessomos/memorias/memoria_IGME_2015.pdf
- IGME. (2022). *Memoria IGME 2021*. Instituto Geológico y Minero de España. https://www.igme.es/QuienesSomos/memorias/Memoria_2021_V6_FINAL-2.pdf
- IGME. (2023). *Memoria IGME 2022*. Instituto Geológico y Minero de España. <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/15253>
- INE. (s/f). *Gasto en I+D interna en relación con el PIB por años y sectores de ejecución*. <https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?tpx=54582#!tabs-tabla>
- INSÚA MÁRQUEZ, M., & OBIS SALINAS, J. A. (2016). Historia de la exploración española del yacimiento de carbón de Kalimantan Selatan (Indonesia). *Tierra y Tecnología*, 47. <https://www.icog.es/TyT/index.php/2016/02/historia-de-la-exploracion-espanola-del-yacimiento-de-carbon-de-kalimantan-selatan-indonesia/>
- KELLER, E. A. (1976). *Environmental Geology*. Merrill.
- LAFUENTE, A., & PESET, J. L. (1988). Las actividades e instituciones científicas en la España ilustrada. En M. Sellés, J. L. Peset & A. Lafuente (Eds.), *Carlos III y las ciencias de la Ilustración*. Alianza Editorial, p. 29-79.
- LANAJA, J. M. (1987). *Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España*. Instituto Geológico y Minero de España.
- LEITZ, C. (1994). *Economic relations between Nazi Germany and Franco's Spain: 1936-1945*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198206453.001.0001>
- LORENTE GÓMEZ, E. (1988). Presentación. En *Memoria anual 1987* (pp. 6-8). Instituto Geológico y Minero de España.
- LORENTE GÓMEZ, E. (1989). Presentación. En *Memoria anual 1988* (pp. 6-10). Instituto Tecnológico Geominero de España.
- LÓPEZ GETA, J. A. (2013). Instituto Geológico y Minero de España. En J. A. López Geta & J. M. Fornés (Eds.), *100 años de Hidrogeología en España (1900-2000)* (pp. 483-525). Instituto Geológico y Minero de España.
- MALLADA, L. (1895-1911). Explicación del mapa geológico de España. *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 19 (Tomo I, 1895: Rocas hipogénicas y sistema Estrato-Cristalino), 1-558.; 20 (Tomo II, 1896: Sistemas Cambriano y Siluriano), 1-515; 21 (Tomo III, 1898: Sistemas Devoniano y Carbonífero), 1-405; 22 (Tomo IV, 1902: Sistemas Permiano, Triásico, Liásico y Jurásico), 1-514; 23 (Tomo V, 1904: Sistemas Infracretáceo y Cretáceo), 1-519; 24 (Tomo VI, 1907: Sistemas Eoceno, Oligoceno y Mioceno), 1-686; 25 (Tomo VII, 1911: Sistemas Plioceno, Diluvial y Aluvial), 1-543.
- MARÍN, A. (1926). La Potasa. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 48, 1-415.

- MARÍN, A. (1929). Plan de investigación de la Cuenca Potásica del Noreste de España. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 51, 73-86.
- MARÍN, A. (1942). Plan de alumbamiento de aguas subterráneas. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 9, 3-12.
- MARÍN, A. (1946). Organización y fines del Instituto Geológico y Minero de España. Conferencia pronunciada en el Instituto de Ingenieros Civiles el día 1 de mayo de 1945. En *Memoria general anual* (pp. 5-24). Instituto Geológico y Minero de España.
- MARÍN, A., & MILANS DEL BOSCH, J. (1918). Yacimiento aurífero de Rodalquilar. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 29, 211-228.
- MARÍN, A., LÓPEZ AZCONA, J. M., ABBAD Y BERGUER, M., ROMERO ORTIZ DE VILLACIÁN, J., COMBA SIGÜENZA, A., & MOYA Y GASTÓN, M. (1946). Uranio. Curso de conferencias. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 49, 1-207.
- MESEGUER PARDO, J. (1950). Los Jerarcas de nuestra Geología. En *Libro Jubilar (1849-1949)* (Tomo I). Instituto Geológico y Minero de España.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA-DIRECCIÓN GENERAL DE MINAS. (1971). *Plan Nacional de la Minería. Edición resumida* (Tomo I). Ministerio de Industria.
- MOYA, M. (1941). La visita de su excelencia el Generalísimo al Instituto Geológico y Minero de España. *Revista de Minería y Metalurgia*, 1, 28-31.
- MOYA, M. (1943). Instituto Geológico y Minero de España. *Minería y Metalurgia: Boletín Oficial de Minas, Metalurgia y Combustibles*, 24, 67-83.
- MUÑOZ, E. (1999). El sistema de investigación en España. Investigación e innovación. *Arbor*, 162(639), 391-428. <https://doi.org/10.3989/arbor.1999.i639.1667>
- MURO, J. I., NADAL, F., & URTEAGA, L. (1996). *Geografía, estadística y catastro en España, 1856-1879*. Ediciones del Serbal.
- NAVARRO ALVARGONZÁLEZ, A., QUANG TRÁC, N., LÓPEZ-GETA, J. A., MARTÍN-MACHUCA, M., RUBIO CAMPOS, J. C., & COROMINAS MASIP, J. (2013). El proyecto hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir (FAO-IGME). En J. A. López-Geta & J. M. Fornés Azcoiti (Eds.), *100 años de Hidrogeología en España 1900-2000* (pp. 263-275). Instituto Geológico y Minero de 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. <https://doi.org/10.55407/rsge.96540>
- NAVARRO COMET, J., & PUCHE RIART, O. (2018). A century of hydrocarbon exploration and production in Spain (1860-1960). *Geological Society, London, Special Publications*, 465(1), 345-360. <https://doi.org/10.1144/SP465.10>
- ORTIZ BALLESTEROS, C. (2005-2006). Un paseo por Palacio a través del Real Conservatorio Superior de Música de Madrid. *Música*, 12-13, 13-44.
- 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.
- PRADO, C. de. (1864). *Descripción física y geológica de la Provincia de Madrid*. Junta General de Estadística.
- Propósitos y labor del Comité Español. (1929). En *Publicaciones del Comité Nacional de Sondeos*, 1(3), 1-9.
- PUCHE RIART, O., & NAVARRO COMET, J. (2019). Una historia de la exploración y producción de hidrocarburos en España. *De Re Metallica*, 33, 3-32.
- RÁBANO, I. (2013). Vicente Vázquez Queipo (1804-1893), un presidente poco conocido de la Comisión del Mapa Geológico de España. *Boletín Geológico y Minero*, 124(1), 111-122.
- RÁBANO, I. (2015). *Los Cimientos de la Geología. La Comisión del Mapa Geológico de España (1849-1910)*. Instituto Geológico y Minero de España.
- RÁBANO, I. (2022). Manuel Fernández de Castro y Suero (1825-1895), director de la Comisión del Mapa Geológico de España. *Boletín Geológico y Minero*, 133(4), 7-35. <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/133.4/001>
- RÁBANO, I., & ARAGÓN, S. (2007). Nuevos datos históricos sobre la Comisión del Mapa Geológico de España. *Boletín Geológico y Minero*, 118(4), 813-826.
- RÁBANO, I., RIVAS, P., & RAÑÉ, T. (2006). *Instituto Geológico y Minero de España. Historia de un edificio*. Instituto Geológico y Minero de España.
- RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, L. R. (2005). El Plan MAGNA: evolución histórica y perspectivas futuras. *Boletín Geológico y Minero*, 116(4), 281-289.
- SÁNCHEZ LOZANO, R. (1917). Memoria relativa a los trabajos efectuados por el Instituto Geológico de España durante los años de 1915 y 1916. *Boletín Oficial de Minas y Metalurgia*, 7(diciembre), 1-16.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, A. (2000). La investigación minera en España. De la Comisión de la Carta Geológica al Plan Nacional de Investigación Minera. En E. Custodio Gimena & A. Huerga Rodríguez (Eds.), *Ciento cincuenta años, 1849-1999. Estudio e investigación en Ciencias de la Tierra* (pp. 133-150). Instituto Tecnológico Geominero de España.
- SÁNCHEZ SÁNCHEZ, E. M., & LÓPEZ GARCÍA, S. M. (2020). *Historia del uranio en España: de la minería a la fabricación del combustible nuclear, c. 1900-1986*. Sociedad Nuclear Española.
- SANZ MENÉNDEZ, L., & LÓPEZ GARCÍA, S. (1997). Continuidad y cambio en las políticas de ciencia y tecnología durante la autarquía y los inicios del desarrollismo. *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, 2, 70-98.
- SILVA SUÁREZ, M. (1999). *Uniformes y emblemas de la ingeniería civil española*. Institución Fernando el Católico.
- SUDRIÁ, C. (1992). *El Instituto Nacional de Industria en el sector de la minería: orígenes y evolución*. Fundación Empresa Pública. <https://www.fundacionsepi.es/investigacion/publicaciones/DocumentosTrabajo/PHE/hdt9202.pdf>
- TORREGROSA HETLAND, S. (2021). *The Spanish fiscal transition: Tax reform and inequality in the late twentieth century*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-79541-2>
- TUSELL, J. (1999). *Historia de España en el siglo XX: Vol. 3. La Dictadura de Franco*. Taurus.



LA
EXPLORACIÓN
GEOLÓGICA
DEL SUELO
Y DEL
SUBSUELO



1. EL MAPA
GEOLÓGICO
DE ESPAÑA
A ESCALA 1:400 000
DE 1889

El Instituto Geológico y Minero de España reúne una larga historia de investigaciones de la geología nacional, iniciada en 1849 con la creación de la Comisión de la Carta Geológica, a semejanza de lo que ya estaba ocurriendo en otros países europeos y americanos. El proyecto no prosperó y la Comisión se disolvió en 1859 con la promulgación de la Ley para la Medición del Territorio, que pretendía proporcionar al naciente Estado liberal una representación cartográfica del país. En la Junta General de Estadística se reunieron todas las cartografías temáticas, procurando una uniformidad de las escalas —1:400 000 para la geológica—, y se sentaron las bases para el desarrollo de los primeros censos generales de la población española. Durante el Sexenio Democrático, el ingeniero de caminos (y economista, matemático y dramaturgo) José Echegaray ocupó, entre julio de 1869 y enero de 1871, la cartera de Fomento. En este despacho ministerial se fraguó en 1870 otro jalón importante para la confección del mapa geológico. Por un Decreto de 28 de abril de ese año, se refundó la Comisión del Mapa Geológico para continuar los estudios geológicos, esta vez en el seno de la Junta Superior Facultativa de Minería, es decir, del Cuerpo de Minas.

Una nueva reorganización de la Comisión del Mapa Geológico en marzo de 1873, tras la proclamación de la Primera República y durante la corta presidencia del republi-

cano Estanislao Figueras, con Eduardo Chao en Fomento, sentó en su dirección a Manuel Fernández de Castro (Rábano, 2015, 2022) | fig. 1 |. Comenzó entonces una nueva época para la Comisión, marcada por la cooperación de los ingenieros de las jefaturas de minas con los de la Comisión, utilizando los datos que ya venían recopilando desde 1870, así como nuevos estudios geológicos parciales o regionales de aquellas provincias de las que no se disponía de información. Se continuaba así con el modelo propuesto para la Comisión de 1849: el de abordar los mapas geológicos provinciales siguiendo un mismo esquema y una misma escala —1:400 000— para, una vez conocida la geología de todo el territorio, reunirla en un mapa geológico nacional.

No hay ninguna duda de que Fernández de Castro fue el gran ideólogo y gestor del moderno mapa geológico. Sin embargo, nunca hubiera alcanzado los objetivos que se marcó al acceder a la dirección de la Comisión si no hubiera contado con un equipo humano que respondiera a sus requerimientos. De entre todos ellos, fueron sin duda Lucas Mallada, Daniel de Cortázar y Joaquín Gonzalo y Tarín los grandes cómplices del director en la nueva empresa. Como bien recordó Mallada, «de tal manera y tan entrelazados llegaron a estar los estudios y los esfuerzos de ambos, que se soldaban entre sí como metales afines» (Mallada, 1897).

Fernández de Castro presentó un avance del mapa geológico de España en la Exposición Nacional de Minería, Artes Metalúrgicas, Cerámica, Cristalería y Aguas Minerales que se celebró en Madrid en 1883. El director de la Comisión utilizó esta exposición como escaparate para dar a conocer a la sociedad los grandes avances alcanzados en el conocimiento del suelo patrio y en el levantamiento del mapa geológico, así como para ratificar la continuidad de la institución ante sus superiores en el Ministerio de Fomento.

En 1887, Fernández de Castro anunció que el mapa estaba en fase muy avanzada de ejecución y que ya se estaban imprimiendo las primeras hojas. Planificó dos ediciones a escala 1:400 000: una de 16 hojas, la «de lujo», con un tamaño de hoja de 1 m × 0,75 m; y la segunda, la «edición económica», formada por 64 hojas. Además, y con arreglo al acuerdo tomado en el Congreso Geológico Internacional de Bolonia de 1881, en el que se fijó la escala del Mapa Geológico de Europa para los países participantes, estaba prevista la edición de un mapa a escala 1:1 500 000 que acompañaría a las dos ediciones. Con las complicaciones inherentes a la producción de esta extensa obra, que lleva fecha de 1889 | fig. 2 |, entre ellas el fallecimiento de Gustavo Pfeiffer, el litógrafo que venía trabajando para la Comisión desde tiempos de Casiano de Prado, ambas ediciones se terminaron de imprimir en 1892.

A pesar de los parabienes recogidos en los foros donde se presentó el mapa, Fernández de Castro, siempre precavido al pronunciarse sobre los éxitos de la Comisión, advirtió que aquello no era «más que la primera jornada de un largo camino en que siempre han de recogerse nuevos datos para acercarse a la perfección del trabajo, que [...] ni tiene límite ni puede considerarse nunca concluido» (Fernández de Castro, 1892). Se trató sin duda de un hito relevante en la historia de la Comisión del Mapa Geológico, alcanzado cuarenta años tras su creación. Las palabras del director resuenan hoy en día en el IGME, en el que el mapa geológico de España de Fernández de Castro mantiene un diálogo, en el pasillo de acceso al museo, con el último que se publicó, en 2015, a una escala de 1:1 000 000.



Figura 1. Manuel Fernández de Castro. *La Ilustración Española y Americana* (08.07.1895).

MANUEL FERNÁNDEZ DE CASTRO Y SUERO (1825-1895)

Ingeniero de minas de la promoción de 1845, fue jefe de la inspección de minas de Cuba entre 1859 y 1869, y director de la Comisión del Mapa Geológico de España entre 1873 y 1895. Se interesó por las aplicaciones de la electricidad, patentando en 1853 un sistema de señales eléctricas para evitar choques ferroviarios. Autor del primer mapa geológico de Cuba, y del primero de una parte importante de la República Dominicana. En 1873 y 1874, respectivamente, fundó las primeras series editoriales españolas de temática geológica: las *Memorias* y el *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*.



Figura 2. Mural de 3,75 m de anchura y 3 m de altura de la edición de 64 hojas del mapa geológico de España a escala 1:400 000 (1889), realizado por la Comisión del Mapa Geológico de España bajo la dirección de Manuel Fernández de Castro. Instituto Geológico y Minero de España, CSIC.

BIBLIOGRAFÍA

FERNÁNDEZ DE CASTRO, M. (1887).

Estado de los trabajos de la Comisión del Mapa Geológico de España al terminar el año 1887. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 14, 209-216.

FERNÁNDEZ DE CASTRO, M. (1892). Prólogo. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 18, xi-xiii.

MALLADA, L. (1897). *Los progresos de la Geología en España durante el siglo XIX. Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la recepción pública del Sr. D. Lucas Mallada y Pueyo el día 29 de Junio de 1897*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

RÁBANO, I. (2015). *Los cimientos de la geología. La Comisión del Mapa Geológico de España (1849-1910)*. Instituto Geológico y Minero de España.

RÁBANO, I. (2022). Manuel Fernández de Castro y Suero (1825-1895), director de la Comisión del Mapa Geológico de España. *Boletín Geológico y Minero*, 133(4), 7-35. <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/133.4/001>

2. UN CAMBIO
DE ESCALA:
LOS PRIMEROS
MAPAS GEOLÓGICOS
1:50 000
(1927-1928)

La organización del XIV Congreso Geológico Internacional en 1926 supuso un éxito para el Instituto Geológico de España en cuanto a su proyección internacional y reconocimiento. Al año siguiente, bajo la dirección de Luis de la Peña y Braña, se cambió el nombre por el de Instituto Geológico y Minero de España, se reorganizó la estructura y se aprobó un nuevo reglamento (*Gaceta de Madrid*, n.º 8, de 08.01.1927 y n.º 95, de 05.04.1927). Dicho reglamento señala que el IGME se iba a encargar de publicar «el mapa geológico de España, rectificando debidamente las ediciones existentes y emprendiendo la publicación del mismo en escala de 1:50 000». Se eligió dicha escala por ser la utilizada por el Instituto Geográfico y Estadístico (actual Instituto Geográfico Nacional, IGN) para la publicación del Mapa Topográfico Nacional, cuya primera hoja (n.º 559, Madrid) había sido publicada en 1875, y porque se consideraba la idónea para representar la geología.

Para dar inicio a dichos trabajos, ese mismo año de 1927 se realizó un proyecto piloto bajo la dirección del ingeniero de minas Juan Gavala, mediante el cual se estableció el modelo de la hoja y la memoria que se debía realizar. El lugar escogido para el proyecto piloto y el modelo de cartografía geológica fue Cantillana (Sevilla), una zona del borde meridional del Macizo Ibérico que presenta una geología variada y compleja y que también incluye la cuenca pérmica de Viar, los materiales carboníferos de las minas de la Reunión (Villanueva del Río y Minas), los sedimentos marinos del

Mioceno de la cuenca del Guadalquivir y formaciones superficiales del Cuaternario.

El territorio del «Modelo de hoja de Cantillana» se dividió en varias cuadrículas que se distribuyeron para realizar los trabajos de campo entre las siete secciones geográficas en las que entonces se organizaba el personal del IGME, participando en el proyecto un total de catorce ingenieros de minas, dos por cada sección (Marín, Larragán, Ruiz Falcó, Hernández-Sampelayo, Dupuy de Lôme, Novo, Fernández, Alvarado, Kindelán, Fernández Iruegas, Del Valle, Cincúnegui, Gavala y Rubio). El trabajo de campo duró veinte días, el estudio de láminas delgadas de rocas fue realizado por Agustín Marín y Enrique Rubio, y la clasificación de los restos fósiles la realizaron Primitivo Hernández-Sampelayo, Manuel Ruiz Falcó y Juan Gavala. Una de las peculiaridades de la cartografía realizada es que incluyó información del subsuelo mediante el trazado de curvas de nivel o isobatas de la base del Pérmico en la cuenca de Viar y de las capas inferiores del Carbonífero en la zona minera de Villanueva. La denominada «hoja de Cantillana» | fig. 1 | no se corresponde en realidad con ninguna hoja concreta del Mapa Topográfico Nacional, y por tanto nunca formó parte del nuevo mapa geológico 1:50 000 que se pretendía realizar. Dicho mapa y su memoria explicativa fueron publicados en el *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España* para que sirviese de modelo y que los interesados vieran «con simpatía el comienzo de esta abrumadora y pe-

nosa tarea» y pusiesen «cuanto esté de su parte para que avance» (Gavala, 1927).

Un año más tarde se inició lo que posteriormente se ha denominado *Primera Serie del Mapa Geológico de España a escala 1:50 000*. Se estimó un plazo de realización poco realista que no excedería de diez o doce años (*Gaceta de Madrid*, n.º 8, de 08.01.1927). Para que esos plazos fueran viables, se consideró que, además del personal del IGME y de los ingenieros del Cuerpo de Minas adscritos a los distritos mineros, pudiese colaborar personal ajeno. Se realizaron inicialmente catorce hojas del Mapa Geológico 1:50 000 de España en el año de 1928 (hojas n.º 173, 421, 460, 535, 559, 560, 792, 810, 817, 836, 881, 882, 885 y 886), si bien en algunos casos la memoria fue publicada en 1929 o en 1930. Además de los ingenieros de minas del IGME, participaron en los primeros mapas geológicos a escala 1:50 000 los ingenieros Joaquín Menéndez Ormazá y Juan Bautista Targhetta de las minas de Hiendelaencina, los profesores de universidad Maximino San Miguel de la Cámara y Francisco Hernández Pacheco, y José Royo y Gómez del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Entre esas primeras hojas publicadas destaca la de Alcalá de Henares, puesto que supuso un cambio importante en la interpretación de las unidades detríticas del Mioceno del centro peninsular, que hasta fecha reciente habían sido consideradas como terreno «Diluvial», es decir del Pleistoceno, y también por incluir datos de un sondeo de más de 1000 m de profundidad que recientemente había realizado el IGME (Royo Gómez & Hernández Puget, 1928).

La financiación de los trabajos cartográficos y la publicación de las hojas del Mapa Geológico sufrió diversos altibajos debidos a las crisis económicas y políticas de 1929-1931, y una interrupción completa durante la guerra civil española. El IGME continuó con esta tarea en la posguerra, y entre 1946 y 1955, bajo la dirección de José García Siñeriz y de Juan Gavala, la cartografía geológica tuvo un nuevo impulso, se actualizó la normativa (García Siñeriz, 1949) y se alcanzaron ritmos de producción cartográfica anual equivalentes a los iniciales. Las primeras hojas de las islas Canarias se publicaron en 1967, en colaboración con el Instituto Lucas Mallada de Investigaciones Geológicas

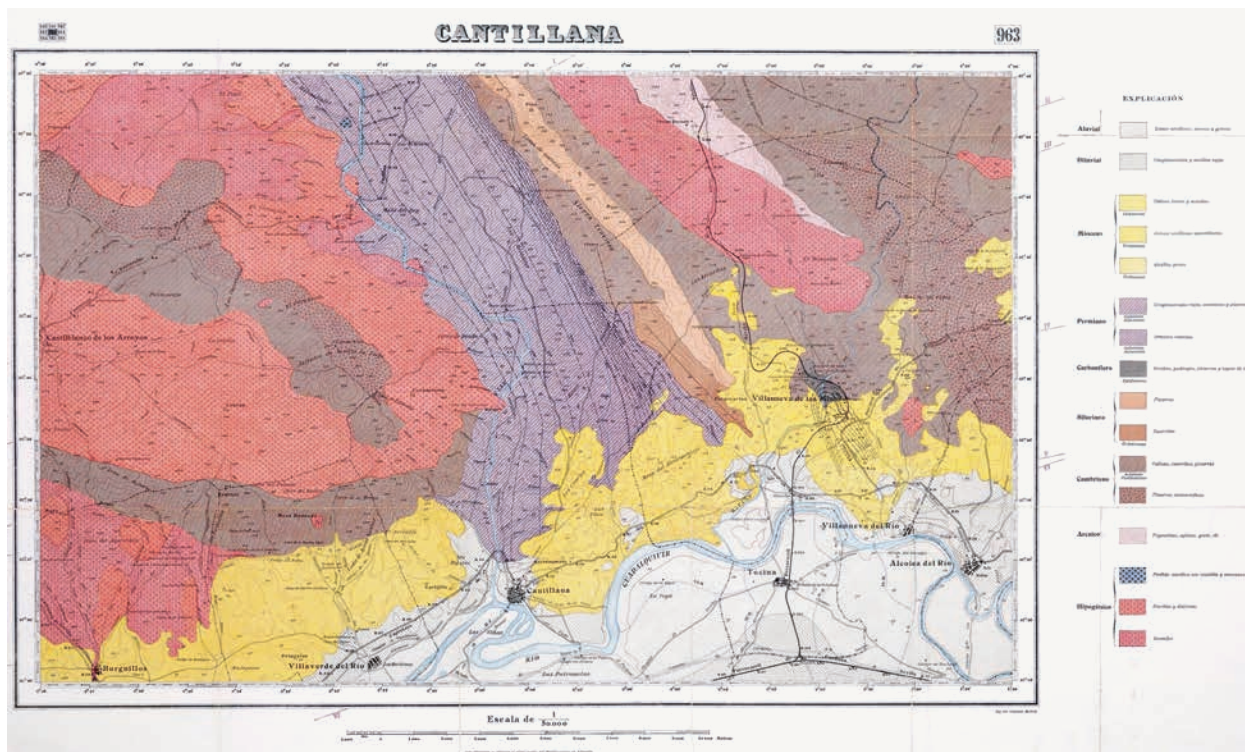
del CSIC y con la participación de licenciados en Ciencias Geológicas de las primeras promociones. Las últimas hojas de la Primera Serie se publicaron en el año 1972, de manera simultánea a la publicación de las primeras hojas de la Segunda Serie del Mapa Geológico 1:50 000.

La realización en 1970 de los mapas de síntesis geológica a escala 1:200 000, o *Serie azul*, puso de manifiesto que la cartografía geológica 1:50 000 cubría menos del 40 % del territorio, así como la inevitable obsolescencia de buena parte de los mapas realizados. Por todo ello, se diseñó un nuevo programa del Mapa Geológico Nacional 1:50 000, más conocido por el acrónimo MAGNA e integrado en el Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM), que partió de cero y sobre unas bases tecnocráticas y economicistas típicas de la época, pero también más pragmáticas, adoptando la nomenclatura estratigráfica internacional e incorporando conceptos informáticos básicos (Ministerio de Industria-Dirección General de Minas, 1971). La ejecución material del MAGNA, cuyo horizonte inicial era 1988,

JUAN GAVALA LABORDE

(1885-1977)

El ingeniero de minas y académico Juan Gavala ingresó en el Instituto Geológico de España en 1910, donde desarrolló una brillante carrera, llegando a ocupar brevemente la dirección del Instituto poco antes de su retiro. Juan Gavala comenzó su labor profesional en la exploración de hidrocarburos, realizando una estancia de formación en Rumanía, publicó en 1924 el *Mapa Geológico de la provincia de Cádiz a escala 1:100 000* y posteriormente realizó diversas hojas del mapa geológico 1:50 000. Su trabajo sobre la evolución morfológica de la costa gaditana utilizando como fuente de información una traducción propia del poema *Ora marítima* de Avieno, y que se publicó como apéndice a la memoria del mapa geológico de Cádiz (hoja n.º 1061), es quizás su legado más destacado y conocido (Gavala, 1959).



también sufrió en su financiación los inevitables avatares económicos y políticos, por lo que no se finalizó hasta el año 2004 (Rodríguez Fernández, 2005). El trabajo se realizó con normativa del IGME y bajo su supervisión, y corrió a cargo de empresas privadas en un 62 %, de empresas públicas en un 22 %, por personal del IGME en un 9 % y un 7 % por otras instituciones públicas y universidades. En los años 80 del pasado siglo se inició la publicación del Mapa Geológico de España a escala 1:200 000, sobre la base de la cartografía 1:50 000 ya realizada, pero con una vocación de síntesis de la geología regional.

BIBLIOGRAFÍA

- MINISTERIO DE INDUSTRIA-DIRECCIÓN GENERAL DE MINAS. (1971). *Plan Nacional de la Minería. Edición resumida* (Tomo I). Ministerio de Industria.
- GARCÍA SIÑERIZ, J. (1949). Normas para la ejecución y presentación de las hojas del Mapa Geológico Nacional de España a escala 1:50 000. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 19, 7-37.
- GAVALA, J. (1927). *Mapa geológico de España*. Memoria correspondiente a la Hoja de Cantillana. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 49, 1-80.

GAVALA, J. (1959). *Mapa geológico de España escala 1:50 000. Explicación de la hoja N.º 1.061 Cádiz-La Geología de la Bahía de Cádiz y el poema «Ora Marítima» de Avieno*. Instituto Geológico y Minero de España.

RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, L. R. (2005). El Plan MAGNA: evolución histórica y perspectivas futuras. *Boletín Geológico y Minero*, 116(4), 281-289.

ROYO GÓMEZ, J., & HERNÁNDEZ PUGET, L. (1928). *Mapa geológico de España escala 1:50 000. Memoria Explicativa de la hoja N.º 560 Alcalá de Henares*. Instituto Geológico y Minero de España.

▲ Figura 1. Modelo de Hoja que el Instituto Geológico y Minero propone para el nuevo Mapa Geológico y Minero de España (Gavala, 1927).

3. LOS INICIOS
DE LA PROSPECCIÓN
GEOFÍSICA EN ESPAÑA.
LA SECCIÓN DE TRABAJOS
DE GEOFÍSICA DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO
Y MINERO DE ESPAÑA



Este escrito pretende ser un homenaje a la Sección de Trabajos de Geofísica del Instituto Geológico y Minero de España, principalmente durante el periodo comprendido entre los años 1920 y 1970, por su papel clave en los inicios de la prospección geofísica en España, y a su organizador y coordinador José García Siñeriz y Pardo Moscoso, considerado el precursor de la geofísica aplicada en nuestro país.

Los orígenes del uso de métodos geofísicos para el estudio del subsuelo con un interés económico pueden situarse a finales del siglo XIX y comienzos del XX, coincidiendo con la aparición de la balanza de Torsión, el desarrollo de los métodos eléctrico y electromagnético de inducción, así como la aplicación del método sísmico en el estudio del petróleo (Ayala-Carcedo *et al.*, 2005). Al principio del siglo XX, empiezan a surgir en España los primeros estudios, donde se emplean métodos geofísicos en la prospección de recursos minerales y en estudios hidrogeológicos.

En mayo de 1926 tuvo lugar la celebración en Madrid del XIV Congreso Geológico Internacional (CGI), organizado por el entonces denominado *Instituto Geológico de España (IGE)*. Este congreso, supuso un evento trascendental en el devenir de este Instituto y de la prospección geofísica en España. En el marco del congreso se dedicó una sesión a la Geofísica. En ella se presentaron diecinueve comunicaciones, diez relacionadas con geofísica aplicada, seis con

geofísica teórica y tres centradas en instrumentación (Ayala-Carcedo *et al.*, 2005). La mayoría de las presentaciones fueron realizadas por personal del Instituto Geográfico y del IGE, aunando los esfuerzos de conocimiento físico y geológico necesarios.

LA SECCIÓN DE TRABAJOS DE GEOFÍSICA DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Tras la celebración del CGI, y considerando entre otras cosas el futuro de la geofísica en la prospección, en enero de 1927 se promulga un Real Decreto en el que se dispone:

Art. 1º. El Instituto Geológico de España, establecido por Real decreto de 28 de junio de 1910, se denomine en lo sucesivo Instituto Geológico y Minero de España y tomará por misión principal la continuación de los estudios del suelo y del subsuelo que sea necesarios para el conocimiento de la Geología y de la Minería del país [...].

Art. 11. Se creará en el Instituto una Sección de trabajos de geofísica, con sus correspondientes laboratorios y aparatos, la cual fijará los lugares más adecuados de aplicación de estos procedimientos, mediante trabajos que podrán

ejecutarse por administración o por contrata con entidades especializadas en estos estudios.

En su nuevo reglamento, figura como un servicio central de la institución: estudios de investigaciones geofísicas, y en el capítulo VII, art. 41, se establece: «El Instituto instalará un laboratorio de Geofísica, como elemento auxiliar indispensable para los estudios en esta sección de sus trabajos» (*Gaceta de Madrid*, n.º 8, de 08.01.1927 y n.º 95, de 05.04.1927). Como responsable de este servicio fue nombrado José García Siñeriz, que hasta ese momento trabajaba en el Instituto Geográfico, pero que había demostrado un notable interés en la aplicación de los métodos geofísicos a la prospección.

JOSÉ GARCÍA SIÑERIZ Y PARDO MOSCOSO

José García Siñeriz y Pardo Moscoso, nació en Madrid en mayo de 1886, estudió en la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid, y es considerado el impulsor de la prospección geofísica en España. García Siñeriz finalizó los estudios de Ingeniero de Minas a la edad de 22 años y, tras unos años donde realizó estancias en instituciones extranjeras, ingresó en el Cuerpo de Ingenieros Geógrafos incorporándose al Instituto Geográfico. Se trasladó al IGME cuando se creó la Sección de Trabajos de Geofísica, que organizó y dirigió. Dentro de esta sección organiza el primer equipo en España de prospección geofísica, además de incentivar la formación e instrucción de su personal.

García Siñeriz llevó a cabo una gran labor divulgativa y formativa, destacando su obra *Los métodos geofísicos de prospección* (García Siñeriz, 1928), texto que se considera como el primer libro de prospección geofísica a nivel mundial | fig. 1 |. En 1931 publica *La prospección geofísica* (García Siñeriz, 1931). Posteriormente se editaron cuatro tomos de la serie *La interpretación geológica de las mediciones geofísicas aplicadas a la prospección* [*Memorias del IGME*, XL (1933), XLIV (1941), XLVIII (1944), LII (1949)].

Si bien sus comienzos fueron con el método sísmico, pronto va introduciendo otros métodos geofísicos, que

serán de gran uso en la prospección, como son el gravimétrico, magnético y eléctrico. En sus trabajos experimenta la combinación de varios métodos geofísicos para conseguir disminuir la incertidumbre inherente a cada uno.

García Siñeriz llegó a ser director del Instituto Geológico y Minero de España entre 1947 y 1954, año en el que pasó a ser presidente del Consejo de Minería. La labor investigadora de García Siñeriz se completa con su incorporación al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), del que fue nombrado vicepresidente en 1940, siendo su presidente José Ibáñez Martín (ministro de Educación Nacional). Si bien, su labor más importante fue la creación, dentro del CSIC, del Instituto Nacional de Geofísica (ING) en el año 1941, centro puntero que se dedicó por una parte a la investigación en geofísica pura y, por otra, a trabajos de prospección geofísica, en este caso conjuntamente con los miembros de la Sección de Geofísica del IGME. El ING, dirigido por Siñeriz desde 1941 a 1957, se mantuvo activo hasta aproximadamente 1979 y fue una cantera muy importante de investigadores en geofísica, además de auspiciar la publicación de la *Revista de Geofísica*, uno de sus productos principales.

Toda esta labor investigadora, aplicada y divulgativa dedicada a la geofísica se vio ampliamente reconocida, a nivel nacional e internacional. En 1935 fue nombrado miembro numerario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, con la medalla n.º 35. Además, fue miembro de las academias de Barcelona, Córdoba y Coimbra, del Mining and Metallurgical Institute (Nueva York) y de la Deutsche Geologische Gesellschaft, de Berlín. En 1942 fue elegido miembro de la Academia Pontificia de Ciencias por el Papa Pío XII. Le concedieron la Gran Cruz de la Orden de Alfonso X el Sabio en 1940, año en el que aceptó el nombramiento de catedrático extraordinario de Geofísica de la Universidad de Madrid.

En julio de 1974, y por voluntad de García Siñeriz, se constituyó la Fundación J. García Siñeriz, con el objeto de promover y fomentar los estudios e investigaciones de geofísica. Desde el año 1994, la Fundación convoca los premios J. García Siñeriz, dedicados a premiar tesis doctorales y trabajos científicos sobre geofísica pura o aplicada.

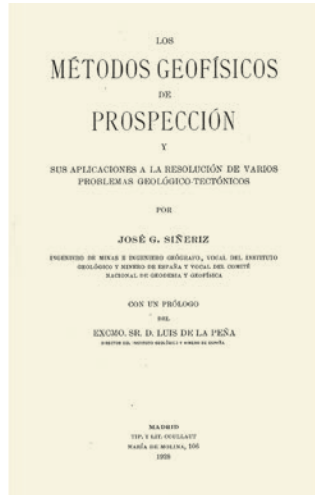


Figura 1. Izquierda, José García Siñeriz Pardo Moscoso. Foto: Martín Santos Yubero. Archivo del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC. Derecha, portada del tratado *Los métodos geofísicos de prospección* (García Siñeriz, 1928).

LOS SUCESORES DE JOSÉ GARCÍA SIÑERIZ

García Siñeriz se jubiló en 1958, pero la Sección de Geofísica del IGME mantuvo su labor, fundamentalmente gracias a sus sucesores, jóvenes ingenieros que se formaron con él y que fueron miembros de la Sección prácticamente desde su creación. El más destacado fue José Cantos Figuerola y Saiz de Carlos, que ingresó en el IGME en 1929 y sucedió a García Siñeriz al frente de la Sección en 1952. Cantos llegó a ser subdirector del IGME entre 1962 y 1975. En 1959 obtuvo la Cátedra de Geofísica aplicada a la prospección y estudio de toda clase de minerales, en la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid. Fue miembro de la Real Academia de Doctores de España, con la medalla n.º 6 de la sección 8 en ingeniería y autor del 5.º tomo de *La interpretación geológica de las mediciones geofísicas aplicadas a la prospección* (*Memorias del IGME*, LV, 1953). Aproximadamente cincuenta años después de la publicación del tratado de García Siñeriz, publicó el *Tratado de geofísica aplicada* (1974).

A Cantos Figuerola le sucedió Joaquín Borrego González, siendo el último de los jóvenes que entraron con la crea-

ción de la Sección y que fueron formados por Siñeriz, que llegó a estar al frente de la misma. Durante este periodo de tiempo las investigaciones de la Sección fueron adaptándose a los planes de investigación que se desarrollaron durante esos años: Plan de Investigaciones Mineras, que se redujo a los trabajos en colaboración con el Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar (COMEIM) y del que formó parte como vocal desde su creación García Siñeriz, y, desde enero de 1942, también el director del Instituto (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 199, de 18.07.1941 y n.º 37, de 06.02.1942). En 1958, a raíz de la Ley de Hidrocarburos, la Sección se dota de equipos y participa como contratista en campañas de prospección petrolera tanto para empresas nacionales como extranjeras, compitiendo con conocidas compañías extranjeras del sector. Además, participa en estudios hidrogeológicos de abastecimiento a poblaciones y otros de carácter regional, como el estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir (1966-1969), realizado en colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y en el Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS) (1971-1984), encuadrado dentro del Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM).

El IGME ha mantenido la Unidad de Geofísica hasta el año 2021 en el que se ha integrado en el CSIC como un centro nacional. En la actualidad, continúa su actividad en el campo de la geofísica aplicada, es miembro institucional de la Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica y organismo coordinador de la Sección de Geofísica aplicada de la Comisión.

BIBLIOGRAFÍA

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.
CANTOS FIGUEROLA, J. (1974). *Tratado de Geofísica Aplicada* (1.ª edición). [sin editorial].

GARCÍA SIÑERIZ, J. (1928). Los métodos geofísicos de prospección y sus aplicaciones a la resolución de varios problemas geológico tectónicos. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 50, 1-498.
GARCÍA SIÑERIZ, J. (1931). La prospección geofísica. *Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería*, 82(3258), 142-148.

4. EL IGME
Y EL PROYECTO
DE TÚNEL
SUBMARINO
DEL ESTRECHO
DE GIBRALTAR



La idea de construir un túnel para unir Europa y África, separados por apenas catorce kilómetros en la parte más angosta del estrecho de Gibraltar, comenzó a cobrar interés en el ámbito técnico internacional a partir de 1869. El entonces Consejo de Obras Públicas, dependiente del Ministerio de Fomento, presentó un primer informe sobre esta audaz idea, aunque en aquel momento no prosperó. Desde entonces hasta la actualidad han sido varias las propuestas para llevar a cabo este ambicioso proyecto, explorando y presentando diversas alternativas y soluciones técnicas.

Entre las primeras propuestas, y una de las más sólidas, para unir mediante un túnel la península ibérica con el norte de África fue la del teniente coronel de artillería Pedro Jevenois Labernade. En abril de 1927, durante la dictadura del general Primo de Rivera, Jevenois presentó al Ministerio de Fomento un anteproyecto para la realización de un túnel submarino entre las dos orillas, que fue publicado en un extenso libro (Jevenois, 1927). Este túnel permitiría el tránsito de trenes de pasajeros y mercancías, brindando una conexión fija y directa entre ambos continentes.

Para la elaboración del anteproyecto, se habían recopilado infinidad de datos procedentes de los archivos técnicos de diversos organismos estatales, como el Instituto Geológico de España, el Instituto Oceanográfico, el Insti-

tuto Geográfico y Estadístico, así como los Ministerios de Marina y Guerra. En particular, la parte geológica del anteproyecto fue elaborada por Enrique Dupuy de Lôme, ingeniero de minas del Instituto Geológico, quien hizo hincapié en la gran importancia para la construcción del túnel de un «estudio geológico detenido de ambas zonas de terrenos que limitan el Estrecho y la determinación de los que se encuentran debajo de este brazo de mar» (Jevenois, 1927).

En abril de 1928, se estableció una comisión interministerial dependiente del Ministerio de Fomento, con el objetivo de realizar un estudio preliminar de la viabilidad técnica del túnel. Esta comisión, conocida como la *Comisión de Estudios del Túnel Submarino de Gibraltar*, contó con la participación de destacados ingenieros de minas del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), incluido su director, Luis de la Peña que presidía la Comisión, además de Enrique Dupuy de Lôme, Juan Gavala y José García-Siñeriz (*Comisión de Estudios del Túnel Submarino de Gibraltar*, 1934).

Dos miembros destacados de esta Comisión, Gavala y Dupuy de Lôme, se encargaron específicamente de los estudios geológicos en tierra firme de ambas orillas del Estrecho. De la orilla africana se encargó Dupuy de Lôme, que sintetizó sus conocimientos de la geología del norte del protectorado español en Marruecos en un informe para la

Comisión (Dupuy de Lôme, 1929). Dupuy era un gran conocedor de su geología, ya que venía realizando estudios geológicos y mineros en Marruecos desde 1913. Además, Dupuy había participado en la confección del mapa geológico de Marruecos en colaboración con Javier Milans del Bosch, ingeniero de minas en el Instituto Geológico. Juntos habían cartografiado la zona occidental del Protectorado, que comprendía Ceuta, Tetuán y Larache. Fue esta una labor de gran mérito, en una zona geológicamente poco explorada, mal comunicada y sin apenas mapas, realizada en plena guerra del Rif.

Gavala asumió la responsabilidad de estudiar la parte geológica de la península ibérica. Su profundo conocimiento de la zona se reflejaba en los varios artículos que había publicado sobre la geología del sur de Andalucía, así como en un detallado mapa geológico de la provincia de Cádiz, resultado de muchos años de trabajo en esta región. También había sido el autor de la parte de la costa española en la guía del estrecho de Gibraltar, una de las excursiones geológicas que tuvieron lugar con motivo del XIV Congreso Geológico Internacional celebrado en Madrid en 1926. Finalmente, Gavala fue el autor del informe sobre la geología del estrecho de Gibraltar presentado por la Comisión de Estudios (Gavala, 1929).

Una de las conclusiones del estudio geológico de ambas orillas fue que los dos lados del Estrecho presentan un estilo estructural muy similar y afloran las mismas formaciones geológicas, con el dominio de las margas y calizas del Eoceno (conocidas entonces como «*flysch* eoceno») que, dado su carácter impermeable, debía ser la formación geológica en la que convenía excavar el túnel sin temor a grandes filtraciones.

Tras estas consideraciones geológicas se propuso un trazado preliminar del túnel, cuyo inicio se situó en Tarifa (Cádiz), con la salida en el lado africano en Punta Ferdigua (Anghera). Esta propuesta se basó en que el túnel debía comenzar y terminar en una región donde el espesor de las margas y calizas del Eoceno fuera lo más grande posible.

Los 35 kilómetros de longitud del túnel propuesto no eran la distancia más corta entre los puntos de entrada y salida, sino que se proyectó siguiendo la batimetría del lecho

marino. Esto significaba que se eligió el trazado del túnel donde la profundidad del fondo marino era menor. Como resultado, el punto más bajo del túnel se encontraba aproximadamente a cuatrocientos metros por debajo del nivel del mar y a unos ochenta metros por debajo del lecho marino. La sección transversal del túnel constaba de tres galerías paralelas. Las dos principales tenían un diámetro interior de seis metros para permitir la circulación de los trenes y estaban conectadas por pasadizos transversales cada 200 metros. Una tercera galería de menor tamaño estaba destinada al drenaje de las aguas.

A finales de 1929 se inició la perforación de dos sondeos de investigación en tierra, uno en cada margen del Estrecho, ambos costeados por el Ministerio de Fomento. Primero se perforó uno cerca de Tarifa, en la Torre de la Peña junto a la playa, que alcanzó una profundidad de 415 metros, atravesando una alternancia de calizas y margas del Eoceno. Durante la perforación no se observaron cambios en la naturaleza y disposición de los estratos y tampoco se obtuvo agua, lo cual indicaba la perfecta impermeabilidad de la formación eocena. Después de terminado el sondeo de Tarifa se perforó el sondeo africano, entre Punta Ferdigua y el río Liam | fig. 1 |. El pozo atravesó margas del Eoceno, algo calcáreas, en bancos casi verticales y alcanzó los 425 metros de profundidad sin variaciones significativas en la litología. No se detectó la menor infiltración de agua, a pesar de estar situado el sondeo a muy poca distancia del mar.

En junio de 1931, el recién nombrado Gobierno de la República decidió eliminar la Comisión de Estudios del Túnel por considerarlo un proyecto de la Monarquía y la Dictadura. Sin embargo, gracias a Alejandro Lerroux, entonces ministro de Estado y un gran defensor del proyecto, se consiguió en diciembre de 1931 restablecer la Comisión, aunque con otro nombre, *Comisión de Estudio del Túnel Hispano-africano Submarino del Estrecho de Gibraltar*, dependiente del Ministerio de Comunicaciones. Esta nueva Comisión continuó con los trabajos y siguió contando entre sus miembros con Luis de la Peña como vicepresidente y Juan Gavala y Enrique Dupuy de Lôme como vocales.

En 1933 se llevaron a cabo investigaciones sísmicas dirigidas por José García-Siñeriz, jefe de la sección de geofísica

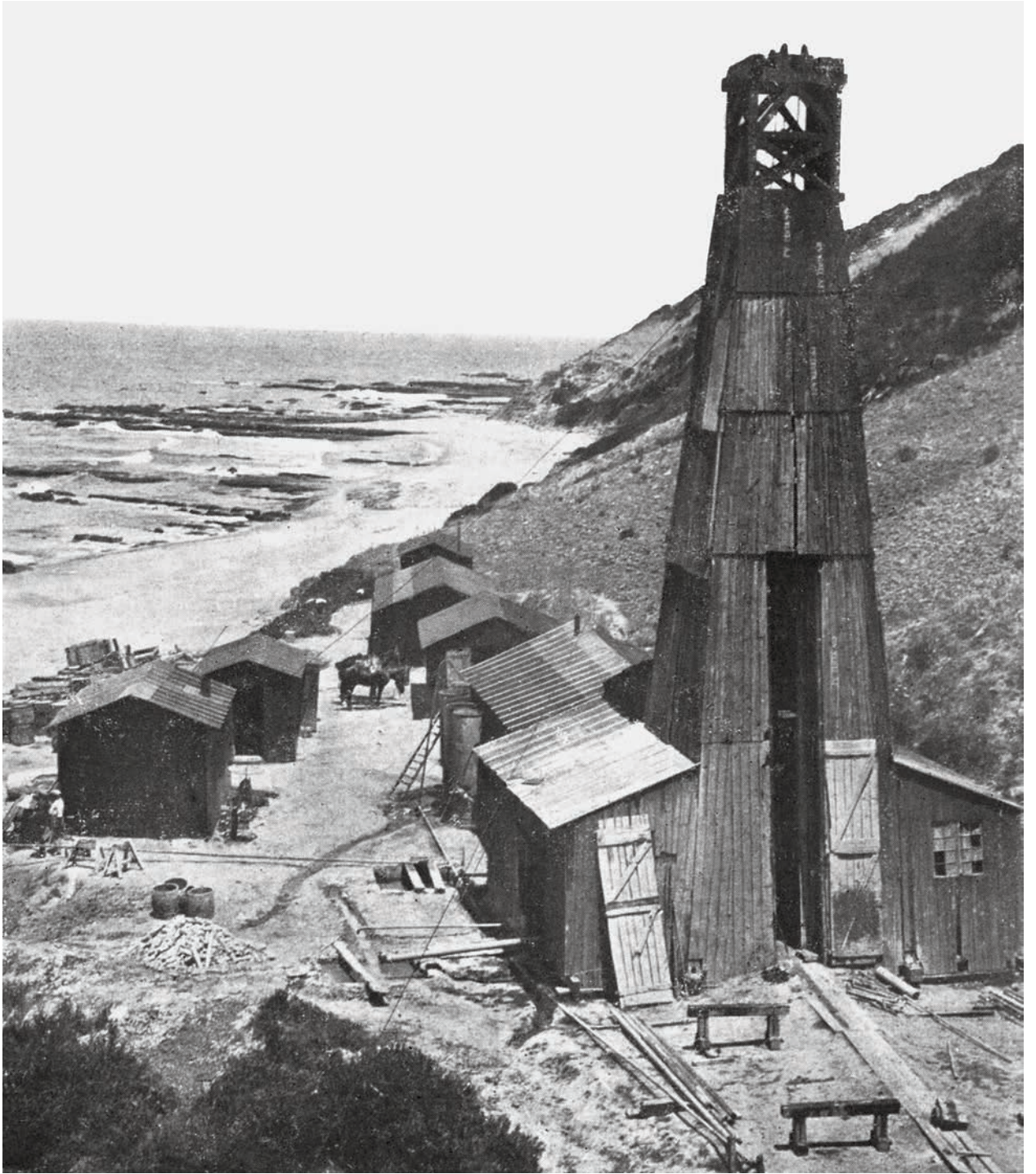


Figura 1. Sondeo geológico en la costa de Marruecos, entre Punta Ferdigua y el río Liam. (Comisión de Estudios del Túnel Submarino de Gibraltar, 1934).

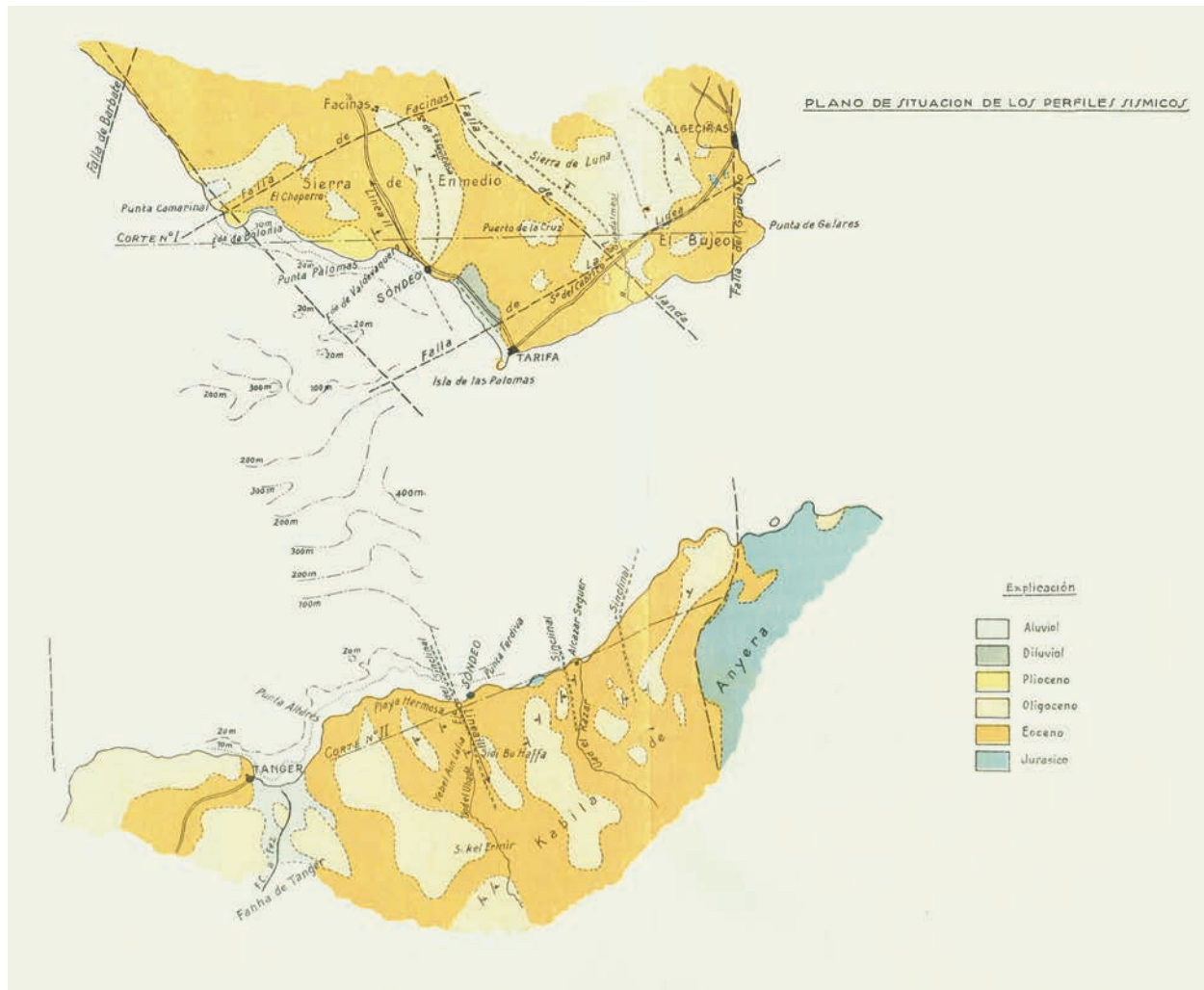


Figura 2. Mapa geológico mostrando la localización de los perfiles sísmicos y los dos sondeos perforados a ambos lados del estrecho de Gibraltar (García Siñeriz, 1935).

del IGME, con el fin de obtener un mayor conocimiento de los estratos que se atravesarían durante la construcción del túnel. El objetivo principal era determinar la profundidad y espesor de los sedimentos del Eoceno en ambos lados del Estrecho. Para lograr esto, se realizaron tres perfiles sísmicos terrestres utilizando explosivos | fig. 2 |. Dos de los perfiles se llevaron a cabo en la provincia de Cádiz: uno en Tarifa, ubicado cerca del sondeo previamente perforado, y otro en Medina-Sidonia, más alejado de la costa, con el propósito de determinar la velocidad sísmica de las margas triásicas, que eran consideradas un posible sustrato de los sedimentos del Eoceno en el Estrecho. El tercer perfil se adquirió en Marruecos, en Cala Grande, cerca del sondeo africano de Punta Ferdigua (García Siñeriz, 1935).

Los datos geofísicos mostraron que los espesores del Eoceno eran superiores a los mil metros en ambas orillas del Estrecho, pero aún quedaba por resolver la determinación de qué rocas y posibles fallas se encontraban en el subsuelo marino, la parte más complicada del proyecto y que la tecnología de la época no permitía resolver fácilmente. Para obtener muestras de las rocas de los fondos marinos del estrecho se ensayaron diferentes técnicas y procedimientos, utilizando explosivos para sacudir el fondo marino y aparatos para recoger las muestras procedentes de las explosiones.

Durante los apenas ocho años que duró el estudio para el túnel submarino del estrecho de Gibraltar, se llevaron a cabo trabajos de toma de muestras del fondo marino, car-

tografía geológica, perforación de sondeos y adquisición de perfiles sísmicos en ambas orillas, todo ello con el asesoramiento técnico del IGME. Sin embargo, en julio de 1936, con el estallido de la Guerra Civil, la Comisión se vio obligada a suspender sus actividades, y el proyecto del túnel submarino de Jevenois tuvo que ser abandonado.

Desde entonces hasta la actualidad, se han propuesto varios proyectos con diferentes soluciones técnicas para unir Europa y África por el estrecho de Gibraltar. Sin embargo, estos no han estado exentos de incertidumbres, planteando dudas sobre su viabilidad, ya que un enlace fijo entre los dos continentes supone también el enlace entre dos placas tectónicas, la euroasiática y la africana, lo que supone un reto geotécnico debido a los esfuerzos y deformaciones que se pudieran producir en cualquier construcción fija llevada a cabo en el Estrecho.

BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN DE ESTUDIOS DEL TÚNEL SUBMARINO DE GIBRALTAR. (1934). *El túnel submarino de Gibraltar: estado actual de los trabajos*. Bolaños y Aguilar.

DUPUY DE LÔME, E. (1929). La geología de la orilla africana del estrecho de Gibraltar. *Boletín del Insti-*

tuto Geológico y Minero de España, 51, 37-70.

GARCÍA SIÑERIZ, J. (1935). La investigación sísmica en el estrecho de Gibraltar. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*, 32, 431-476.

GAVALA, J. (1929). La geología del estrecho de Gibraltar. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 51, 3-36.

5. LOS INICIOS DE
LA INVESTIGACIÓN
Y LA CARTOGRAFÍA
GEOLÓGICA MARINA
EN EL IGME



En 1982 el Instituto Geológico y Minero de España publicó el primer *Mapa geológico de la plataforma continental española* correspondiente a las hojas n.º 84-85-844S y 85S (Almería-Garrucha-Chella-Los Genoveses) | fig. 1 |. Los trabajos realizados para la elaboración de estas hojas geológicas fueron dirigidos por José Medialdea Vega, responsable del Programa General de Cartografía Geológica de la Plataforma Continental Española (FOMAR) a escala 1:200 000, así como de otros proyectos de investigación de recursos minerales marinos y promotor de la creación del primer grupo de geología marina en el IGME. Este hito marcó la consolidación de la investigación y la cartografía geológica marina e impulsó el desarrollo de la geología marina en el Instituto Geológico y Minero de España, tras un periodo de trabajos preliminares que se desarrollaron en los años setenta.

Numerosas razones de orden político, económico y científico apoyaron el comienzo y desarrollo de las actividades del IGME en el campo de la geología marina. El conocimiento geológico del territorio sumergido y la elaboración de una infraestructura geológica de calidad en un país eminentemente marítimo como España era fundamental para la planificación de cualquier acción encaminada tanto a la exploración e investigación de los recursos como a la gestión del territorio. Desde el punto de vista legal, este

conocimiento se consideraba además primordial para defender correctamente los intereses y derechos de España en la definición de sus límites jurisdiccionales marinos. Por todas estas razones y ante la necesidad que se planteó en la década de los setenta de la búsqueda de nuevos recursos energéticos y minerales, el IGME emprendió la investigación de los fondos marinos, de acuerdo con el Programa Sectorial de Investigación de Fondos Marinos (FOMAR) dentro del Programa Nacional de Investigación Minera (Ministerio de Industria-Dirección General de Minas, 1971) y como parte del III Plan de Desarrollo Económico y Social (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 113, de 11.05.1972). Teniendo en cuenta su dependencia de este programa, los trabajos desarrollados entre 1972 y 1977 se dirigieron lógicamente hacia la exploración de los recursos minerales submarinos hasta unos 50 m de profundidad. Consciente el IGME de la necesidad de impulsar y desarrollar estas actividades, y con objeto de dar cumplimiento al Real Decreto 1713/1972, de 30 de junio (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 163, de 8.07.1972) y al Real Decreto 2402/1977, de 17 de junio (*Boletín Oficial del Estado*, n.º 225, de 20.09.1977), en los que se establecen las funciones del IGME, entre las que se menciona explícitamente la investigación de fondos marinos, se crea el Programa General de Cartografía Geológica de la Plata-

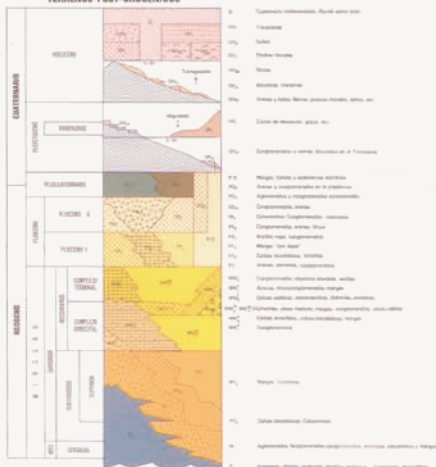
MAPA GEOLOGICO DE LA MARGEN CONTINENTAL Y ZONA TERRESTRE



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

LEYENDA

TERRENOS POST-DROGENICOS



ZONA BÉTICA



NOTA: En los límites provinciales se han marcado con líneas discontinuas los límites de las provincias.

MAPA DE DISTRIBUCION DE HOJAS



DIVISION ADMINISTRATIVA



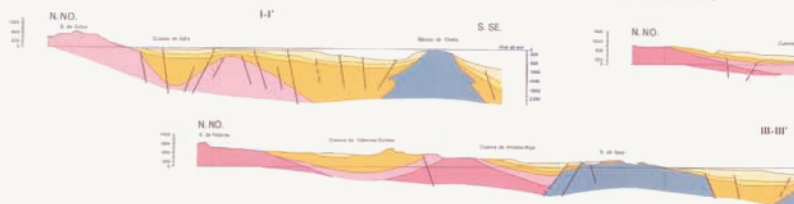
SIGNOS CONVENCIONALES



Mapa Geológico Servicio Geológico del Ejército
 Edición y Actualización: I.G.M.E., S.A.
 Edición: 1985

CORTES GEOLOGICOS

LEYENDA



Escala horizontal 1:200.000
 Escala vertical 1:500.000

Escala 1:200.000
 Proyecto I.G.M.E. Estado de Madrid
 Edición y Actualización: I.G.M.E., S.A.
 Edición: 1985

forma Continental Española dentro del programa FOMAR. La elaboración de este programa se inició en 1978 y fue dirigida por José Medialdea Vega. Su objetivo fue la creación de una infraestructura básica para llevar a cabo cualquier actividad geológica y para el conocimiento de los recursos geológicos de los márgenes continentales españoles. Se trataba además de facilitar la incorporación de España a programas internacionales de investigación de los fondos oceánicos, así como la cooperación con otros países en el campo de la geología marina. Para el cumplimiento de estos objetivos, se constituyó un Departamento de Geología Marina en el IGME, dirigido por José Medialdea Vega, dependiente de la Dirección de Geología y Técnicas Básicas.

Para la ejecución del programa se elaboró el Programa de Actuación y Valoración de la Cartografía Geológica de la Plataforma Continental Española (IGME, 1982), en el que se establecían además de los objetivos, la división de la plataforma y talud continental de España en 57 hojas a escala 1:200 000, la metodología para la elaboración de la cartografía geológica, en la que se incluía la realización de campañas oceanográficas de geofísica y toma de muestras y los mapas temáticos a realizar (mapas batimétricos, geomorfológicos, geológicos, sedimentológicos, zonas de interés minero). Además, se valoraron los costes de elaboración de cada hoja y se estableció un orden de prioridades en la ejecución. La elaboración de las diferentes hojas geológicas se realizó tanto por el IGME como mediante convenios entre el IGME y otros organismos como el Instituto Jaume Almera (IJA, CSIC) y el Instituto Español de Oceanografía (IEO). Como resultado de este programa y la importante inversión realizada, se publicaron 18 hojas marinas del Mediterráneo (Cataluña, Alicante, Murcia, Almería, Málaga y Granada) y Atlántico suroriental (Cádiz). Hay que resaltar también la creación de un importante fondo documental de líneas sísmicas y un elevado número de muestras representativas que actualmente se conservan en la Litoteca del IGME. En paralelo se llevaron a cabo además trabajos de investigación de recursos minerales en Almería (Rodalquilar), Galicia (Rías Bajas) y Asturias (Salave). El desarrollo de este programa de cartografía, junto con la formación de nuevos investigadores y técnicos, no solo facilitó el desa-



JOSÉ MEDIALDEA VEGA

(1926-2018).

Doctor ingeniero de minas. Ingresó en el Instituto Geológico de España en 1977, tras una etapa inicial de su carrera dedicada a la exploración e investigación de hidrocarburos y a la minería. Fue jefe del Departamento de Geología Marina del IGME desde 1978 y responsable del Programa General de Cartografía Geológica de la Plataforma Continental Española (FOMAR), así como de otros proyectos de investigación de recursos minerales marinos, que desarrolló hasta su jubilación en 1992. Su valiosa aportación fue determinante para impulsar el desarrollo de la geología marina y el conocimiento de los márgenes continentales de España.

rollo de la geología marina en el IGME, sino que además constituyó un considerable apoyo a otros grupos de investigación del IJA y del IEO con los que se colaboró activamente, dirigidos por Andrés Maldonado y Carlos Palomo, respectivamente.

Los estudios de geología marina requieren de una gran inversión en infraestructuras y equipamiento y quizás por estos motivos, este programa de cartografía se abandonó progresivamente por falta de financiación a finales de los noventa. Afortunadamente, en el transcurso de la última década, la cartografía y la investigación geológica marina en el IGME han experimentado un nuevo impulso al amparo del desarrollo de nuevas técnicas y métodos de reconocimiento de los fondos marinos y de la participación en numerosos proyectos nacionales e internacionales. En este sentido cabe destacar la participación del IGME en los proyectos financiados por la Comisión Europea, European Marine Observation and Data Network-Geology (EMODnet-

Geology) (<https://emodnet.ec.europa.eu/en/geology>) y Seabed Mineral Deposits in European Seas: Metallogeny and Geological Potential for Strategic and Critical Raw Materials (GeoERA-MINDeSEA) (<https://geoera.eu/projects/mindesea2>), cuyos trabajos se iniciaron en 2014 y 2018, respectivamente. El objetivo principal del proyecto EMODnet-Geology es crear una infraestructura básica de cartografía e información geológica de los mares europeos, mientras que el proyecto MINDeSEA se centra en el estudio de los recursos minerales y su contexto metalogénico. Estos proyectos han sido el germen para la elaboración por primera vez en el IGME de una base cartográfica geológica digital de los márgenes continentales españoles y llanuras abisales adyacentes: el *Atlas del margen continental de España* (Medialdea *et al.*, 2021) y, más recientemente, para la generación de un visor cartográfico en el que se pueden consultar todos los datos recogidos en el *Atlas* (<https://info.igme.es/visor/?Configuracion=GeologiaMarina>).

BIBLIOGRAFÍA

- IGME. (1982). *FOMAR. Programa de Actuación y Valoración de la Cartografía Geológica de la Plataforma Continental Española*. Instituto Geológico y Minero de España; Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
- MEDIALDEA, J., BAENA, J., GARCÍA-RODRÍGUEZ, J., MALDONADO, A., UCHUPI, E., UDÍAS, A., WANDOSSELL, J., & ZAMARREÑO, I. (1982). *Mapa geológico de la plataforma continental española. Hojas n.º 84-85-84S-85S (Almería-Garrucha-Chella-Los Genoveses)*. Escala 1:200 000. Instituto Geológico y Minero de España; Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
- MEDIALDEA, T., SOMOZA, L., & GONZÁLEZ, F. J. (Eds.). (2021). *Atlas geológico del margen continental de España*. Instituto Geológico y Minero de España.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA-DIRECCIÓN GENERAL DE MINAS (1971). *Plan Nacional de la Minería. Edición resumida* (Tomo I). Ministerio de Industria.

6. TREINTA AÑOS DE
CARTOGRAFÍA GEOFÍSICA
EN LA ZONA ECONÓMICA
EXCLUSIVA ESPAÑOLA:
UN MODELO DE
COLABORACIÓN
INTERINSTITUCIONAL

La Ley 15/1978, de 20 de febrero, sobre zona económica (Boletín Oficial del Estado, n.º 46, de 23.02.1978) define la zona económica exclusiva española (ZEEE) como:

Una zona marítima que se extiende desde el límite exterior del mar territorial español hasta una distancia de doscientas millas náuticas, contadas a partir de las líneas de base desde las que se mide la anchura de aquel. El Estado español tiene derechos soberanos a los efectos de la exploración y explotación de los recursos naturales del lecho y del subsuelo marinos y de las aguas suprayacentes.

En aplicación de lo dispuesto en la ley, corresponde al Estado español: 1) el derecho exclusivo sobre los recursos naturales de la zona; 2) la competencia de reglamentar la conservación, exploración y explotación de tales recursos, para lo que se cuidará la preservación del medio marino; 3) la jurisdicción exclusiva para hacer cumplir las disposiciones pertinentes; y 4) cualesquiera otras competencias que el Gobierno establezca en conformidad con el derecho internacional. Los aspectos legales referentes a la ZEE establecidos en esta ley se basan en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, aprobada en la III Conferencia de las Naciones Unidas sobre Derecho del

Mar, celebrada en Kingston (Jamaica) en 1982. La ZEEE tiene una extensión aproximada de más de un millón de kilómetros cuadrados, equivalente a dos veces la superficie emergida del territorio nacional | fig. 1 |.

Los trabajos de exploración sistemática de la ZEEE son responsabilidad del Ministerio de Defensa, que en el año 1994 incluyó el Plan de Investigación Hidrográfica-Oceanográfica de la Zona Económica Exclusiva en el Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas. El objetivo de este proyecto es proporcionar al Estado un conocimiento básico de su ZEE, con la creación de una base de datos y una serie de cartografías temáticas generadas a partir de la información obtenida durante las campañas. Desde un principio el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) mostró gran interés en la ejecución y desarrollo del Plan, enviando personal propio a todas las campañas por expresa invitación de los responsables del mismo. En abril del 2002, el IGME realizó una solicitud formal ante la Secretaría General Técnica del Ministerio de Defensa para su incorporación al equipo de trabajo que dirige, coordina, planifica y ejecuta el Plan, por considerar que dentro de las funciones que le confería su estatuto (artículo 14 del Real Decreto 1953/2000 de 2 de diciembre de 2000) se incluye la cartografía y reconocimiento geológico del territorio nacional

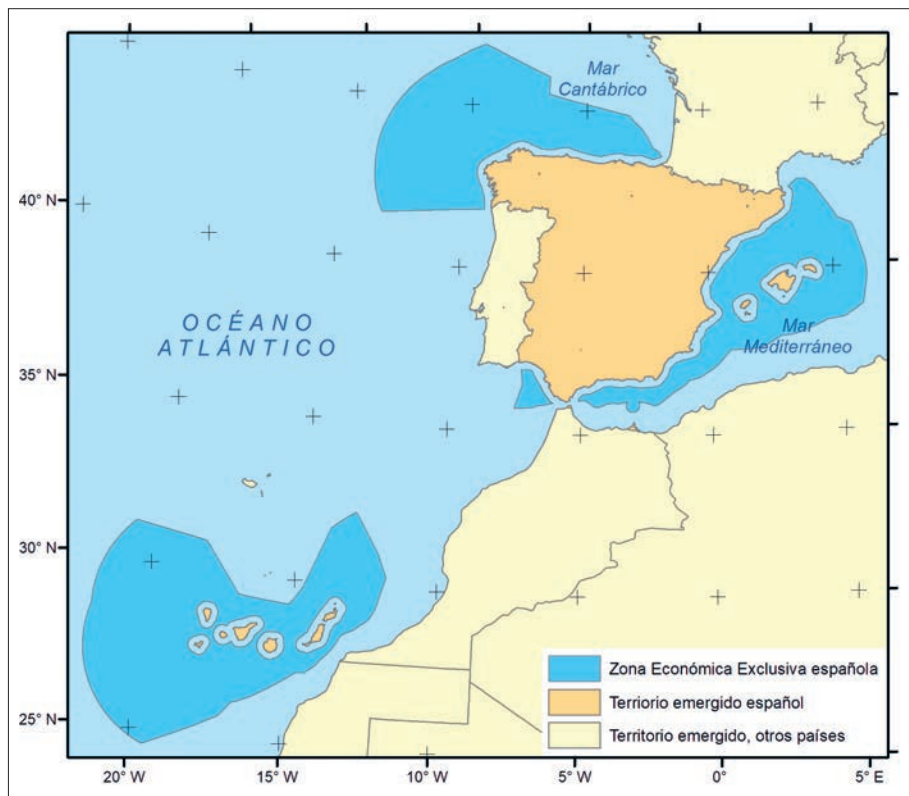


Figura 1. Zona económica exclusiva de España, sin tener en cuenta territorios en disputa con otros países.

y de su ZEE. El resultado de esta solicitud fue la firma, el 24 de octubre de 2003, de la ampliación de la *Orden Ministerial Comunicada n.º 159/2001, de 17 de julio, por la que se aprueba el Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas 2001-2004*, donde se modifica el Plan de Investigación Científica de la ZEEE. Este plan fue llevado a efecto fundamentalmente por el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), el Instituto Geológico y Minero de España, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) y la Universidad Complutense de Madrid, para lo cual se estableció un Convenio Marco de Cooperación entre el Ministerio de Defensa, el IEO y el IGME para la Investigación Científica de la ZEEE. Con posterioridad, se aprueba el Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas 2013-2016, cuyo anexo VIII fue denominado *Plan de Investigación Científica de la ZEEE*. La direc-

ción de este plan se realizó por la Dirección General de Infraestructura del Ministerio de Defensa, y los organismos responsables de su ejecución son el IHM y el ROA. En la actualidad, el Plan está dirigido por los directores del Centro de Inteligencia de las Fuerzas Armadas, del IHM y del ROA.

Para el desarrollo de este Plan Cartográfico de la ZEEE fue clave la construcción del buque de investigación oceanográfica (BIO) Hespérides. Este buque, botado en 1990, pertenece a la Armada, pero el mantenimiento del equipamiento científico es responsabilidad de la Unidad de Tecnología Marina (UTM), CSIC. El 23 de abril de 1993, en reunión del Consejo de Ministros, se acordó reservar el uso del BIO Hespérides al Ministerio de Defensa por un periodo de un mes al año para la realización de las campañas de la ZEEE. Las campañas oceanográficas comenzaron en el

año 1995. Hasta la fecha se han realizado veintitrés campañas a bordo del BIO Hespérides, dos en los buques oceanográficos Vizconde de Eza (Secretaría General de Pesca) y Cornide de Saavedra (IEO), y otra en el buque hidrográfico Tofiño (IHM). Se han realizado campañas en el área mediterránea en los años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2016 y 2022; en la región de las islas Canarias, en los años 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2011, 2017, 2018, 2019 y 2021; y en el área de Galicia y el Cantábrico, en los años 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, 2009, 2014 y 2015.

Los datos geofísicos de gravedad, magnetismo, batimetría de alta resolución y sísmica de muy alta resolución, junto con datos de salinidad y temperatura del agua, obtenidos en las campañas oceanográficas, constituyen la base del conocimiento de los fondos marinos españoles, y son esenciales tanto para la planificación de estudios posteriores

con diversos objetivos científicos como para una correcta gestión de los recursos naturales. Los resultados de esta información se han utilizado en la elaboración de numerosos estudios científicos presentados en congresos nacionales e internacionales y publicados en revistas internacionales de impacto, así como en trabajos de fin de máster y tesis doctorales. Cabe destacar, la realización de varias series cartográficas a escala 1:200 000 y 1:500 000, en las que el IGME ha participado, como las que se llevaron a cabo en los márgenes de Galicia y mar Cantábrico y en la zona del mar Balear y golfo de Valencia (Martín Dávila *et al.*, 2012a, 2012b, 2015). En estas áreas se elaboraron mapas de batimetría y de anomalías geomagnéticas y gravimétricas y geomorfológicos. Además, en los márgenes de Galicia y Cantábrico el IGME ha elaborado y publicado las cartografías de ecocarácter (Maestro *et al.*, 2017, 2021) | fig. 2 (véanse *infra* pp. 142-143) |.

BIBLIOGRAFÍA

MARTÍN DÁVILA, J., CATALÁN, M., LARRÁN, M., PERSONAL DE LA SECCIÓN DE HIDROGRAFÍA DEL INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA, SOMOZA, L., LEÓN, R., GONZÁLEZ, F. J., CARBÓ GOROSABEL, A., MUÑOZ MARTÍN, A., GRANJA, J. L., LLANES, P., GÓMEZ-BALLESTEROS, M., DRUET, M., & ACOSTA, J. (2012a). Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE). *Margen continental gallego. Mapas generales de batimetría, de anomalías geomagnéticas, gravimé-*

tricas de aire libre y Bouguer, geomorfológico y mosaico de imágenes de reflectividad a escala 1:500 000. Secretaría General Técnica, Ministerio de Defensa.

MARTÍN DÁVILA, J., CATALÁN, M., LARRÁN, M., PERSONAL DE LA SECCIÓN DE HIDROGRAFÍA DEL INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA, CARBÓ GOROSABEL, A., MUÑOZ MARTÍN, A., GRANJA, J. L., GÓMEZ-BALLESTEROS, M., ACOSTA, J., TELLO, O., MAESTRO, A., & LLAVE, E. (2012b). *Zona económica exclusiva española (ZEEE). Mar Balear y golfo de Valencia. Mapas generales de batimetría, geomorfología,*

anomalías geomagnéticas, gravimétricas de aire libre y Bouguer a escala 1:500 000. Secretaría General Técnica, Ministerio de Defensa.

MAESTRO, A., GALLASTEGUI, G., MORETA, M., LLAVE, E., BOHOYO, F., DRUET, M., NAVAS, J., MINK, S., FERNÁNDEZ-SÁEZ, F., CATALÁN, M., PERSONAL DE LA SECCIÓN DE HIDROGRAFÍA, GÓMEZ-BALLESTEROS, M., MUÑOZ-MARTÍN, A., & GRANJA, J. L. (2021). *Zona económica exclusiva española (ZEEE), margen cantábrico, mapas de ecocarácter a escala 1:200 000 y 1:500 000.* Instituto Geológico y Minero de España.

MAESTRO, A., JANÉ, G., FERNÁNDEZ-SÁEZ, F., LLAVE, E., BOHOYO, F., NAVAS, J., MINK, S., MARTÍN-DÁVILA, J., CATALÁN, M., PERSONAL DE LA SECCIÓN DE HIDROGRAFÍA, GÓMEZ-BALLESTEROS, M., CARBÓ, A., MUÑOZ-MARTÍN, A., & GRANJA, J. L. (2017). *Zona económica exclusiva española (ZEEE), margen continental gallego, mapas de ecocarácter a escala 1:200 000 y 1:500 000.* Instituto Geológico y Minero de España.

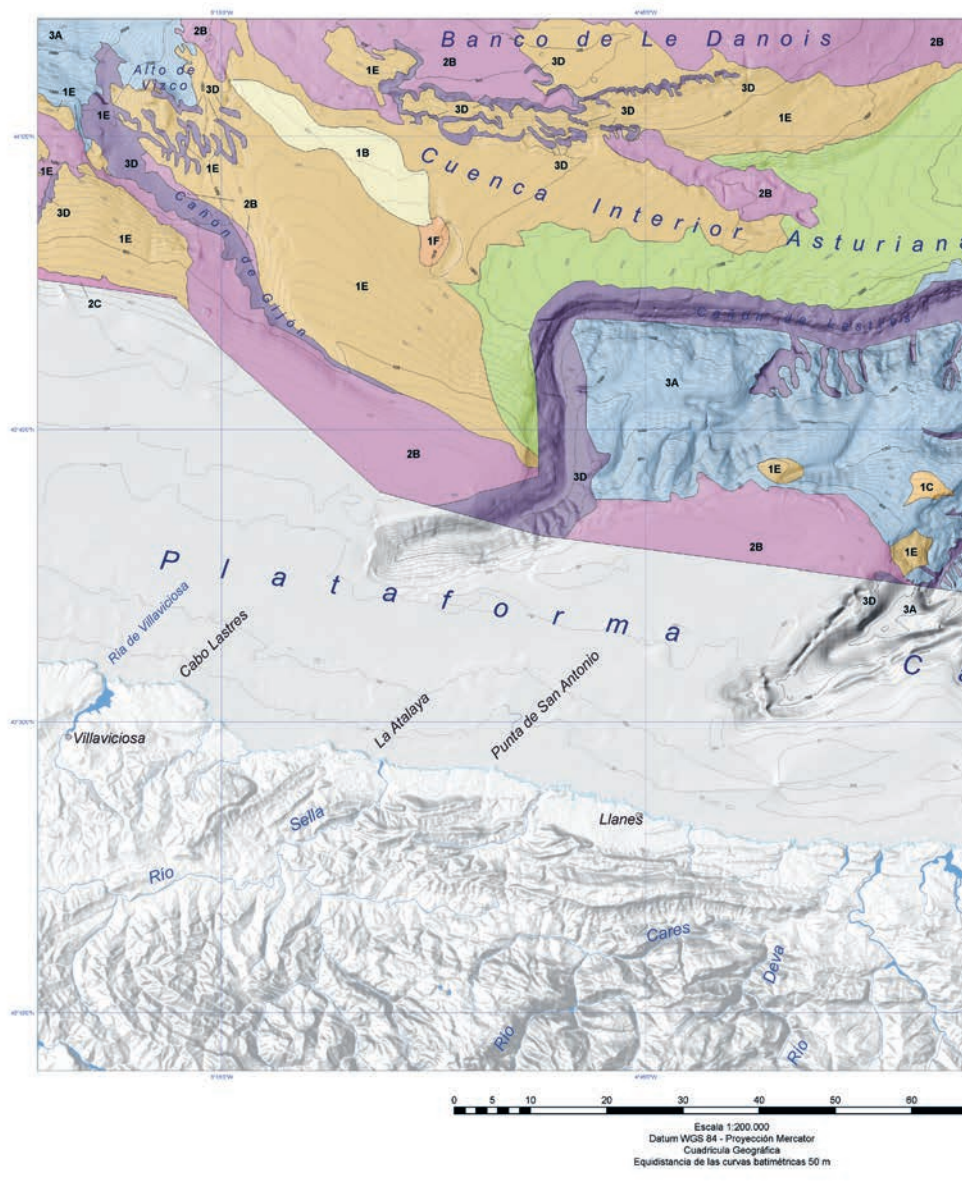
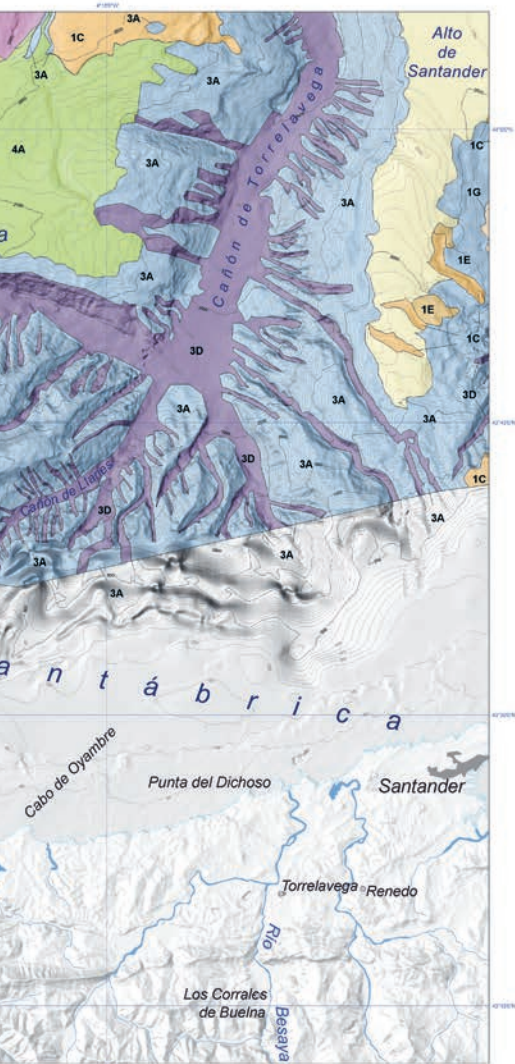
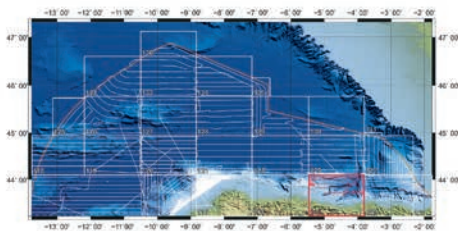


Figura 2. Ejemplo de mapa de ecomorfo de un sector del margen cantábrico a escala 1:200 000. Portada de las publicaciones de cartografía de ecomorfo de la ZEE realizadas por el IGME.

15 - Zona Económica Exclusiva Española



Dirección y Supervisión: Adolfo Masero González
Autores: Alba Galastegui Vega, Mercedes Morata Bermejo, Adolfo Masero González, Estefanía Lirio Baranano, Fernando Botayo Muñoz, María Druel Válor, Javier Navas Matagosa, Sandra Mok Pirovec, Fernando Fernández Saez



MAPA ELABORADO POR EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA CON LOS DATOS ADQUIRIDOS A BORDO DEL S.I.O. HESPERIDES EN LAS CAMPAÑAS DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA DURANTE LOS AÑOS 2003, 2006, 2007, 2008, 2009, 2014 Y 2015. LA ADQUISICIÓN SE REALIZÓ CON UNA ECOSONDA PARAMÉTRICA TOPAS P103 (Parámetros de adquisición de datos: velocidad del sonido 1530 m/s, Frec. 2.0 kHz; escala de los perfiles 300 Hz) Y SISTEMA DE NAVEGACIÓN GPS-D.

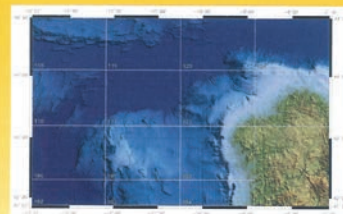
LA ADQUISICIÓN DE LOS DATOS HA SIDO REALIZADA POR EL INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA, EL REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA, EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA Y EL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA.

PARTICIPACIÓN EN LAS CAMPAÑAS:
 INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA, REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA, INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, UNIVERSIDAD DE CÁDIZ, UNIVERSIDAD DE A CORUÑA, UNIVERSIDAD DE VIÑO.

Tipo	Simbolo IGM	Etiqueta	Legenda	Características	Distribución
1B	[Symbol]	1B	1B	1B	1B
1C	[Symbol]	1C	1C	1C	1C
1E	[Symbol]	1E	1E	1E	1E
1F	[Symbol]	1F	1F	1F	1F
1G	[Symbol]	1G	1G	1G	1G
2B	[Symbol]	2B	2B	2B	2B
2C	[Symbol]	2C	2C	2C	2C
3A	[Symbol]	3A	3A	3A	3A
3D	[Symbol]	3D	3D	3D	3D
4A	[Symbol]	4A	4A	4A	4A

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 Serie: GEOLOGÍA Y GEOTÉCNICA Nº 6

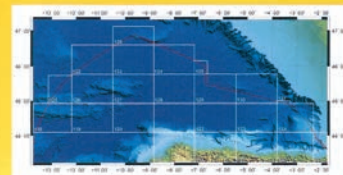
Zona Económica Exclusiva Española (ZEE) Margen Continental Gallego Mapas de Eocarácter a escala 1:200.000 y 1:500.000



Instituto Geológico y Minero de España

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 Serie: GEOLOGÍA Y GEOTÉCNICA Nº 7

Zona Económica Exclusiva Española (ZEE) Margen Cantábrico Mapas de Eocarácter a escala 1:200.000 y 1:500.000



Realizados por el Instituto Geológico y Minero de España en colaboración con:
 Instituto Hidrográfico de la Marina
 Real Instituto y Observatorio de la Armada
 Instituto Español de Oceanografía
 Universidad Complutense de Madrid



Instituto Geológico y Minero de España

7. CARTOGRAFÍA
GEOMORFOLÓGICA:
INICIO
Y DESARROLLO
EN EL IGME



La cartografía geomorfológica forma parte de la evaluación territorial o *terrain evaluation*, un conjunto de técnicas multipropósito que permiten evaluar las propiedades del terreno en su conjunto, ya sea en áreas grandes o pequeñas. En concreto, la cartografía geomorfológica registra sistemáticamente la morfología del relieve, es decir, los accidentes geográficos o *landforms*, los procesos de formación de dicho relieve y los materiales que lo constituyen (Griffiths, 2004). La cartografía geológica del Cuaternario y la geomorfológica guarda una estrecha relación debido a la disposición superficial de los materiales cuaternarios, conservando casi siempre una morfología relacionada con el relieve actual y los procesos que lo modelan (Salazar, 2017). Aunque el mapa geomorfológico y el geológico son cartografías diferenciadas, ambos tienen su punto de encuentro en la representación de las formaciones superficiales.

Los mapas realizados por la Comisión para Elaborar la Carta Geológica de Madrid y General del Reino muestran unas primeras pinceladas de carácter geomorfológico. Entre estos mapas destaca el *Mapa geológico en bosquejo de la provincia de Madrid* a escala 1:400 000, de Casiano de

Prado, publicado en 1853, que incluye una cartografía básica de formaciones superficiales, diferenciando el *aluvión antiguo*, es decir, los acarreos recientes de los ríos de edad Holoceno, y el *diluvium*, en el que se incluían indistintamente materiales detríticos del Pleistoceno, Plioceno y Mioceno. Este término, que hacía referencia a los depósitos cuaternarios más antiguos, fue propuesto por William Buckland, quien los relacionaba con el Diluvio Universal bíblico. Otros mapas, como el *Mapa geológico en bosquejo de la provincia de Tarragona*, de Agustín Martínez Alcívar, del año 1866, denominan a dichos depósitos como Pleistoceno o como Posplioceno, términos acuñados por Charles Lyell.

Desde finales del siglo XIX y hasta la década de los años setenta del pasado siglo, la cartografía de elementos geomorfológicos en los mapas publicados por el IGME siguió limitada a la representación en los mapas geológicos de los depósitos cuaternarios, que de modo general quedaban pobremente detallados al carecer de un interés minero, e incluyendo ocasionalmente algún rasgo geomorfológico puntual. El término obsoleto *Diluvial* se continuó utilizando en España hasta mediados del siglo XX (García Siñeriz, 1949).

LOS INICIOS DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA EN EL IGME

Se atribuye a Siegfried Passarge la elaboración en 1914 del primer mapa geomorfológico, pero es en la década de 1950 cuando comienza la normalización de dicha cartografía. En España, los primeros mapas geomorfológicos son esquemas relacionados con el glaciario, y a partir de los años cincuenta se realizan las primeras cartografías, destacando las de Pierre Birot y Lluís Solé. Hasta los años setenta, las cartografías geomorfológicas españolas son asistemáticas (Martín-Serrano García, 2017).

En 1971, el IGME comienza la ejecución de la Segunda Serie del Mapa Geológico de España a escala 1:50 000, el Plan MAGNA. En el marco de dicho plan cartográfico, entre 1978 y 1979, el IGME elabora un primer ensayo de cartografía geológica de superficie a lo largo de una transversal N-S de la cuenca del Duero, cuya ejecución corrió a cargo de la unión temporal de las empresas (UTE) Compañía General de Sondeos SA (CGS) e Ingeniería Minero-Industrial SA (IMINSA), y colaboradores de universidades. Dicha cartografía se elaboró en un bloque de diecisiete hojas MAGNA (n.º 130, 131, 132, 164, 197, 235, 273, 311, 343, 372, 400, 428, 455, 481, 504, 505 y 506). Los responsables de elaborar la cartografía fueron geólogos de la UTE (Aragonés, Carreras, Colmenero, García Ramos, Manjón, Olivé y del Olmo), asesorados y coordinados por Mateo Gutiérrez Elorza (Universidad de Zaragoza) y Eloy Molina (Universidad de Salamanca), actualmente reconocidos como referencia fundamental en el inicio y consolidación de la geomorfología española. Los responsables del proyecto fueron Emilio Elízaga y Alfredo Pérez González (IGME), José Manuel Portero y José Ramírez del Pozo (CGS) e Ignacio Vargas (IMINSA).

La cartografía elaborada incluyó dos mapas: Geomorfológico y Formaciones superficiales, ambos con un grado de detalle superior al de cualquier otra cartografía geomorfológica oficial realizada anteriormente en España. Estos mapas fueron elaborados en blanco y negro a escala 1:50 000, pero se publicaron a 1:100 000, incluidos en la memoria de las hojas. El Mapa Geomorfológico clasifica las formas del relieve atendiendo a su origen según tipos de modelado



MATEO GUTIÉRREZ ELORZA

(1941-2023)

Fue catedrático de Geodinámica Externa (Universidad de Zaragoza), presidente de la Sociedad Española de Geomorfología y miembro del comité ejecutivo de la International Association of Geomorphologists. Académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y académico numerario de la Academia de Ciencias de Zaragoza. Colaborador habitual del IGME y autor de más de 225 publicaciones, entre ellas los libros *Geomorfología de España* (1994), *Climatic Geomorphology* (2005) o *Geomorphology* (2013)



ELOY MOLINA BALLESTEROS

(Toledo, 1941)

Profesor titular de Geomorfología (Universidad de Salamanca), ha sido responsable de la Unidad Asociada USAL-IRNASA (CSIC) y colaborador del IGME en el Mapa del Cuaternario de España a escala 1:1 000 000 y en la cartografía MAGNA. Es autor de más de ochenta publicaciones, referidas principalmente a procesos de alteración, entre las que destacan *Geomorfología y geoquímica del paisaje*

(estructural, de vertiente, fluvial, etc.). El segundo mapa representa las formaciones superficiales, incluyendo datos de litología, espesor o edafología, aspectos de especial interés en geotecnia, drenaje, erosión o agronomía.

Parte de la experiencia adquirida en la transversal N-S del Duero, se utilizó en la segunda edición del «modelo de hoja» para el plan MAGNA, realizada en 1980, que incluyó una simbología orientativa de formas del relieve. A partir de entonces, para cada hoja MAGNA se elaboró un mapa geomorfológico 1:50 000 de formato libre, que fue publicado dentro del capítulo de Geomorfología de las memorias de las hojas, en blanco y negro, a escala 1:100 000 y sin base topográfica. Esta metodología se aplicó en la década de los ochenta a un total de 173 hojas del plan MAGNA (Martín-Serrano, 2017). En la elaboración de dichas hojas participaron personal del IGME, técnicos de las empresas y especialistas de diversas universidades. El desarrollo de la cartografía geomorfológica y geológica del Cuaternario durante esos años permitió al IGME la publicación en 1989 del *Mapa del Cuaternario de España a escala 1:1 000 000*.

EL MAPA GEOMORFOLÓGICO DE ESPAÑA A ESCALA 1:50 000

En 1991 se realizó una revisión de la normativa del MAGNA, que incluyó como anexo una norma para la elaboración de un Mapa Geomorfológico de España a escala 1:50 000 (1:25 000 en algunas islas), para ser publicado en color y acompañando al Mapa Geológico | fig. 1 |. En 1995, el Ministerio de Obras Públicas, Turismo y Medio Ambiente inició un proyecto piloto para el Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental (PNCTA), un proyecto de *terrain evaluation* para el territorio español que incluía la elaboración a escala 1:50 000 o 1:25 000 de seis cartografías (Litología, Geomorfología, Suelos, Vegetación, Paisaje y Patrimonio Natural). El Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) coordinó la fase de diseño del PNCTA, que incluyó la realización de diez hojas piloto (Barettino Fraile, 1999). La propuesta de cartografía geomorfológica incluyó la realización de cuatro mapas: Geomorfológico, Formaciones Superficiales, Procesos

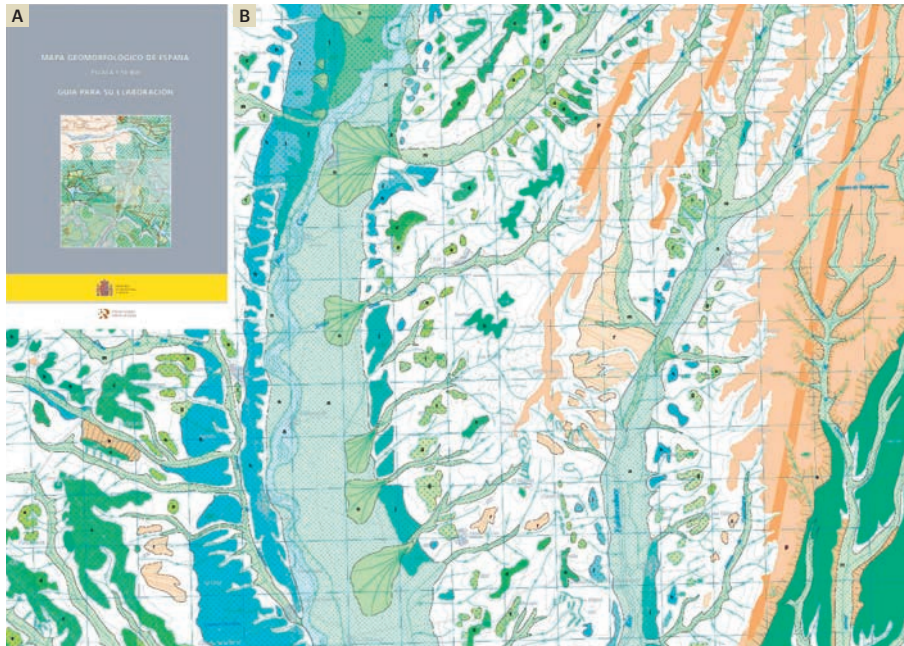


Figura 1. Mapa geomorfológico de España, a escala 1:50 000. A) Portada de la actual normativa. Autores: Á. Martín-Serrano, Á. Salazar, F. Nozal & A. Suárez (2004). B) Detalle de la hoja 163 (Almanza). Autores: F. Nozal Martín y A. Suárez Rodríguez (1993).

Activos y Unidades Geomorfológicas Homogéneas (Salazar Rincón & Martín-Serrano, 1998). Aunque el PNCTA quedó abortado, la experiencia adquirida sirvió de base para la normativa actual (Martín-Serrano *et al.*, 2004).

A partir de las normativas de 1991 y 2004, el Mapa Geomorfológico de España a escala 1:50 000/1:25 000 agrupa las formas del relieve y las formaciones superficiales en un único mapa, clasificándolas según un doble criterio: génesis y edad. El Mapa Geomorfológico actual incluye también una base litológica y dos mapas derivados: Mapa de Procesos Activos y Mapa de Unidades Geomorfológicas.

El Mapa Geomorfológico de España se encuentra disponible para 289 hojas. Teniendo en cuenta otras cartografías anteriores y posteriores, eso supone más de un tercio del territorio nacional, así como un conocimiento detallado de la geomorfología española sintetizado en el *Mapa geomorfológico de España y del margen continental a escala 1:1 000 000* [fig. 2], cuya presentación oficial se realizó en la Sixth International Conference on Geomorphology (Zaragoza, 2005).

BIBLIOGRAFÍA

- BARETTINO FRAILE, D. (1999). Objetivos y bases metodológicas del Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental (PNCTA). En L. Lain Huerta (Ed.), *Los sistemas de información geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente* (pp. 143-154). Instituto Tecnológico Geominero de España.
- GARCÍA SIÑERIZ, J. (1949). Normas para la ejecución y presentación de las hojas del Mapa Geológico Nacional de España a escala 1:50 000. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 19, 7-37.
- GRIFFITHS, J. S. (2004). Geomorphological mapping. En A. S. Goudie (Ed.), *Encyclopedia of Geomorphology* (pp. 427-428). Routledge.
- MARTÍN-SERRANO, Á. (2017). El Mapa Geomorfológico: una car-

- tografía geológica peculiar y útil. *Memorias Real Sociedad Española de Historia Natural*, 14, 127-153.
- MARTÍN-SERRANO, Á., SALAZAR, Á., NOZAL, F., & SUÁREZ, Á. (2004). *Mapa geomorfológico de España a escala 1:50 000. Guía para su elaboración*. Instituto Geológico y Minero de España.
- SALAZAR, Á. (2017). El Cuaternario en los mapas geológicos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(1), 5-13.
- SALAZAR RINCÓN, Á., & MARTÍN-SERRANO, Á. (1998). La cartografía geomorfológica en el Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental: Metodología. En A. Gómez Ortiz, & F. Salvador Franch (Ed.), *Investigaciones recientes de la Geomorfología Española-Aportaciones a la V Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 669-675). Servei de Gestió i Evolució del Paisatge, Universitat de Barcelona.

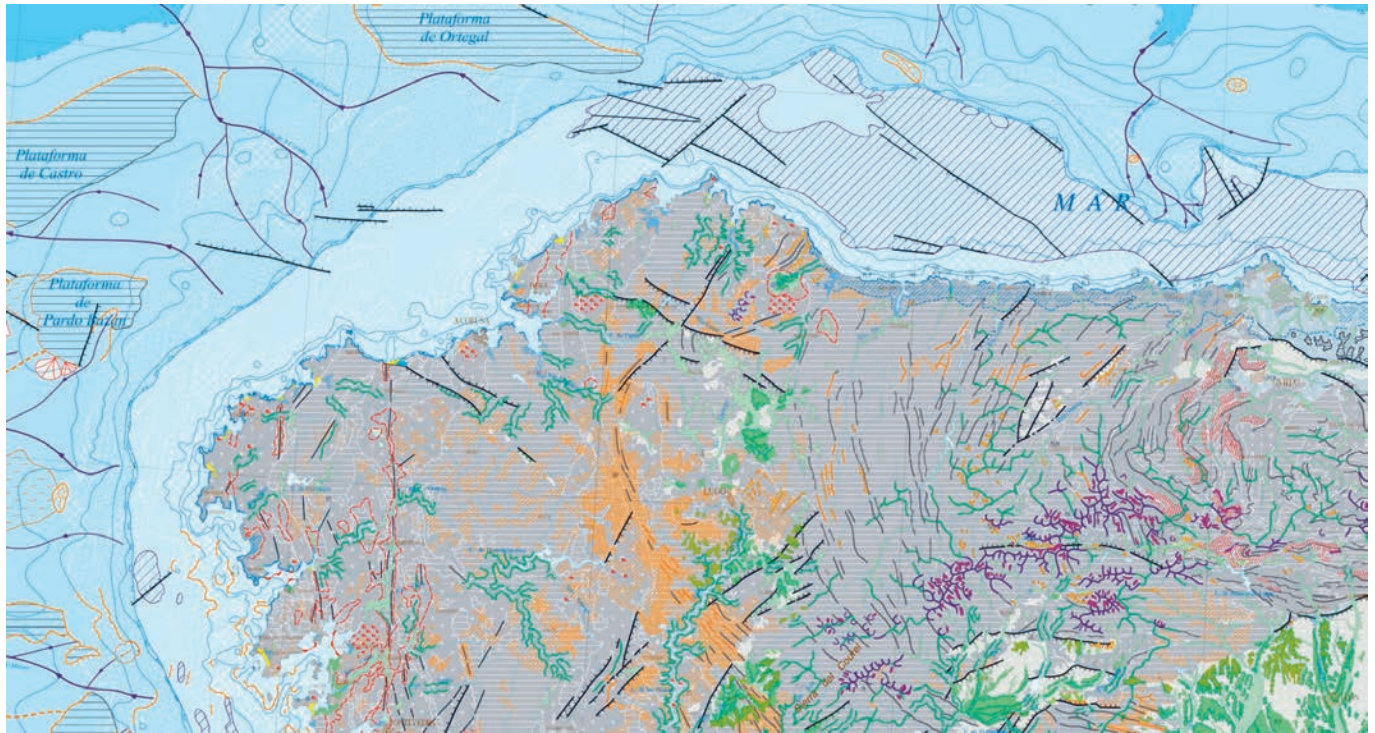


Figura 2. Detalle del Mapa geomorfológico de España y del margen continental, a escala 1:1 000 000 (autores: Á. Martín-Serrano, A. Maestro González, F. Nozal Martín, Á. Salazar Rincón y Á. Suárez Rodríguez, 2005).

8. EL MAPA
GEOLÓGICO
EN EL SIGLO XXI



Los datos que nos puede proporcionar un objeto o un dato geológico que esté situado fuera de su ubicación espacial y de su contexto geológico preciso son de una validez limitada. El mapa geológico es por ello una de las herramientas científicas de mayor utilidad en ciencias de la Tierra, y su realización y actualización periódica, en línea con el progreso del conocimiento científico y el desarrollo tecnológico, fue el origen de los institutos geológicos o *geological surveys*, y debe continuar siendo una de sus tareas principales.

Aunque desde que el hombre empezó a registrar gráficamente sus ideas elaboró croquis y mapas para indicar la ubicación de los recursos minerales, no fue hasta los inicios del siglo XIX cuando comenzó a consolidarse el mapa geológico como un documento bidimensional en el que se representaban los diferentes tipos de rocas, sus contactos y las estructuras que las afectan (Boixereu, 2016). Desde ese momento, el diseño de los mapas geológicos ha mantenido los mismos principios, y su soporte, obligatoriamente físico, suponía hasta hace pocas décadas una limitación con respecto a la información que podían ofrecer.

En el último cuarto del siglo XX, gracias a los procesos de digitalización de la información, se empezaron a desarrollar herramientas de diseño asistido por ordenador (*computer-aided design, CAD*), en principio con el objetivo

de sustituir la delineación manual clásica por la vectorización digital de los mapas geológicos, cuya mayor ventaja era la capacidad de almacenamiento de grandes volúmenes de datos y su reproductibilidad. Además de este uso, rápidamente se empezaron a desarrollar simultáneamente herramientas de explotación y gestión de la información numérica del mapa, a través de *softwares* específicos, los sistemas de información geográfica (SIG). A partir de ese momento, el mapa geológico fue sustituido por bases de datos geológicos georreferenciados, cuya expresión gráfica sería el mapa, similar al de la versión clásica. El mapa físico se transformó consecuentemente en conjuntos de datos digitales con una referencia espacial, en la que los distintos elementos representados pueden llevar asociadas tablas de atributos y características | fig. 1 |.

Estos registros digitales se revelaron como una poderosa herramienta para la solución de problemas relacionados con el medio natural. En este sentido, los avances en el tratamiento de la cartografía y de la información geológica se centraron en la creación de bases de datos cartográficas espacialmente continuas, sin límites entre hojas topográficas, con un diseño originalmente digital, como es el proyecto GEODE del IGME, iniciado en 2004 y también orientado para su difusión a través de la web mediante el

desarrollo e implantación de aplicaciones para la consulta, visualización y descarga de la cartografía e información geológica.

Esto suponía un avance importante en el acceso a la información, pero para poder extraer todo el potencial de la información geológica, indispensable para la gestión del medioambiente, es fundamental ir más allá en la gestión y explotación de la información. Por ello, en el siglo XXI el objetivo es la explotación de la información geológica más allá de su mera visualización, y pasar desde las infraestructuras de datos geocientíficos hacia las infraestructuras de conocimiento geocientífico (Robador & Mancebo, 2020). Es necesario poder gestionar la información geológica desde distintas perspectivas, lo que supone tener acceso a la información desde diferentes fuentes de datos, su comprensión universal, la integración desde distintas fuentes y temáticas, y una explotación conjunta. Para ello, la información geológica debe ser interoperable a todos los niveles. Con esta finalidad, además de las normas y estándares internacionales aplicadas a la información geográfica, como las normas ISO 19100 o las especificaciones del Open Geospatial Consortium (OGC), existen otros estándares de conceptualización de la información geológica como Geoscience Mark-up Language (GeoSciML), desarrollado por la International Union of Geological Sciences (IUGS) y la Directiva 2007/2/CE INSPIRE (DOUE, n.º 108, de 25.04.2007), de aplicación en la Unión Europea. Estos estándares implican la aplicación a la información geológica de un modelo de datos y de vocabularios normalizados (INSPIRE Thematic Working Group Geology, 2013).

Por otro lado, la información geológica no puede entenderse únicamente en un plano bidimensional. La naturaleza de los elementos geológicos, unidades cartográficas y contactos, es tridimensional, y el mapa únicamente muestra la proyección de esos objetos espaciales sobre una superficie bidimensional. Desde los inicios de la cartografía geológica, la componente tridimensional de la geología se expresó en los mapas con información auxiliar, como los cortes o secciones geológicas, pero la geometría espacial completa permanecía únicamente en la mente de los investigadores que habían elaborado la cartografía. Las ba-

ses de datos geológicas deben plasmar consecuentemente la tercera dimensión, de forma que sea transferida desde la mente de la geóloga o el geólogo que realiza el mapa a su visualización física. Desde comienzos del siglo XXI, el aumento de la potencia de cálculo de los ordenadores y el empuje de las compañías mineras y de investigación de hidrocarburos propiciaron el desarrollo de muchos *softwares* para la generación de modelos geológicos tridimensionales, integrando la información de superficie con la información geofísica del subsuelo. Esta es un área de trabajo importante y muy activa, y muchos institutos geológicos, entre los que se encuentra el IGME, han emprendido iniciativas para su desarrollo. Sin embargo, la amplia difusión de estos modelos está lastrada por la falta de estándares, la variedad de herramientas informáticas, la complejidad de sus representaciones y los requisitos de equipamiento para su visualización y tratamiento, de momento solo disponibles para los usuarios profesionales.

En la actualidad, los grandes desarrollos en curso son la integración de datos, el desarrollo de vocabularios y la explotación semántica de los contenidos. Estas actividades ocupan una parte importante de los esfuerzos del IGME y el resto de institutos geológicos nacionales y regionales europeos integrados en EuroGeoSurveys (EGS), que trabajan en la elaboración y armonización de mapas y modelos geológicos 3D como base para la toma de decisiones informada. Se avanza en la normalización, la armonización técnica y científica, la escalabilidad de la información, las diferencias de resolución, las leyendas dinámicas, las técnicas de modelización unificadas y la innovación. También generando nuevos conjuntos de datos y modelos del subsuelo de las regiones europeas, y tratando la gestión de la incertidumbre de los datos.

Su finalidad es que la información geológica básica sea la referencia esencial para la hidrogeología, los recursos minerales, los riesgos geológicos, etc., potenciando el valor de la información geológica como básica de los *knowledge system* de geociencias. Su objetivo final es el desarrollo de una plataforma europea de información geológica a través de la European Geological Data Infrastructure (EGDI) (<https://www.europe-geology.eu/>), contribuyendo al conocimien-

to del subsuelo generando un «gemelo digital de Europa». Por ello, es necesario la evolución de la información geológica disponible actualmente en los portales webs, de datos 2D, conjuntos de datos aislados y usuarios profesionales a modelados predictivos, análisis de datos al vuelo, representación 3D/4D, búsqueda y consulta de información inteligente orientada al usuario. En este nuevo contexto de desarrollo se abren nuevas líneas de investigación aplicadas a la información geológica. Una de ellas es la dirigida al desarrollo de modelos semánticos, ligado a la potencialidad de la explotación semántica de los sistemas y el desarrollo de ontologías de conocimiento de temáticas específicas.

En el futuro más próximo, la evolución de la cartografía geológica avanza hacia la automatización de la generación de mapas con herramientas de inteligencia artificial. Algunos autores han comenzado a aplicar este análisis (Kirkwood, 2022). Estos nuevos mapas se proponen como «objetivos» que resultan de la distribución continua de las

concentraciones relativas de diversos elementos químicos, frente a los mapas «subjetivos» realizados por la interpretación humana que categoriza las propiedades geológicas en entidades discretas.

El mapa geológico continúa representando una de las principales herramientas de investigación geológica en la actualidad y así lo seguirá siendo en el futuro, como lo atestigua su uso como documento de referencia para el estudio científico de los cuerpos del sistema solar como la Luna (Fortezzo *et al.*, 2020). Su accesibilidad y disponibilidad continuará aumentando con el desarrollo de las tecnologías de la información y las posibilidades de explotación de la información que contiene aumentarán con el desarrollo de modelos de datos complejos. Se podrán obtener cartografías automáticas basadas en la distribución continua de variables, pero el valor interpretativo de las geólogas y geólogos y las observaciones directas sobre el terreno no son de momento sustituibles por la inteligencia artificial.

BIBLIOGRAFÍA

BOIXEREU, E. (2016). *Evolución histórica de la cartografía geológica en España, desde sus orígenes hasta los mapas de Verneuil y Collomb (1864) y Maestre (1865)* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.

FORTEZZO, C. M., SPUDIS, P. D., & HARREL, S. L. (2020). *Release of the digital unified global geologic map of the Moon at 1:5,000,000-scale*. Paper presented at the 51st Lunar and Planetary Science Conference, Lunar and Planetary Institute, Houston, TX. <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2020/pdf/2760.pdf>

INSPIRE THEMATIC WORKING GROUP GEOLOGY. (2013). *D2.8.II.4 INSPIRE data specification on Geology-Technical guidelines*. European Commission Joint Research Centre. <https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/ge>

KIRKWOOD, C. (2022) Geological mapping in the age of artificial intelligence. *Geoscientist*, 32(3), 16-23.

ROBADOR MORENO, A., & MANCEBO MANCEBO, M. J. (2020). El mapa geológico, del papel al objeto tridimensional. *Mapping*, 29(200), 110-111.

9. UN CUARTO
DE SIGLO DE
INVESTIGACIONES
PALEOMAGNÉTICAS
EN EL IGME*



EMILIO PUEYO¹
TANIA MOCHALES¹
JUAN C. LARRASOÑA¹
RUTH SOTO¹
PABLO CALVÍN¹
ESTHER IZQUIERDO LLAVALL¹
PABLO SIERRA CAMPOS¹
BET BEAMUD²
MANUEL J. MONTES¹

¹ Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC

² Paleomagnetic Laboratory, CCIUB-Geo3Bcn, CSIC

El paleomagnetismo es la disciplina de las ciencias de la Tierra que se ocupa del estudio del campo magnético terrestre (CMT) registrado en las rocas, sedimentos y materiales arqueológicos en el momento de su formación o en procesos posteriores. También se ocupa del estudio de las propiedades magnéticas y de las condiciones ambientales que determinan el tipo, concentración y tamaño de partícula de los minerales ricos en hierro que registran el CMT, ya sean estos de origen natural o antrópico.

* Proyectos PID2019-104693GB-I00 (UKRIA4D) y PID2020-114273GB-C22/ (IMAGYN) AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE del Ministerio de Ciencia e Innovación. Este trabajo está dedicado a Antonio Barnolas, que supo visualizar el potencial del paleomagnetismo en el IGME desde la extinta Área de Estudios Geológicos. Agradecimiento a todas las personas que han participado activamente en proyectos de paleomagnetismo del IGME: Inma Gil Peña, Adriana Rodríguez Pintó, M.^a José Ramón, Belén Oliva Urcia, Gelu López, Carlota Oliván, Eliseo Tesón, Manoel Valcárcel, Oier Suarez, Galo San Miguel, Violeta Borruel, Pablo Santolaria, Héctor Gil Garbi, Manuel Porquet, Oscar Pueyo Anchueta, Elisa Sánchez Moreno, Cristina G.^a Lasanta, Roi Silva, Ana Simón Muza.

APLICACIONES DEL PALEOMAGNETISMO

1. Dataciones de series sedimentarias (magnetoestratigrafía) gracias al carácter global de los cambios de polaridad del CMT. Los cambios más recientes y sutiles permiten datar también materiales arqueológicos (arqueomagnetismo), terrazas cuaternarias o depósitos kársticos.
2. Reconstrucción de la evolución espacial de las placas tectónicas, cinturones orogénicos y zonas deformadas por comparación con las direcciones paleomagnéticas esperables.
3. Estudio de la orientación preferente mineral (petrofábrica) por medio de la anisotropía de la susceptibilidad magnética (ASM) u otros parámetros magnéticos (remanencias diversas).
4. Reconstrucciones ambientales indirectas, rápidas y no destructivas de las condiciones físico-químicas del medio sedimentario (procesos de erosión, transporte, sedimentación, contexto climático, y diagénesis).

El paleomagnetismo se empieza a desarrollar en España en la década de los ochenta, con la creación de los laboratorios de la Estación Volcanológica de Canarias, de la Universidad Complutense de Madrid y el del antiguo Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera del CSIC (hoy Geociencias Barcelona). Tras una espectacular expansión, a finales de los noventa ya había ocho grupos activos (cinco laboratorios de paleomagnetismo y tres de fábricas magnéticas). En el marco de la red de excelencia MAGIBER-II, que lideró el IGME entre 2018-2020, se contabilizan ya diez grupos (cinco de ellos con magnetómetros superconductores SQUID) que aglutinaban a más de noventa personas ubicadas en diferentes universidades y centros de investigación del país. Coincidiendo con la creación de la Comisión de Paleomagnetismo de la Sociedad Geológica de España a principios de siglo XXI, en el IGME y de la mano de Antonio Barnolas, jefe del Área de Estudios Geológicos | fig. 1 |, se programan los primeros estudios de paleomagnetismo para el proyecto del Plan Nacional de la Cuenca de los Pedroches, que dirigen Vicente Gabaldón y Cecilio Quesada. En paralelo, el IGME se involucra en la Red Transpirenaica Geokin3DPyr del programa europeo INTERREG IIIA, en la que el paleomagnetismo era pieza nuclear. En este periodo (2002), también se comienzan los primeros trabajos magnetoestratigráficos financiados por el IGME en el yacimiento de Fonelas (Arribas *et al.*, 2008).

La incorporación de personal especialista representó un salto significativo para el desarrollo del paleomagnetismo en el IGME: en 2005 fue un contrato del Programa Ramón y Cajal y, posteriormente en 2009, dos científicos titulares más. Esta coyuntura permitió iniciar numerosas actividades de investigación propias que se financiaron con proyectos del Plan Nacional centrados en el área pirenaica y cuenca del Ebro (proyectos Pmag3DRest entre 2007 y 2012), a los que han seguido muchos otros hasta la actualidad (KINESAL, DR3AM, DONAIRE, GeoPiri3D, UKRIA4D, IMAGYN, BARCLIM). Estos proyectos de investigación, así como los contratos predoctorales del programa del IGME o de proyectos del Plan Nacional asociados, han permitido la realización de numerosas tesis doctorales dentro del IGME (Mochales, 2011; Ramón, 2013; Valcárcel, 2015; Sie-



Figura 1. Antonio Barnolas (IGME) y Eliseo Tesón (UAB) acarreado el material de perforación en el perfil de Hadida (borde norte de la cuenca de Ouarzazate, Marruecos; Tesón *et al.*, 2010).

rra-Campos, en curso) o codirigidas con las universidades de Zaragoza, Barcelona y País Vasco (Rodríguez-Pintó, 2013; Santolaria, 2015; Gil-Garbi, 2017; Suárez-Hernando, 2017; Simón-Muzás, en curso) (ver referencias en <https://www.igme.es/zaragoza/>). Más allá de la zona pirenaica, se han desarrollado numerosos trabajos de investigación en colaboración principalmente con los laboratorios de paleomagnetismo de Barcelona (CCiTUB-Geo3Bcn, CSIC) y de la Universidad de Burgos en las cuencas del Duero y Tajo (Montes *et al.*, 2006), la Antártida (Oliva-Urcia *et al.*, 2016; Montes *et al.*, 2019), Marruecos (Tesón *et al.*, 2010), etc., o con otras instituciones internacionales (por ejem-

plo, Symons *et al.*, 2017, entre otros muchos trabajos). Por otro lado, no se ha desatendido la faceta petrofísica de los estudios paleomagnéticos (magnetización natural, susceptibilidad magnética y densidad) por su alto valor añadido en la modelización de datos geofísicos de campos potenciales (magnetismo y gravimetría). En este sentido, desde el IGME | fig. 2 (véanse infra pp. 160-161) | se han desarrollado varias bases de datos del NE peninsular que incluyen datos de ASM y de paleomagnetismo (remanencia) (Porquet *et al.*, 2017 y referencias citadas).

En el momento de redactar este capítulo, el personal investigador del IGME especialista en paleomagnetismo (cinco funcionarias y dos contratados) se aglutina en la Unidad de Zaragoza y conforma un grupo oficioso que se encuentra entre los más numerosos y productivos a nivel nacional de la especialidad. Desde el IGME se ha contribuido a la adquisición, procesado e interpretación de más

de 1500 puntos paleomagnéticos y más de 30 km de series magnetoestratigráficas. Merece la pena destacar la edición de volúmenes especiales en editoriales internacionales, como *Frontiers in Earth Sciences* (Liu *et al.*, 2016), la *Geological Society of London* (Pueyo *et al.*, 2016) o Springer (Calvín *et al.*, 2023), así como otros volúmenes dedicados a la divulgación y enseñanza de las ciencias de la Tierra (Soto, 2016) o los cerca de 150 artículos indexados en el SCI realizados durante los últimos años en colaboración con universidades y centros de investigación de los cinco continentes. El contexto actual, favorable para la creación de laboratorios intercentros o conexiones científicas tanto a nivel nacional (CSIC) como europeo (EPOS), puede suponer un salto adelante para el grupo gracias a la mayor facilidad de acceso a equipamientos singulares e, incluso, a la consolidación del equipo como un grupo de investigación formal dentro del IGME.

BIBLIOGRAFÍA

- ARRIBAS, A., GARRIDO, G., VISERAS, C., SORIA, J. M., SOLANO, J. G., HERNÁNDEZ, R., BAEZA, E., DURÁN, J. J., LAPLANA, C., PLA, S., CARRIÓN, J. S., CARROZA, J. A., LORENZO, C., LOZANO, R. P., DÍEZ, J. C., NAVAZO, M., TERRADILLOS, M., ALONSO, R., FERNÁNDEZ, S., ... LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (2008). Investigación paleontológica y estratigráfica de la Formación Guadix entre los años 2001 y 2007: Fonelas P-1 y el Proyecto Fonelas. En A. Arribas (Ed.), *Vertebrados del Plioceno superior en el suroeste de Europa: Fonelas P-1 y el Proyecto Fonelas* (pp. 21-54). Instituto Geológico y Minero de España.
- CALVÍN, P., CASAS-SAINZ, A. M., ROMÁN-BERDIEL, T., & VILLALAIN, J. J. (Eds.). (2023). *Tectonic evolution of the Moroccan High Atlas: A paleomagnetic perspective*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-16693-8>
- LIU, Q., LARRASOÑA, J. C., & ROBERTS, A. (2016). *Rock and environmental magnetism: New techniques and applications*. *Frontiers in Earth Sciences*.
- MONTES, M., BEAMUD, B., GARCÉS, M., & CALVO SORANDO, J. P. (2006). Magnetoestratigrafía de las Unidades Inferior e Intermedia del Mioceno de la Cuenca de Madrid. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 19(3-4), 281-298.
- MONTES, M., BEAMUD, E., NOZAL, F., & SANTILLANA, S. (2019). Late Maastrichtian-Paleocene chronostratigraphy from Seymour Island (James Ross Basin, Antarctic Peninsula). Eustatic controls of sedimentation. *Advances in Polar Science*, 30(3), 303-327. <https://doi.org/10.13679/j.advps.2018.0045>
- OLIVA-URCIA, B., GIL-PEÑA, I., MAESTRO, A., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., GALINDO-ZALDÍVAR, J., SOTO, R., GIL-IMAZ, A., REY, J., & PUEYO, O. (2016). Paleomagnetism from Deception Island (South Shetlands archipelago, Antarctica). New insights into the interpretation of the volcanic evolution using a geomagnetic model. *International Journal of Earth Sciences*, 105(5), 1353-1370. <https://doi.org/10.1007/s00531-015-1254-3>
- PORQUET, M., PUEYO, E. L., ROMÁN-BERDIEL, T., OLIVIER, P., LONGARES, L. A., CUEVAS, J., RAMAJO, J., THE GEOKIN3DPYR WORKING GROUP BY ALPHABETICAL ORDER, ANTOLÍN, B., ARANGUREN, A., AURÉJAC, J. B., BOUCHEZ, J.-L., CASAS, A. M., DENÈLE, Y., GLEIZES, G., HILARIO, A., IZQUIERDO-LLAVALL, E., LEBLANC, D., OLIVA-URCIA, B., ... VEGAS, N. (2017). Anisotropy of magnetic susceptibility of the Pyrenean granites. *Journal of Maps*, 13(2), 438-448. <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1302364>
- PUEYO, E. L., SUSSMAN, A. J., OLIVA-URCIA, B., & CIFELLI, F. (2016). Palaeomagnetism in fold and thrust belts: Use with caution. *Geological Society, London, Special Publications*, 425(1), 259-276. <https://doi.org/10.1144/SP425>
- SOTO, R. (Coord.). (2016). *Magnetismo terrestre [Número especial]. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(3).
- SYMONS, D. T., KAWASAKI, K., TORNOS, F., VELASCO, F., & ROSALES, I. (2017). Temporal constraints on genesis of the Caravia-Berbes fluoroite deposits of Asturias, Spain, from paleomagnetism. *Ore Geology Reviews*, 80, 754-766. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.08.020>
- TESÓN, E., PUEYO, E. L., TEIXELL, A., BARNOLAS, A., AGUSTÍ, J., & FURIÓ, M. (2010). Magnetostratigraphy of the Ouazazate basin: Implications for the timing of deformation and mountain building in the High Atlas Mountains of Morocco. *Geodinamica Acta*, 23(4), 151-165. <https://doi.org/10.3166/ga.23.151-165>

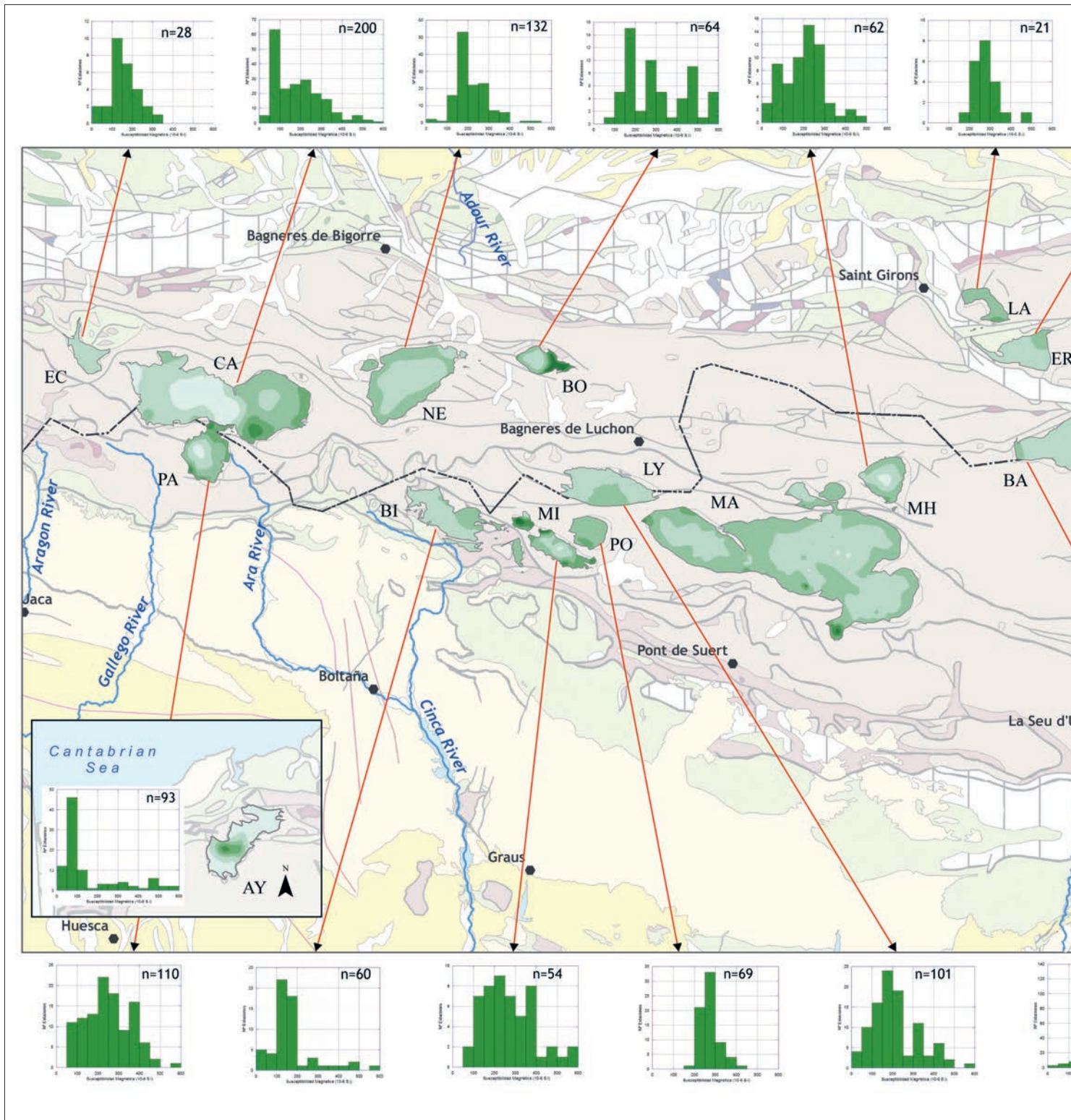
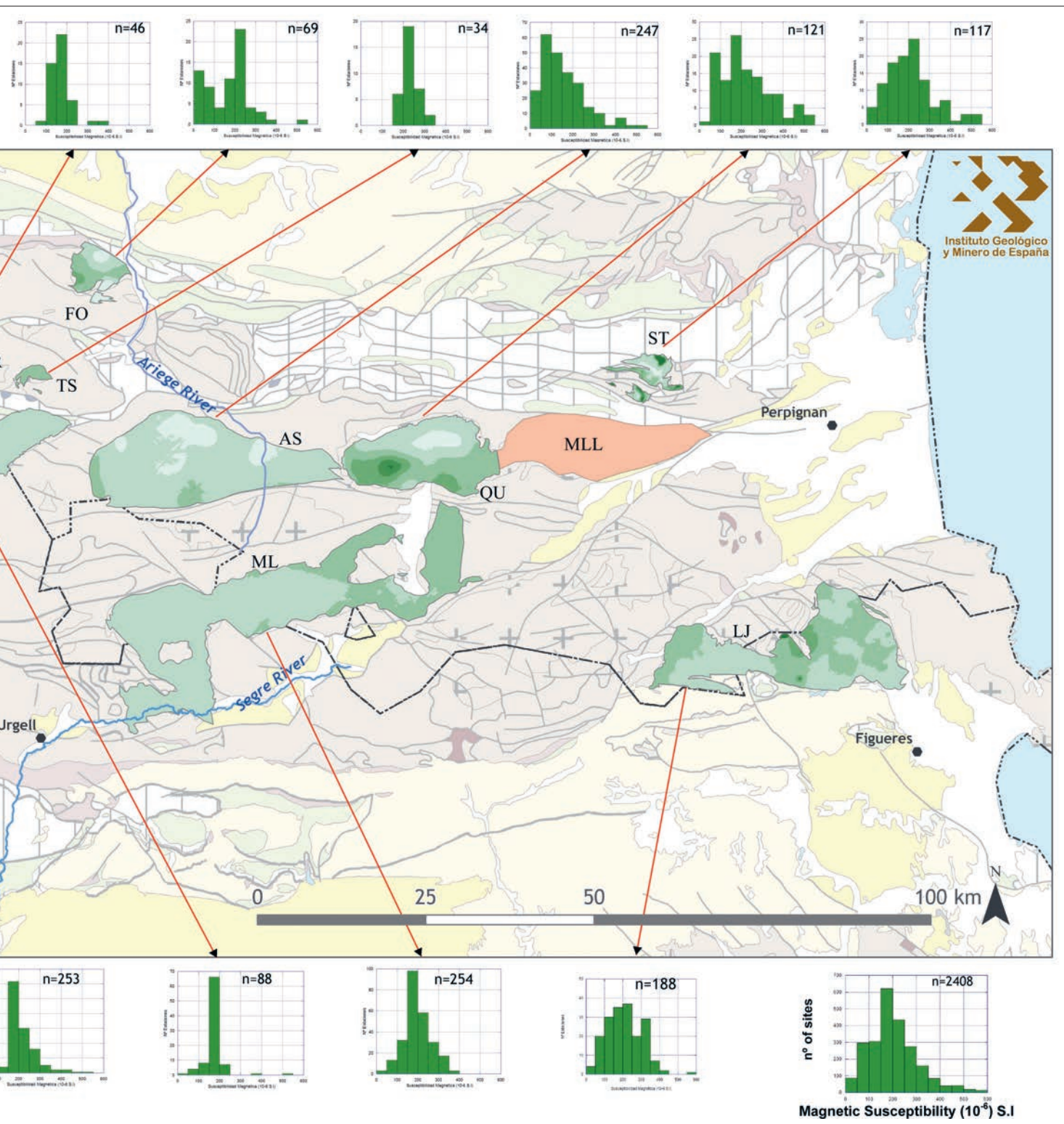


Figura 2. Base de datos y mapa de susceptibilidad magnética (en 10^{-6} S. I.) que sintetizan más de 10 000 medidas de ASM (>2400 estaciones) provenientes de los granitos Pirenaicos (Porquet *et al.*, 2017).



10. UNA MIRADA
AL FUTURO
DE LA
PALEONTOLOGÍA



La paleontología ha contribuido de manera decisiva a responder algunas de las cuestiones más relevantes de las ciencias de la Tierra. Muchos paradigmas que hoy damos por ciertos, como los cambios significativos de la atmósfera, la deriva de los continentes o la evolución de los seres vivos y sus eventos de extinción en masa, están en parte fundamentados en estudios paleontológicos. Una de las grandes capacidades de la paleontología como ciencia es quizá la de poder asombrar y producir un hondo interés en un amplio rango de personas, incluidos a los más pequeños. La paleontología es una ciencia histórica en el ámbito de la ciencia básica, pero con un gran componente empírico que la sitúa en un lugar particular y destacado respecto a otras ciencias más teóricas y experimentales. Todavía hoy los paleontólogos realizamos expediciones a lugares remotos, para excavar y estudiar zonas inexploradas, y rebuscamos en los cajones de museos centenarios, con el fin de documentar y entender la enorme biodiversidad que habitó nuestro planeta en el pasado, y así ayudar a explicar la variedad de especies actual. Sin embargo, la paleontología no debe verse como una actividad investigadora romántica y vetusta, algo que suele estar en el imaginario colectivo. El importantísimo avance de la informática, ligado a un mundo cada vez más globalizado y comunicado, está permitien-

do obtener datos muy significativos e insospechados del pasado. En este trabajo analizamos algunos de estos avances, muchos vividos en primera persona durante nuestra actividad investigadora en el IGME, y damos algunas nociones de hacia dónde se dirige la paleontología.

LA REVOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE VISUALIZACIÓN

Uno de los avances recientes y más significativos en paleontología ha sido la obtención de modelos virtuales de fósiles a través de técnicas como el escáner CT o el sincrotrón, lo que permite modelizar en 3D animales extintos hace millones de años. Esto ha supuesto un avance enorme en la sistemática paleontológica, ya que ha permitido estudiar con un detalle sin precedentes organismos fosilizados y algunas de sus estructuras que antes estaban ocultas. Ejemplos notables se encuentran en el estudio de insectos y otros artrópodos en muestras de ámbar (Peñalver *et al.*, 2018) | fig. 1A |, anatomía interna del sistema circulatorio en equinodermos extintos (Saulsbury & Zamora, 2020) | fig. 1B |, el interior de los cráneos de numerosos vertebrados o los primeros embriones en el registro fósil. Más allá de la anatomía, los

paleontólogos hemos conseguido utilizar estas herramientas para poder entender mejor el modo de vida de animales que no tienen análogos actuales. Por ejemplo, hemos sometido estos modelos a programas de dinámica de fluidos para entender cómo se alimentaban los primeros equinodermos (Rahman *et al.*, 2020) | fig. 1C |. El futuro de estas técnicas será, sin duda, incluso el de crear robots inspirados en el diseño paleontológico basados en la ingente información morfológica que proporcionan los fósiles.

GENES, MOLÉCULAS Y FÓSILES

El avance de la biología molecular, unido a la capacidad de las nuevas computadoras, ha permitido secuenciar y analizar los genes de muchos organismos. Esto ha facilitado la propuesta de nuevas hipótesis sobre la relación de parentesco evolutivo de casi todos los organismos. Obviamente, este gran avance se nutre de datos genéticos aportados por muestras de organismos actuales, ya que los fósiles no conservan material genético. Sin embargo, numerosos estudios indican que la biodiversidad actual no alcanza ni el 1 % de la que ha existido desde que apareció la vida en nuestro planeta. Para tener una visión completa de la evolución de la vida en la Tierra necesitamos entender y situar los fósiles en el centro de las hipótesis evolutivas. Numerosos trabajos recientes combinan datos de genes y de morfología (incluyendo especies extintas).

Ciertas moléculas orgánicas son muy inestables y su conservación en las rocas poco frecuente, incluso los productos característicos de su degradación se vuelven indetectables. Desde el IGME se ha colaborado en diversas investigaciones para conocer mejor este aspecto, por ejemplo, respecto del ADN conservado en resina y, por extensión, en copal y ámbar (Peris *et al.*, 2020). La combinación de los datos de diferentes tipos de análisis puede resolver

algunos misterios en cuanto a la conservación excepcional de ciertas sustancias orgánicas; esto fue así en una investigación liderada desde el IGME por Rafael Lozano, quien determinó un abundante y generalizado registro de savia del floema en ámbar del Cretácico. También desde el IGME se ha investigado sobre los procesos evolutivos en equinodermos que han conducido a su enorme diversidad actual, generando filogenias basadas en datos morfológicos de equinodermos primitivos (Zamora *et al.*, 2020).

HACIA DÓNDE VAMOS

Gracias a la ciencia, hoy sabemos que estamos ante un escenario sin precedentes en la historia de la vida. La emergencia climática debida al incremento de gases de efecto invernadero, junto con la deforestación y la contaminación de las aguas, entre otras causas antrópicas, está acelerando la pérdida de biodiversidad de una forma que solo tiene precedente en las cinco grandes extinciones en masa. Los paleontólogos ya han determinado con cierto detalle esas cinco extinciones previas y están mostrando cómo la biosfera se recuperó de tales perturbaciones y el largo tiempo implicado en cada recuperación. En el Museo Geominero se estableció un nutrido equipo multidisciplinar de paleontólogos que han abordado estas investigaciones punteras, por ejemplo, mostrando cómo la resina con pocos cientos de años y el copal pueden considerarse archivos de la pérdida de fauna principalmente por la actividad humana en algunas regiones (Solórzano-Kraemer *et al.*, 2022). La paleontología quizá deba avanzar hacia el uso del potencial de la inteligencia artificial en el análisis de *big data*, para dar respuesta a ciertas preguntas acuciantes, y que las nuevas generaciones tengan mayor información sobre los retos que se presentan debido a la alteración crítica de la biosfera.

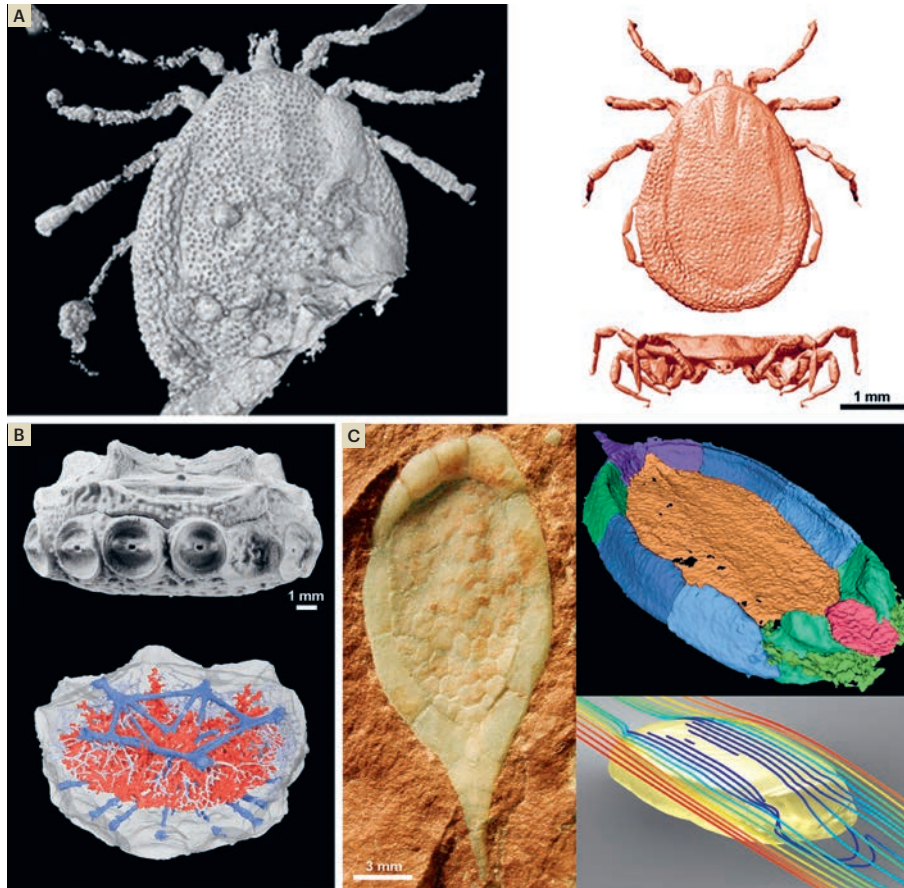
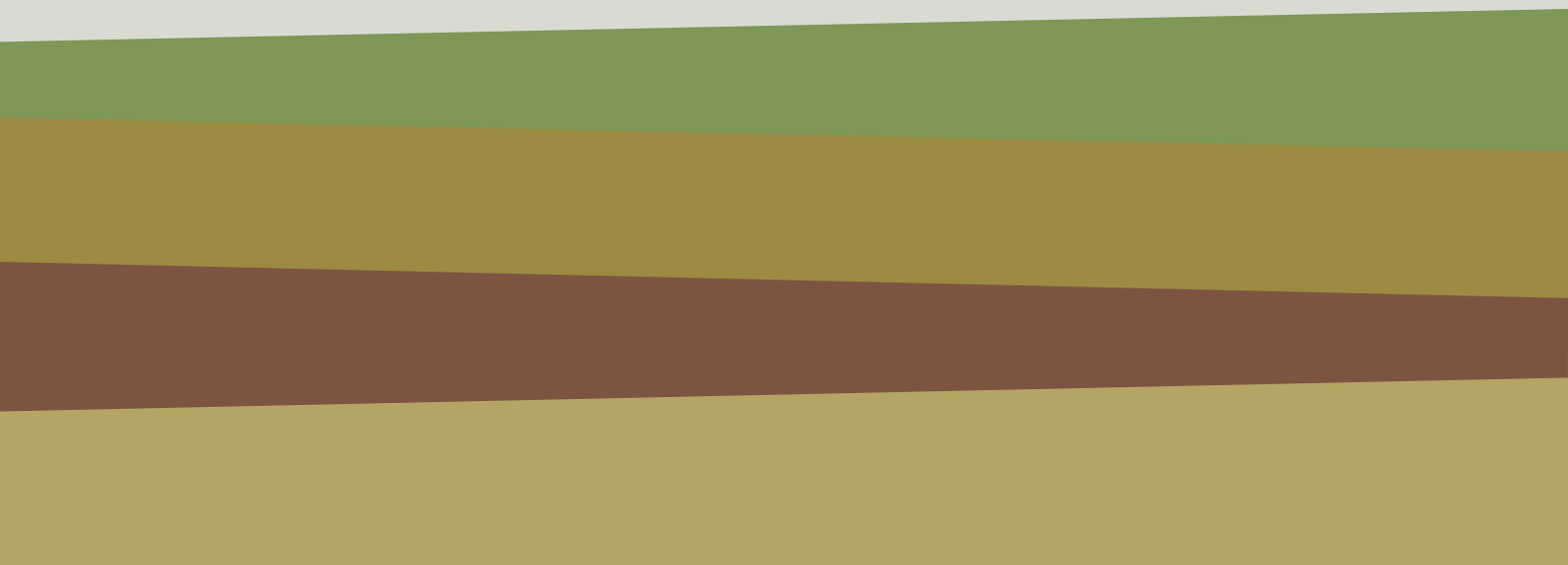


Figura 1. A) Garrapata cretácica de la especie *Deinocroton draculi* digitalizada con un CT-scan y modelo 3D obtenido a partir de varios ejemplares (Peñalver *et al.*, 2018). B) Morfología externa y anatomía interna del sistema nervioso y circulatorio del crinoideo cretácico *Decameros ricordeanus* (Saulsbury & Zamora, 2020). C) Equinodermo extinto del Cámbrico *Protocinctus mansillaensis* sometido a dinámica de fluidos para entender su modo de alimentación (Rahman *et al.*, 2020). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

BIBLIOGRAFÍA

- PEÑALVER, E., ARILLO, A., DELCLÒS, X., PERIS, D., GRIMALDI, D. A., ANDERSON, S. R., NASCIBENE, P. C., & PÉREZ-DE LA FUENTE, R. (2017). Ticks parasitised feathered dinosaurs as revealed by Cretaceous amber assemblages. *Nature Communications*, 8, 1924, 13 pp. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01550-z>
- PERIS, D., JANSSEN, K., BARTHEL, H. J., BIERBAUM, G., DELCLÒS, X., PEÑALVER, E., SOLÓRZANO-KRAEMER, M. M., JORDAL, B.H. & RUST, J. (2020). DNA from resin-embedded organisms: past, present and future. *PLoS ONE*, 15(9), e0239521. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239521>
- RAHMAN, I. A., O'SHEA, J., LAUTENSCHLAGER, S., & ZAMORA, S. (2020). Potential evolutionary trade-off between feeding and stability in Cambrian Cinctan echinoderms. *Palaeontology*, 63(5), 689-701. <https://doi.org/10.1111/pala.12495>
- SAULSBURY, J., & ZAMORA, S. (2020). The nervous and circulatory systems of a Cretaceous crinoid: Preservation, Paleobiology, and evolutionary significance. *Palaeontology*, 63(2), 243-253. <https://doi.org/10.1111/pala.12452>
- SOLÓRZANO-KRAEMER, M. M., KUNZ, R., HAMMEL, J. U., PEÑALVER, E., DELCLÒS, X., & ENGEL, M. S. (2022). Stingless bees (Hymenoptera: Apidae) in Holocene copal and defaunation resin from eastern Africa indicate recent biodiversity change. *The Holocene*, 2022: 19 pp. <https://doi.org/10.1177/09596836221074035>
- ZAMORA, S., WRIGHT, D. F., MOOI, R., LEFEBVRE, B., GUENSBURG, T. E., GORZELAK, P., DAVID, B., SUMRALL, C. D., COLE, S. R., HUNTER, A. W., SPRINKLE, J., THOMPSON, J. R., EWING, T. A. M., FATKA, O., NARDIN, E., REICH, M., NOHEJLOVÁ, M., & RAHMAN, I. A. (2020). Re-evaluating the phylogenetic position of the enigmatic early Cambrian deuterostome Yanjiahella. *Nature Communications*, 11(1), 1286. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14920-x>

11. DESARROLLO
Y APLICACIÓN
DE LA MODELIZACIÓN
GEOLOGICA 3D
EN EL IGME



El Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), en el desarrollo cotidiano de sus tareas técnicas y de investigación en el territorio, necesita caracterizar la geología del subsuelo. Los modelos geológicos digitales, tecnología desarrollada durante los años noventa, permiten representar la geometría de las unidades litoestratigráficas y sus propiedades físicas en las tres dimensiones del espacio y visualizarlas de manera realista y continua. Esto ha favorecido que el uso de esta tecnología se haya extendido progresivamente a otras disciplinas de las ciencias de la Tierra como la caracterización de recursos naturales, el almacenamiento geológico o la identificación de riesgos geológicos. El incremento de la capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos, así como el desarrollo y evolución de los *softwares*, tanto comercial como de código abierto, ha favorecido la construcción de modelos geológicos 3D cada vez más robustos y eficientes.

En las últimas décadas, el IGME, dentro de sus tareas como organismo público de investigación, ha evolucionado hacia la incorporación de modelos 3D en numerosos trabajos tanto técnicos como científicos (Ayala *et al.*, 2021). En la | fig. 1 | se representan los modelos geológicos 3D rea-

lizados y en desarrollo en el IGME hasta la fecha. Es necesario destacar diversos planes y proyectos que impulsaron y promovieron a nivel institucional la utilización de estas herramientas en el IGME. En primer lugar, el «Plan de selección de estructuras favorables para el almacenamiento geológico de CO₂ en España» (ALGECO2) (IGME, 2010) permitió modelizar numerosas estructuras con el objetivo de estimar su volumen de almacenamiento. Otros proyectos que merecen ser destacados son HIDROPROAL (Pedrera *et al.*, 2014), en el que se cuantificaron las reservas de agua subterránea en acuíferos de Alicante, y PROMINE, que promovió la modelización de varios yacimientos de sulfuros en la zona Sudportuguesa y Ossa Morena del Macizo Ibérico. Por otra parte, el proyecto europeo GEOERA permitió desarrollar un flujo de trabajo basado en la integración de datos geológicos diversos, elaborando un modelo 3D en el Pirineo occidental. En la actualidad, se desarrollan nuevos proyectos para almacenamiento de CO₂ o H₂, como PILOT en la cuenca del Ebro, UNDERGY en estructuras de Pirineos, cordillera Bética y cuenca del Guadalquivir y SEASTORAGE en las plataformas continentales de la península.

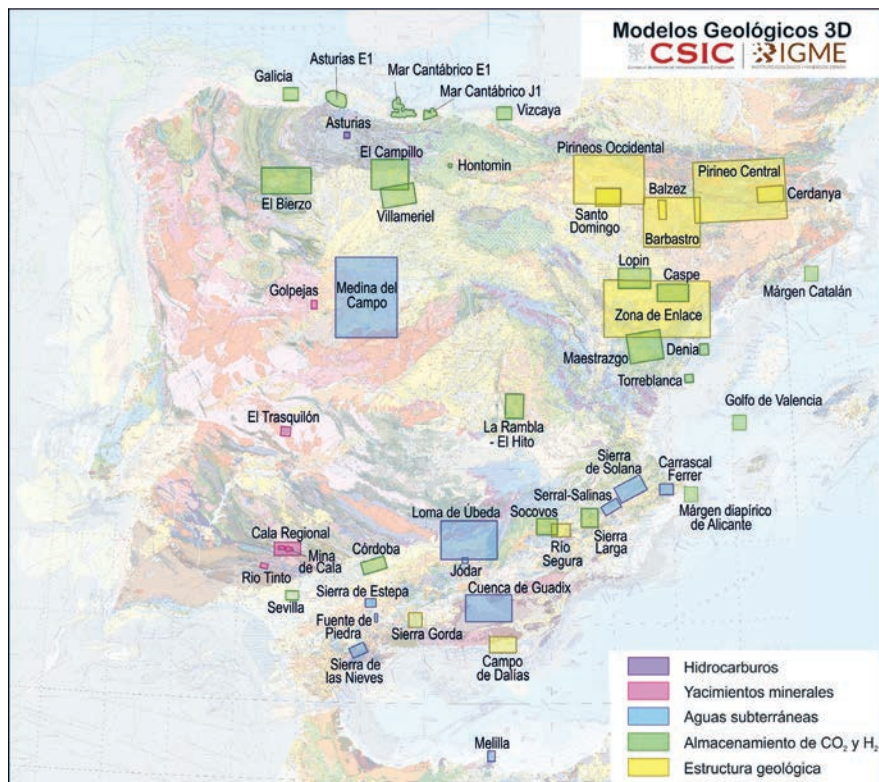


Figura 1. Modelos geológicos 3D elaborados por el IGME en España hasta la fecha y objetivo de investigación con el que fueron desarrollados.

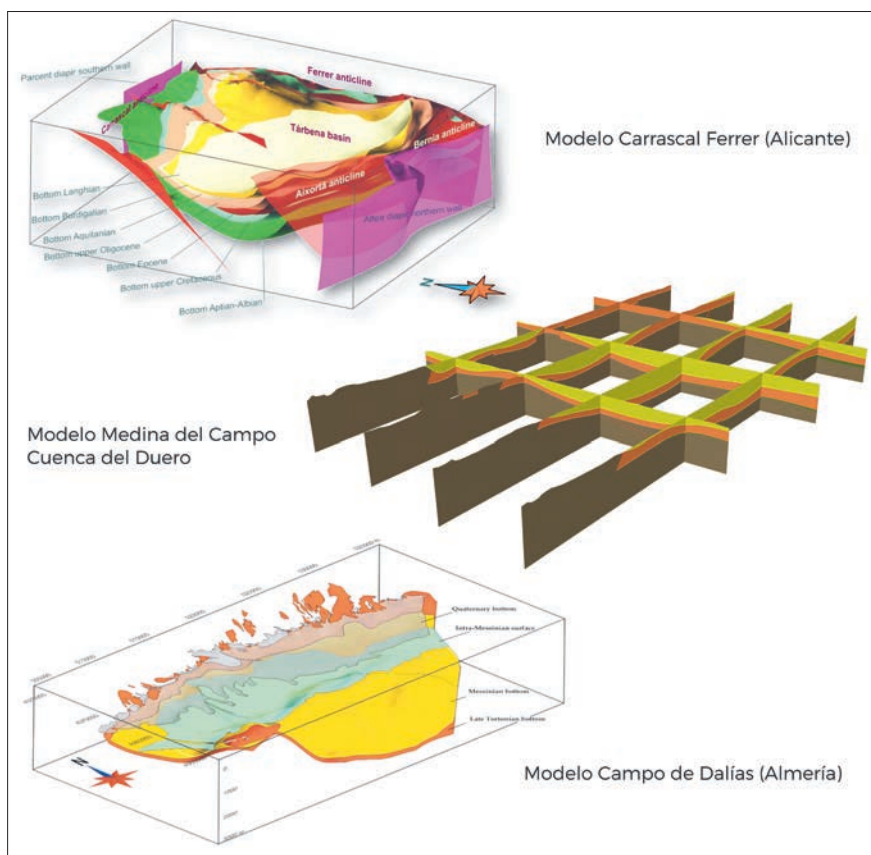


Figura 2. Ejemplos de modelos geológicos 3D realizados en el IGME.

INTEGRACIÓN DE DATOS DEL SUBSUELO Y SUPERFICIE

La realización de un modelo geológico 3D detallado y realista se basa en la combinación de datos de superficie (estructurales, estratigráficos y cartográficos), junto con datos de subsuelo procedentes de la perforación de sondeos (diagramas, columnas litológicas) y datos geofísicos adquiridos desde la superficie (perfiles sísmicos, gravimetría, métodos eléctricos, magnéticos, etc.). La variada información que integran hace imprescindible que los equipos de trabajo sean multidisciplinares, formados por profesionales especialistas en geología estructural, estratigrafía, hidrogeología, geofísica, ingeniería, etc. Otro aspecto importante es la disponibilidad y capacidad de obtención de estos datos, cuyo coste económico y temporal es muy elevado y excede la duración de proyectos individuales. Gracias a la existencia del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) existen datos geológicos de superficie con una cobertura homogénea y disponibles en línea. La información de subsuelo tiene una distribución más heterogénea, sin embargo, el IGME ha dedicado grandes esfuerzos y recursos a almacenarla y clasificarla de manera digital (<http://info.igme.es>). Entre estas bases de datos es necesario destacar el Sistema de Información Geofísica (SIGEOF), la base de datos de Puntos de Agua, la base de datos de sondeos de la Litoteca, la base de datos de Hidrocarburos (SIH) o el Sistema de Información Documental (SID).

La integración de estos datos de superficie y subsuelo en cortes geológicos permite interpretar con precisión la estructura de una región, identificar las diferentes unida-

des estratigráficas y sus relaciones espaciales (Ramos *et al.*, 2022). Para validar las interpretaciones en las diferentes secciones transversales que posteriormente integrarán el modelo 3D, se restituye la deformación y se reconstruye la geometría original de las formaciones geológicas.

CONCLUSIONES

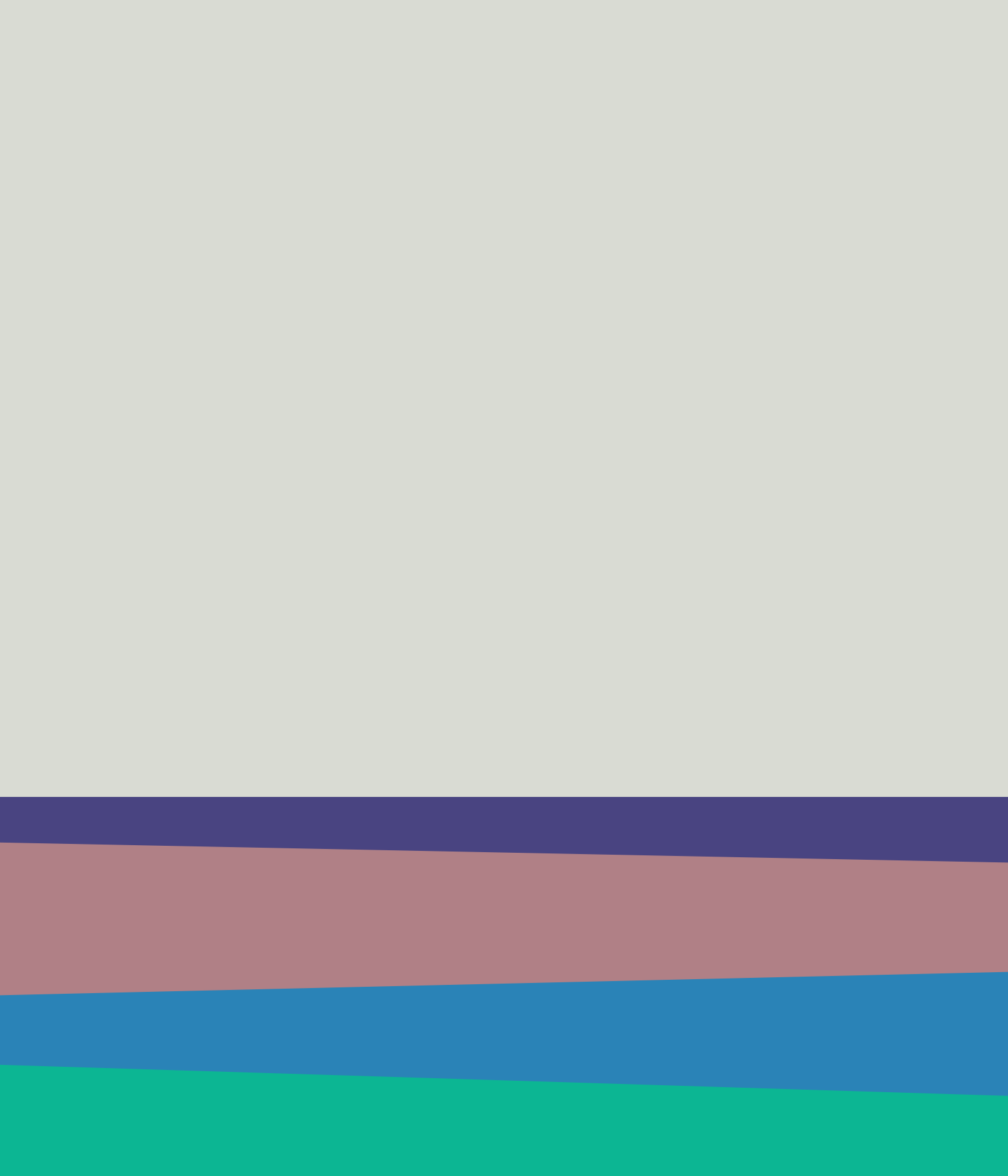
El IGME, en el desarrollo de sus actividades, ha incorporado modelos geológicos 3D en sus proyectos. En las dos últimas décadas, equipos multidisciplinares de personal técnico y científico han adquirido una amplia experiencia en modelización geológica 3D a través del desarrollo de diferentes planes y proyectos relacionados con almacenamiento geológico, hidrogeología, minería y estudios estructurales a diferentes escalas.

La necesidad de una coherencia estructural y fiabilidad de los modelos hace imprescindible la integración de información geológica de superficie y de subsuelo. La construcción de cortes geológicos balanceados es vital para obtener resultados válidos y fiables.

La modelización geológica 3D en el IGME tiene un futuro prometedor. Cada vez más áreas del territorio están cubiertas por un modelo geológico 3D | fig. 2 |. Para ello es necesario continuar con la formación de técnicos e investigadores en estas herramientas. Por otro lado, será necesario armonizar y estandarizar los conjuntos de datos y modelos para que estén disponibles al público a nivel nacional y europeo.

BIBLIOGRAFÍA

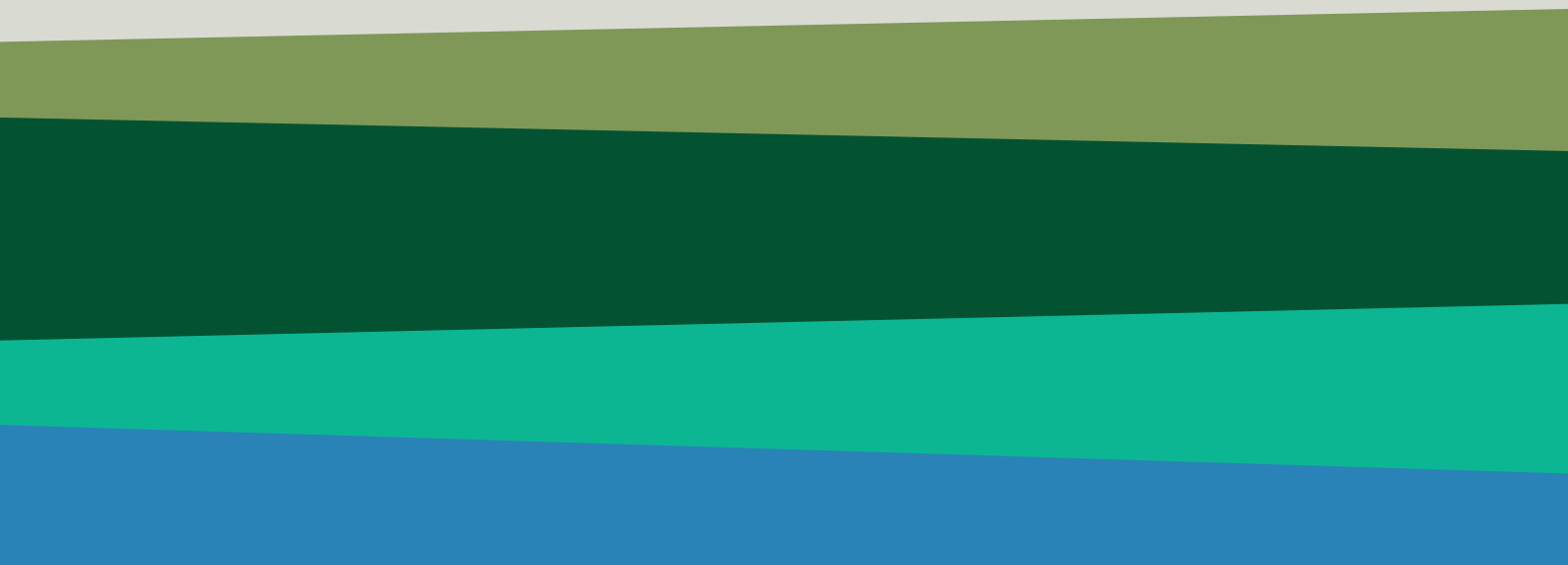
- AYALA, C., GARCÍA CRESPO, J., GARCÍA-SENZ, J., MARÍN, C., GUARDIOLA-ALBERT, C., PUEYO, E., MEDIATO, J., MAESTRO, A., CLARIANA, P., BENJUMEA, B., BERNAT, M., BOHOYO, F., DRUET, M., MARTÍN-ALFAGEME, S., PEDRERA, A., PEROPADRE, C., REY-MORAL, C., RUBIO, F., RUIZ-CONSTAN, A., ... IZQUIERDO-LLAVALL, E. (2021, diciembre 22). Towards 3D databases and harmonized 3D models at IGME-CSIC. *Earth and Space Science Open Archive*. <https://doi.org/10.1002/essoar.10509793.1>
- IGME. (2010). *Plan de selección y caracterización de áreas y estructuras favorables para el almacenamiento geológico de CO₂ en España* (Informe interno IGME 64055). https://www.igme.es/sistemas_infor/Sid.htm
- PEDRERA, A., MARÍN-LECHADO, C., GALINDO-ZALDÍVAR, J., & GARCÍA-LOBÓN, J. L. (2014). Control of preexisting faults and near-surface diapirs on geometry and kinematics of fold-and-thrust belts (internal Prebetic, Eastern Betic Cordillera). *Journal of Geodynamics*, 77, pp. 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2013.09.007>
- RAMOS, A., GARCÍA-SENZ, J., PEDRERA, A., AYALA, C., RUBIO, F., PEROPADRE, C., & MEDIATO, J. F. (2022). Salt control on the kinematic evolution of the Southern Basque-Cantabrian Basin and its underground storage systems (Northern Spain). *Tectonophysics*, 822, 229-178. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229178>



LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS



1. LA
HIDROGEOLOGÍA
DURANTE EL
PRIMER TERCIO
DEL SIGLO XX



El momento del cambio del siglo XIX al XX fue crucial para el nacimiento de la hidrogeología como ciencia. Una vez sentadas las bases del conocimiento geológico a lo largo del siglo XIX, los desarrollos de la hidráulica y la consolidación empírica del ciclo del agua dieron lugar, sobre todo en Estados Unidos, a los primeros trabajos realmente científicos sobre las aguas subterráneas, desde una perspectiva hidrogeológica moderna. El primer tercio del siglo XX fue el periodo de consolidación, en el contexto internacional, de la mayor parte de los pilares fundamentales de la hidrogeología científica.

En España ocurre lo mismo. El final del siglo XIX y las tres primeras décadas del siglo XX pueden considerarse como la etapa del surgimiento y la consolidación de la hidrogeología. Es la época del regeneracionismo y de la creación de diversas instituciones científicas por todo el país: Costa, Mallada, Contreras, Bentabol y Cortázar hacen llamamientos a la clase política para la realización de obras públicas, fundamentalmente al servicio del regadío, movilizándolo aguas superficiales y subterráneas (Durán, 2013).

Uno de los detonantes fundamentales de los trabajos de investigación hidrogeológica en este periodo fue el Real Decreto de 15 de julio de 1905 (*Gaceta de Madrid*, n.º 205, de 24.07.1905) mediante el cual se encomendó a la Comisión del Mapa Geológico el estudio de cada una de las cuencas hidrológicas donde fuera «probable la existencia

de corrientes subterráneas» que pudieran «alumbrarse por medio de sondeos, pozos o galerías». Se convierte así, mediante este decreto, a la Comisión del Mapa Geológico, y por extensión al Instituto Geológico y Minero de España (IGME), su institución heredera, en uno de los grandes protagonistas de la investigación hidrogeológica española.

Efectivamente, el Decreto de 1905, corto y preciso, promulgado a raíz de una situación de sequía, contenía instrucciones claras sobre cómo llevar a cabo los estudios hidrogeológicos, desde la utilización de la geología como base previa para los trabajos hasta las encuestas o cuestionarios de campo que se debían realizar, y equiparaba algunos aspectos de la gestión del agua subterránea a la de otros recursos mineros. La primera reacción interna al Decreto fue dedicar a muchos de los ingenieros de la Comisión, algunos de ellos totalmente ajenos hasta el momento a la práctica hidrogeológica, a estos trabajos, reconvirtiéndose con gran rapidez al estudio de los acuíferos y de las aguas subterráneas. Aparecen con frecuencia en los estudios publicados autores como Dupuy, Gavala, Rubio, Bentabol, Sánchez Lozano y Vidal, entre otros. Incluso el gran Mallada dedicó una parte de sus labores al estudio de las aguas subterráneas en Madrid, publicando una corta nota titulada «Aguas y pozos de los barrios bajos de Madrid», refiriéndose a los situados a cotas topográficas inferiores (Mallada, 1906).

No solo los ingenieros del Instituto Geológico se dedicaron en este periodo a la ciencia hidrogeológica, también desde la Universidad figuras como Lucas Fernández Navarro llevaron a cabo notables esfuerzos por difundir la naciente ciencia, a través de libros divulgativos como el titulado *Aguas subterráneas: régimen, investigación y aprovechamiento* (Fernández Navarro, 1922), quizás el primer manual moderno de hidrogeología en castellano. Desafortunadamente, esta época fue también la del nacimiento de una corriente muy extendida posteriormente en el ámbito de las aguas subterráneas, la de los radiestesistas y zahoríes. Un hidrogeólogo profesional, Darder Pericàs, formado convenientemente en aspectos geológicos y con una empresa dedicada a la realización de pozos, dio cobertura pseudocientífica a este tipo de creencias en diversas publicaciones y comunicaciones a congresos.

Durante este periodo inicial del siglo XX se llevaron a cabo numerosos estudios hidrogeológicos en, al menos, las provincias de Málaga, Sevilla, Cádiz, Alicante, Murcia, Madrid, Gerona, Huesca, Tarragona, Barcelona, Toledo y Ciudad Real. Por otra parte, hay constancia de la realización de numerosos pozos artesianos en Madrid, Alicante, Murcia, Barcelona, Valencia, Albacete, Castellón, Gerona, Málaga, Huelva, Valladolid, León, Zamora, Cuenca y Teruel.

Algunas de las investigaciones hidrogeológicas llevadas a cabo son de gran relevancia, bien por su importancia práctica, bien por su interés científico, o bien, incluso, por la enseñanza futura que conllevó su falta de acierto. Un ejemplo del primer caso fue el abastecimiento del Puerto de Santa María (Cádiz), por medio de galerías horizontales, elaborado bajo la dirección de Gavala | fig. 1 |. La cruz de los trabajos de este mismo ingeniero tuvo lugar en los estudios hidrogeológicos (en contra del criterio de Fleury, hidrogeólogo suizo-portugués) realizados para la construcción de la presa de los Caballeros en Montejaque (Málaga), que llevaron a la ejecución de una obra faraónica que finalmente se tuvo que abandonar por las filtraciones que se producían en el macizo kárstico.

Otro caso especialmente destacable fue el de los sondeos de El Pardo, en Madrid, entre 1906 y 1913 | fig. 2 |. Después de los sonoros fracasos de los pozos perforados en

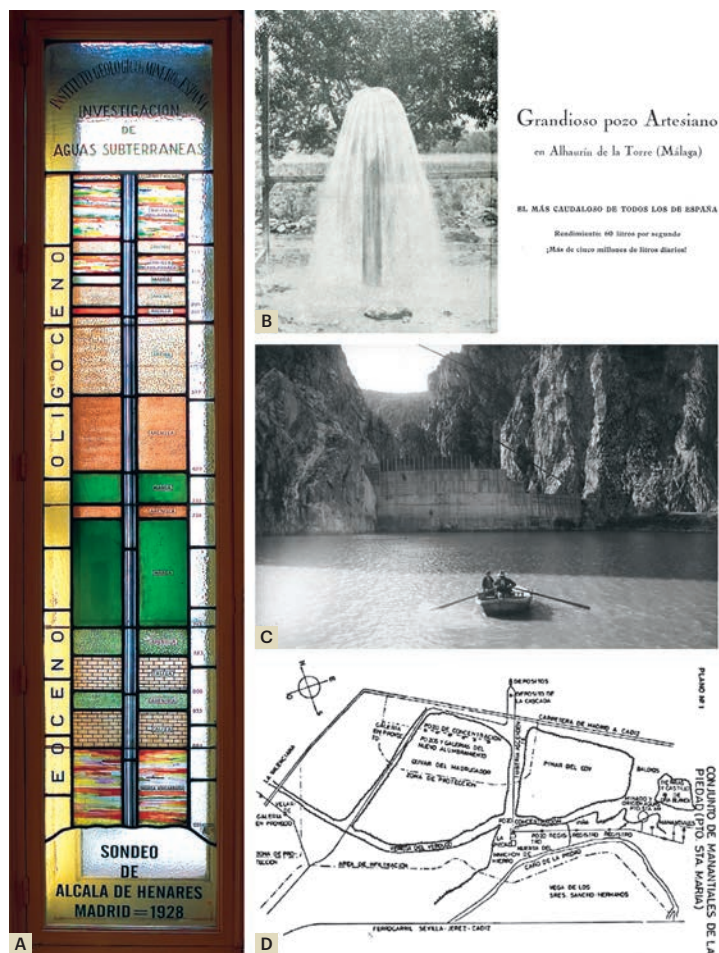


Figura 1. A) Vidriera en el edificio del IGME que reproduce a escala la columna litológica atravesada por el primer sondeo de reconocimiento hidrogeológico realizado en Alcalá de Henares (Madrid) en el año 1928. B) Pozo surgente en Alhaurín de la Torre (Málaga). C) Presa de los Caballeros, en Montejaque (Málaga). D) Plano de situación de las galerías de abastecimiento del Puerto de Santa María (Cádiz).



Figura 2. A) Ubicación de los sondeos en torno al Palacio de El Pardo (Madrid) realizados por Rafael Janini a principios del siglo XX, por encargo del rey Alfonso XIII, para el desarrollo agrícola de la zona. B) Fotografía de época durante la perforación del pozo surgente n.º 4 de El Pardo. C) Aspecto del pozo artesiano n.º 2 de El Pardo, según una postal conmemorativa publicada en la segunda década del siglo XX. Hoy ha desaparecido, encontrándose su antigua ubicación en el interior del Acuartelamiento Zarco del Valle del Ejército de Tierra, en el municipio de El Pardo.

pleno centro de la capital en el siglo XIX, un ingeniero agrónomo de origen italiano, Rafael Janini, adscrito al Patrimonio Real, llevó a cabo un ambicioso plan de construcción de sondeos artesianos en torno al Palacio de El Pardo por encargo del rey Alfonso XIII (Janini, 1913). Se empleó por primera vez en España una tecnología revolucionaria en la perforación de sondeos, la rotación con circulación directa de fluidos. La campaña fue un éxito absoluto, con la ejecución de numerosos sondeos surgentes, de gran caudal. Las aguas subterráneas de Madrid volvieron a ocupar el primer plano de la actualidad de la época, de tal modo que llegaron a publicarse postales conmemorativas de algunos de los sondeos surgentes.

Un último caso que merece la pena comentar es el sondeo de gran profundidad llevado a cabo en Alcalá de Henares (Madrid), en 1928. De la mano de la realización de una de las primeras hojas del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50 000, se proyectó la ejecución de una gran perforación que alcanzara los materiales acuíferos profundos de la cuenca cenozoica de Madrid, ligados a las calizas cretácicas que afloran en el borde septentrional de la misma cuenca (Royo Gómez & Hernández Puget, 1928). Desgraciadamente, el emplazamiento del sondeo no fue el adecuado, puesto que, tras atravesar 1000 metros de sedimentos detríticos miocenos con evaporitas, las aguas subterráneas encontradas eran de muy mala calidad, por lo que fue abandonado.

Un año antes de la ejecución del sondeo de Alcalá, en 1927, se crearon en España las confederaciones hidrográficas, encargadas de gestionar y administrar el agua en todas las cuencas hidrográficas españolas, aunque este hecho no supuso en sí un gran impulso a los estudios hidrogeológicos y al conocimiento de las aguas subterráneas.

BIBLIOGRAFÍA

- DURÁN, J. J. (2013). La Hidrogeología a lo largo del tiempo: de la etapa pre-científica hasta finales del siglo XX. En J. A. López Geta & J. M. Fornés (Eds.), *100 años de Hidrogeología en España (1900-2000)* (pp. 86-110). Instituto Geológico y Minero de España.
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L. (1922). *Aguas subterráneas: régimen, investigación y aprovechamiento*. Espasa-Calpe.
- JANINI, R. (1913). *Riegos con aguas artesianas: noticias generales respecto a los pozos artesianos y a los arrendamientos de terrenos para huertas en el Real Patrimonio de El Pardo*. Imprenta Hijo de F. Vives Mora.
- MALLADA, L. (1906). *Aguas y pozos de los barrios bajos de Madrid. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 28, 321-326.
- ROYO GÓMEZ, J., & HERNÁNDEZ PUGET, L. (1928). *Mapa geológico de España escala 1:50 000. Memoria Explicativa de la hoja N.º 560 Alcalá de Henares*. Instituto Geológico y Minero de España.

2. LOS GRANDES
PROYECTOS
HIDROGEOLÓGICOS
DE LA CUENCA
DEL GUADALQUIVIR
(FAO-IGME)
Y DEL SISTEMA
CAZORLA-HELLÍN-YECLA



La investigación planificada de las aguas subterráneas en España se inició en el contexto del II Plan de Desarrollo Económico y Social (1969-1971), pero fueron dos estudios pioneros y anteriores los que contribuyeron decisivamente a impulsar la importancia de la hidrogeología en nuestro país; el estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir (1966-1969), realizado a partir de la colaboración del Gobierno español y las Naciones Unidas (proyecto Guadalquivir-FAO), y el de la Comarca Cazorla-Hellín-Yecla (1969-1972), en el que participaron el IGME y el Instituto Nacional de Colonización (INC). Estos estudios regionales fueron decisivos para identificar los acuíferos y el agua subterránea como factor de desarrollo dentro del conjunto del sistema hídrico nacional. Existía el consenso, ya considerado así en otros países, de integrar los recursos subterráneos (acuíferos) como un recurso adicional a las aguas superficiales, con el fin de satisfacer las demandas de riego y los abastecimientos urbanos que aumentaban de manera significativa en España. A partir de entonces, el IGME trabajó en el proyecto del Mapa Hidrogeológico Nacional, que dio paso al Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS) (1970-1979). Este programa, conducido también por el IGME con la colaboración del IRYDA (sucesor del INC), recogió el testigo de la investigación hidrogeológica estatal. Todos estos estudios contribuyeron a visibilizar la importancia de las aguas subterráneas en la futura planificación hidrológica del país.

EL PROYECTO GUADALQUIVIR (FAO-IGME)

En el año 1962 España estaba catalogada por Naciones Unidas como país en vías de desarrollo. Esta situación propició que el IGME, con la colaboración del INC, presentara un proyecto de ayuda del Fondo Especial de las Naciones Unidas para el Desarrollo Económico (PNUD) a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para mejorar la agricultura de regadío y los abastecimientos públicos en la cuenca del Guadalquivir (Navarro *et al.*, 2013). El proyecto Guadalquivir, una vez aceptado por PNUD y FAO, se convirtió en un punto de inflexión en los trabajos que el IGME y el INC realizaban rutinariamente relacionados con los abastecimientos, los regadíos o el estudio de las aguas minerales y termales. El proyecto se gestionó desde Madrid, pero con oficinas técnicas en Granada y Sevilla.

La investigación hidrogeológica (FAO, 1970) se limitó inicialmente a unos 35 000 km², localizados en la cuenca baja del Guadalquivir (acuíferos de Almonte-Marismas, Sevilla-Carmona, Niebla-Posadas), cuenca del Guadiana Menor (acuíferos de Huéscar-Puebla, Orce, Baza-Caniles, Guadix), acuífero de la Vega de Granada, Guadalete y región suroccidental de Huelva. El proyecto, financiado en un 42 % por PNUD y en un 58 % por el Estado español, contó con un presupuesto de 1,5 Mpts., lo que equivaldría aproximadamente a 45 M€ actuales, siendo el organismo ejecutor la FAO, y la coordinación corrió por parte del IGME, INC y la Confede-

ración Hidrográfica del Guadalquivir. Los resultados de este primer proyecto fueron muy satisfactorios: 92 mapas hidrogeológicos a escala 1/50 000 cubriendo una superficie de 62 000 km², muy superior a la prevista; 18 mapas 1/100 000; inventario de 7500 puntos de agua con nivelación de los 2500 más significativos; 5800 muestras de agua; 90 ensayos de bombeo; 1500 muestras de suelo; 1700 sondeos eléctricos; 98 sondeos mecánicos con una longitud total de 14 000 m y un modelo matemático. Estos resultados avalaron y posibilitaron la realización de un segundo proyecto (1969-1971) para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir, centrándose en la Vega de Granada, la Vega de Guadix y el acuífero Almonte-Marismas (FAO, 1972). La importancia y resultados de este proyecto también fueron amplias, contabilizándose más de 100 sondeos entre las vegas de Granada y Guadix, dos modelos matemáticos y numerosos planos de inventario de puntos de agua, mapas hidrogeológicos, de evolución de niveles piezómetros o de calidad. La investigación finalizó con una tercera fase (1972-1976), extensiva al acuífero Almonte-Marismas, tras la declaración de la colonización de zonas regables de interés nacional (Decreto 1194/1971, *BOE*, n.º 136, de 8.06.1971) y la transformación en riego de 25 000 ha localizadas al norte del Parque Nacional de Doñana. Se ejecutaron 460 sondeos de explotación de agua subterránea, en los que aforaron 23 m³/s para una extracción prevista de 145 hm³/a. Sin embargo, la creciente constatación del valor medioambiental de este entorno hizo necesario reconducir a la baja los objetivos iniciales de esta transformación agrícola.

EL PROYECTO HIDROGEOLOGICO DEL SISTEMA CAZORLA-HELLÍN-YECLA

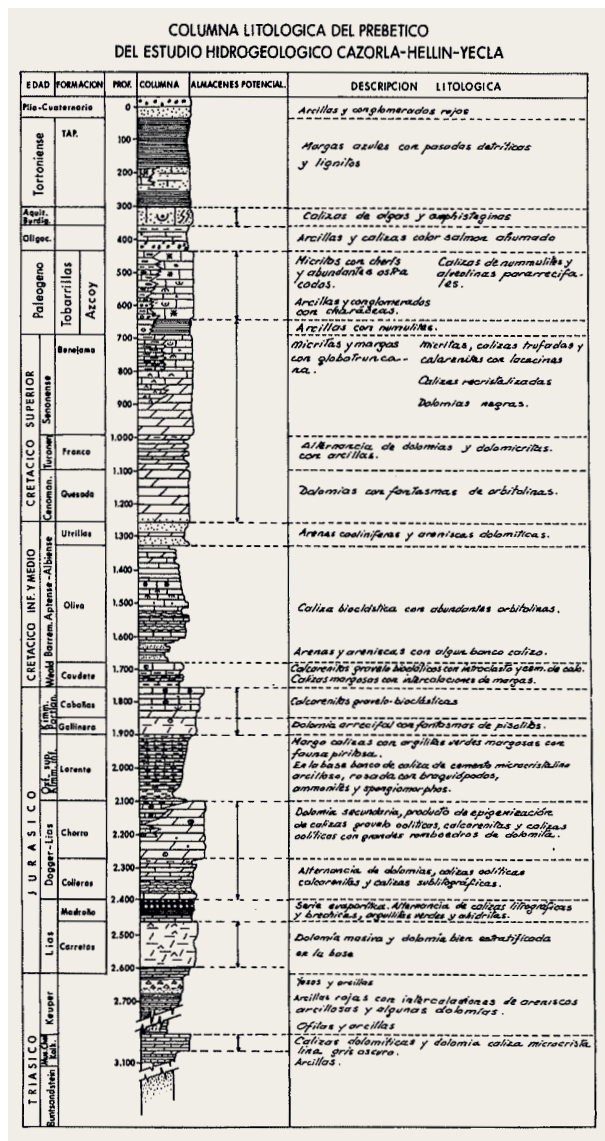
El estudio hidrogeológico de la comarca Cazorla-Hellín-Yecla se aprobó en Consejo de Ministros el 11 de abril de 1969, con un presupuesto de 44,3 Mpts. (unos 8 M€ actuales), aportados por igual por el IGME y el INC. La zona de estudio comprendió aproximadamente 17 000 km² distribuidos principalmente entre las provincias de Albacete, Murcia y Jaén, y con una duración de tres años. El IGME asumió la coordinación de las actividades de contenido geológico e

hidrogeológico y el INC trabajó principalmente en la perforación de los sondeos y ensayos de bombeo (IGME-IRYDA, 1971). La Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras (ENADIMSA), del INI, colaboró como empresa contratista. Los trabajos se centraron en el estudio de las formaciones mesozoicas presentes en el área de estudio, con predominio de materiales jurásicos y cretácicos del Prebético oriental y un relieve muy marcado por la tectónica y la litología.

Los objetivos principales del estudio se centraron en adquirir un conocimiento detallado de los sistemas hidrogeológicos, poniendo el foco en su definición geométrica y en sus características piezométricas, hidráulicas e hidroquímicas. Así mismo, se consideró primordial cuantificar los recursos y establecer balances de agua que permitiesen identificar la potencialidad hidrogeológica de las formaciones permeables, la perforación de pozos y la planificación de su explotación. Finalmente, se consideró también fundamental diseñar y poner en funcionamiento diferentes redes de control que informasen sobre la evolución del estado de los acuíferos.

Para ejecutar los trabajos se dispuso de personal técnico coordinado por un director de proyecto, apoyado por un director adjunto y un jefe de operaciones. El resto del equipo lo formaron seis técnicos superiores, doce técnicos medios y siete personas de apoyo (delineación y administración). El despliegue de medios materiales refleja la magnitud y relevancia del proyecto, ya que dispusieron de once vehículos y once sondas de perforación (rotación y percusión).

Entre los múltiples resultados alcanzados destacan la descripción detallada de la litología del Prebético oriental | fig. 1 |, los principales rasgos hidrogeológicos de las formaciones investigadas, el tipo de estructuras hidrogeológicas más favorables para su captación o la oportunidad de extraer agua subterránea cerca de los cauces principales como vía de conexión a las zonas de demanda. Además, se proporcionó información relevante sobre la geometría de las formaciones permeables (isohipsas, isopacas, correlaciones estratigráficas, etc.), acompañada de abundante información gráfica (IGME-IRYDA, 1971). Así mismo, se evaluó el interés hidrogeológico de las formaciones permeables identificadas, proporcionando cifras orientativas de la magnitud de los recursos y reservas que justificaron la



definición de los grandes sistemas acuíferos. Los recursos evaluados oscilan entre 525 hm³/año y 700 hm³/año para el conjunto de la zona de estudio, aunque el sector de Albacete (denominado *Unidad Norte*) presenta la mayor parte de los mismos, entre 310 hm³/año y 470 hm³/año. Estas cifras pusieron de manifiesto la necesidad de programar técnica y económicamente la explotación de las aguas subterráneas. En esta fase se solicitó la opinión de hidrogeólogos internacionales como Margat, De Cazenove o Thomas, que subrayaron la calidad de los trabajos realizados y la posibilidad que representaba para el desarrollo de las comarcas la explotación de sus recursos hídricos.

En este sentido, se plantearon como futuras zonas explotables, previa evaluación del IRYDA, las comarcas Hellín-Toborra y Tarazona-Picarzo y los Llanos de Albacete con bombeos máximos anuales de 75 hm³, 125 hm³ y 200 hm³, respectivamente (IGME-IRYDA, 1976). Actualmente, estas mismas zonas sostienen una explotación de agua subterránea importante.

En resumen, con independencia de los avances adquiridos en el conocimiento hidrogeológico y la solvencia técnica demostrada por los equipos de trabajo de ambos proyectos, la investigación tuvo unos efectos de amplio calado social y económico, con la puesta en valor de los recursos de agua subterránea como fuente de progreso. A partir de estos estudios, el desarrollo de la hidrogeología en España fue exponencial.

Figura 1. Columna litológica del Prebético con presencia de las diferentes facies y potencias de los materiales que afloran en la zona de estudio (en IGME-IRYDA, 1971).

BIBLIOGRAFÍA

- FAO. (1970). *Proyecto de investigación hidrogeológica de la Cuenca del Guadalquivir*. AGL: SF/SPA 9 (Informe técnico inédito).
- FAO. (1972). *Anteproyecto de transformación en regadío de la zona regable de Almonte-Marismas*. AGL: SF/SPA 16 (Informe técnico 1). Sistema de Información Documen-

tal del Instituto Geológico y Minero de España, código 33012. http://info.igme.es/SidPDF/018000/696/Informe%20t%C3%A9cnico%20n%C2%B0%201/18696_0001.pdf

IGME-IRYDA. (1971). *Estudio hidrogeológico de la Comarca Cazorla-Hellín-Yecla*. Informe de recopilación y síntesis. Sistema de Información Documental del Instituto Geológico y Minero de España, código 33012. <http://info.igme.es/ConsultaSID/presentacion.asp?Id=66035>

es/ConsultaSID/presentacion.asp?Id=66035

IGME-IRYDA. (1976). *Estudio hidrogeológico Alto Segura-Alto Júcar. Pasado, presente y futuro de las aguas subterráneas en Albacete* (Nota técnica n.º 197). Sistema de Información Documental del Instituto Geológico y Minero de España, código 32674. http://info.igme.es/SidPDF/017000/988/17988_0001.pdf

NAVARRO ALVARGONZÁLEZ, A., QUANG TRÁC, N., LÓPEZ-GETA, J. A., MARTÍN-MACHUCA, M. RUBIO CAMPOS, J. C., & COROMINAS MASIP, J. (2013). El proyecto hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir (FAO-IGME). En J. A. López-Geta & J. M. Fornés Azcoiti (Eds.), *100 años de Hidrogeología en España 1900-2000* (pp. 263-275). Instituto Geológico y Minero de España.

3. LOS PLANES NACIONALES
DE INVESTIGACIÓN DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS (PIAS),
DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN
DE ACUÍFEROS (PGCA)
Y DE ABASTECIMIENTO
A NÚCLEOS URBANOS (PANU)



A mediados del siglo XX, el escaso conocimiento sobre los grandes acuíferos de España y de su papel regulador en la explotación de los recursos hídricos hacía que las aguas subterráneas no fuesen tenidas en cuenta por los responsables de la planificación hidráulica. Por ello, se planteó la necesidad ineludible de cuantificar los recursos hídricos subterráneos y dotar al país de una infraestructura de conocimiento hidrogeológico adecuada. Es en 1970 cuando puede decirse que comenzó la investigación hidrogeológica de una forma sistemática y abarcando globalmente todo el ámbito nacional, con el inicio del Programa Sectorial de Aguas Subterráneas, en el marco del Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM), promovido por la Ley 1/1969, de 11 de febrero, por la que se aprueba el II Plan de Desarrollo Económico y Social (BOE, n.º 37, de 12.02.1969). Es el IGME quien lo lleva a cabo, siguiendo el modelo iniciado en el Proyecto Guadalquivir (FAO-UN), y en colaboración con la Dirección General de Colonización del Ministerio de Agricultura, a través del Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario, y con la Dirección General de Obras Públicas del Ministerio de Obras Públicas.

En la primera etapa del Programa se lleva a cabo la identificación de los principales sistemas acuíferos y la

cuantificación de la recarga, a partir de la determinación de la lluvia útil y de los caudales subterráneos drenados de forma natural en cada cuenca hidrográfica. Como resultado, se publica el *Mapa hidrogeológico nacional* (Álvarez *et al.*, 1972), que incluye los mapas de lluvia útil y reconocimiento hidrogeológico a escala 1:1 000 000 y de síntesis de sistemas acuíferos escala 1:1 500 000, ofreciendo por primera vez, una visión global, cualitativa y cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos.

La segunda etapa del Programa se inició con carácter urgente en 1972 con el Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), programándose la investigación de los sistemas acuíferos por cuencas hidrográficas a partir de grandes proyectos de varios años de duración. El objetivo final del PIAS era el inventario de los recursos hídricos subterráneos determinando las características de los distintos acuíferos (geometría, funcionamiento, recursos renovables, reservas y su grado de explotación) para planificar su óptima utilización y tomar las medidas necesarias para protegerlos de posibles contaminaciones por agentes externos. Como indica Juan Coma Guillén, director del Servicio de Aguas Subterráneas del IGME entre 1969 y 1979, la suma global de las inversiones necesarias se cifró en



Figura 1. Información generada en los citados planes y que es consultable en diversos repositorios del IGME. De izquierda a derecha: IGME (1972) *Mapa hidrogeológico nacional* (Mem. n.º 81; 1.ª ed.); IRYDA-IGME (1972) *El Campo de Cartagena*; IRYDA-IGME (1977) *Sistemas acuíferos n.º 8 y 12 de la cuenca del Duero*; IGME-ENADIMSA (1979) *Cuenca baja del Segura*; IGME (1981) *Cuenca norte de España (Asturias)*; IGME (1981) *Cuenca del Tajo*; IGME (1981) *Cuenca sur de España (sector occidental)*; IGME (1982) *P. A. N. U.*

1800 Mpts. (del año 1971), y el plazo de ejecución del PIAS se estableció en dos cuatrienios, para ser realizado durante el III Plan de Desarrollo Económico y Social (1972-1975) y un hipotético IV Plan (1976-1979), que no se llegó a aprobar por diversos avatares económicos y políticos de la época (Coma Guillén, 2002). Se desarrolló en dos fases netamente diferenciadas: la primera consistió esencialmente en la delimitación de los grandes sistemas acuíferos del territorio nacional por cuencas hidrográficas, y en la segunda se llevó a cabo su investigación durante la década de los setenta y parte de los ochenta, comenzando por las del Júcar, Segura, Guadiana, Sur y Baleares, y posteriormente con las del Duero, Tajo, Ebro y Norte.

Al finalizar el PIAS, España disponía de una sólida infraestructura de información hidrogeológica que incluía: la cuantificación de sus principales embalses subterráneos cuyos recursos se integraban dentro del contexto económico vigente, una documentación con relación al conocimiento hidrogeológico generado | fig. 1 | y, por vez primera, una red nacional de puntos acuíferos preparada para señalar la

evolución de las aguas subterráneas, tanto en sus aspectos cuantitativos como cualitativos.

Asimismo, a mediados de los setenta, y debido a la vasta extensión territorial a estudiar y a las distintas fechas de comienzo de los trabajos en cada cuenca hidrográfica, simultáneamente dan comienzo otros planes y programas que se van entrelazando en el tiempo y que satisfacen la necesidad de una labor de continuidad en las zonas estudiadas. Por ello, y contando con una clara voluntad de protección de los acuíferos frente a su posible deterioro por contaminación, el IGME puso en marcha el Plan de Gestión y Conservación de Acuíferos (PGCA) (López Geta, 2013). Además de los trabajos de caracterización hidrogeológica que se desarrollaban paralelamente, se implantaron las primeras redes de control (principalmente de pozos, sondeos y manantiales) en las que, con carácter periódico, se medían niveles y se recogían muestras de agua subterránea para su posterior análisis en los laboratorios del IGME, hasta el año 2000. Igualmente se creó el Archivo Nacional de Puntos Acuíferos, para cubrir la necesidad de almacenamiento del gran

La acción del Instituto Geológico y Minero

El Instituto Geológico y Minero de España fue creado como Carta Geológica de Madrid y General de Reino en 1849, renacido Isabel II y gobernando Bravo Murillo, organizándose como fines y funciones «El estudio del suelo y subsuelo en cuanto sea necesaria para el conocimiento y desarrollo de la geología, minería, hidrogeología, geotécnica e investigación de fondos marinos, la formulación de planes, programas y proyectos de reconocimiento e investigación en las materias citadas, la ejecución de las mismas...»

Actualmente el IGME está dirigido por el ingeniero de Minas Adriano García-Loygorri, constituido como organismo autónomo dependiente del Ministerio de Industria y Energía y adscrito funcionalmente a la Comisión de Energía y Recursos Minerales, en virtud de real decreto de 25 de febrero de 1977. Otro reciente real decreto de 20 de febrero de 1979, publicado en el «B. O. del E.» del pasado día 15 de marzo, ha aprobado el Reglamento Orgánico del Instituto, incluyendo dentro de sus servicios centrales una Dirección de Aguas Subterráneas y Geotécnica.

Hasta el momento actual la División de Aguas Subterráneas del IGME ha venido realizando su actividad en el marco de tres grandes programas de ámbito nacional, a los que vamos a referirnos seguidamente:

Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS)



El PIAS ha permitido poner en regadío grandes extensiones agrícolas.



Instituto Geológico y Minero

Ello supone un aumento de 80 Hectáreas.

En la cuenca del Guadalquivir se comenzaron ya los trabajos en una etapa anterior al PIAS y concluyeron durante éste, dándose ocasión a que se lleve a cabo un proyecto de puesta en regadío de 30.000 hectáreas en la zona de Almonte-Marismas.

Plan Nacional de Gestión y Conservación de Acuíferos

Finalizada la primera fase del PIAS (1972/76) se hizo necesaria una labor de continuidad en las zonas estudiadas. Con este fin se emprendió un Plan de Gestión y Conservación de los Acuíferos, con trabajos a partir

Preparación de informes en relación con el establecimiento de perímetros de protección, aguas minero-medicales, etc.

2) Desde el punto de vista cualitativo:

- Mantener la red de vigilancia de la calidad de las aguas subterráneas (RVC) para su diagnóstico y tratamiento.
- Estudiar las fuentes de contaminación existentes en núcleos urbanos o industriales.
- Confeccionar mapas de orientación al vertido de residuos.
- Fijar perímetros de protección para las captaciones exa-

Figura 2. Recorte del diario de información *Cinco Días* del 24 de marzo de 1979. (Fuente: Hemeroteca Digital BNE).

volumen de datos técnicos, hidrogeológicos e hidroquímicos generados.

Para llevar a cabo todos los trabajos que simultáneamente contemplaban los distintos planes en curso, se contaba con oficinas regionales, la mayoría de las cuales, continúan actualmente en funcionamiento (once en total), a excepción de las de Málaga, Albacete, Ciudad Real, Valladolid, Tarragona y Santa Cruz de Tenerife, que tuvieron una existencia menos dilatada en el tiempo

(IGME, 1981). También se recurrió a la contratación de algunos trabajos a empresas públicas, como ENADIMSA, y empresas privadas.

Aunque no del todo erradicado actualmente, en el pasado existían una serie de poblaciones con problemas de escasez de agua, que se intensificaban en el periodo estival, y cuya solución pasaba por valorar las posibilidades de abastecimiento mediante aguas subterráneas. Por ello, en el segundo semestre del año 1975, el IGME inició el Plan de Abastecimiento a Núcleos Urbanos (PANU), que aprovechaba la labor que coetáneamente realizaban el PIAS y el PGCA para su posterior aplicación a cuestiones específicas, como solucionar problemas de suministro de agua potable tanto en los aspectos de calidad como de cantidad. El PANU fue la antesala de la intensa colaboración del IGME con las corporaciones locales, provinciales y autonómicas, y con cuyas actuaciones para abastecer a cientos de núcleos urbanos probablemente se haya obtenido el reconocimiento social más considerable | fig. 2 |.

Para finalizar, con la implementación de todos estos planes se perseguía disponer de un conocimiento hidrogeológico nacional que permitiera un uso más eficiente de las aguas subterráneas. Desgraciadamente, han pasado más de cincuenta años y muchos de los acuíferos estudiados son los más afectados por una explotación que es mejorablemente más sostenible desde el punto de vista económico y ambiental, y donde todos los usuarios del agua subterránea deben ser conscientes de las consecuencias que sus patrones de producción y consumo generan en los ecosistemas asociados.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ FERNÁNDEZ, C., COMA GUILLÉN, J. E., LUCENA BONY, C., PORRAS MARTÍN, J., SAN JOSÉ LANCH, M. A., & QUANG TRAC, N. (1972). Mapa Hidrogeológico Nacional: Explicación de los mapas de lluvia útil, de reco-

nocimiento hidrogeológico y de síntesis de los sistemas acuíferos. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 81, 1-44.

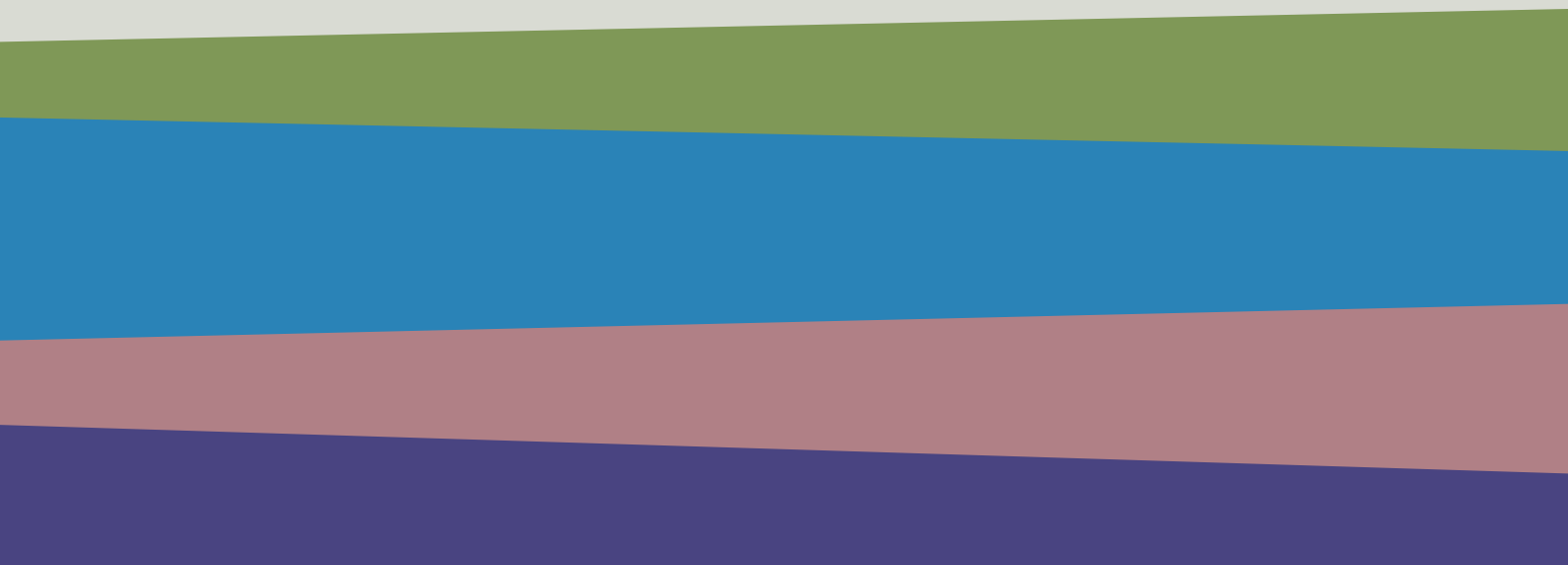
COMA GUILLÉN, J. E. (2002). El Plan Nacional de Investigación de las Aguas Subterráneas. En J. C. Rubio Campos & J. A. López Geta (Eds.), *Libro homenaje a Manuel del Valle Cardenete. Aportaciones al conocimiento de los acuíferos andaluces*

(pp. 35-42). Instituto Geológico y Minero de España.

IGME (1981). *Geología y recursos naturales en España: metodologías y referencias técnicas* (Convenio IGME-TECNIBERIA; Tomo I-b). Sistema de Información Documental IGME, código 00884. Ministerio de Industria y Energía. <http://info.igme.es/ConsultaSID/presentacion.asp?Id=19559>

LÓPEZ-GETA, J. A. (2013). Los Planes Nacionales de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), de Gestión y Conservación de Acuíferos (PGCA) y de Abastecimiento a Núcleos Urbanos (PANU). En J. A. López-Geta & J. M. Fornés Azcoiti (Eds.), *100 años de hidrogeología en España (1900-2000)* (pp. 300-439). Instituto Geológico y Minero de España.

4. LAS REDES
DE OBSERVACIÓN
Y VIGILANCIA
DE LAS AGUAS
SUBTERRÁNEAS



Uno de los principales instrumentos con los que cuenta la administración hidrológica para poder gestionar las aguas subterráneas es el seguimiento y vigilancia de estas a través de redes de observación, diseñadas con el objetivo de conocer y supervisar de manera sistemática el actual estado cuantitativo y cualitativo de las mismas; determinar tendencias en su evolución; evaluar el cumplimiento de los objetivos de calidad y el resto de normativa vigente, para que sirva de base a la adopción de estrategias de gestión y control de la contaminación; así como evaluar la efectividad de las medidas adoptadas.

Las redes hidrogeológicas, para llevar a cabo el control de las aguas subterráneas, deben fundamentarse en tres tipos de variables: profundidad del nivel de la lámina de agua, parámetros físico-químicos del agua subterránea (conductividad eléctrica, pH, temperatura, iones mayoritarios, etc.) y caudal de las principales descargas naturales en manantiales o tramos identificados de ríos mediante la realización de aforos; datos que dan lugar a las redes de piezometría, calidad química e hidrometría, respectivamente.

La medición de los niveles y caudales de las aguas subterráneas, así como el control de su calidad, se inició por el IGME en los años sesenta del pasado siglo, en un número reducido de acuíferos, y se extendió a la mayoría de ellos en la década siguiente, coincidiendo con el inicio de progra-

mas de investigación hidrogeológica determinantes, como el Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), el Plan Nacional de Abastecimiento a Núcleos Urbanos (PANU), los Estudios de los Recursos Hídricos del Pirineo Oriental (REPO), el Estudio Científico de los Recursos de Aguas en las Islas Canarias (SPA), etc., aunque previamente ya existían algunas redes en la década de los sesenta, en la Vega de Granada, Almonte-Marismas (proyectos FAO-Guadalquivir).

En el año 1992, la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, ahora Dirección General del Agua, definió las bases para el diseño de una red de control general de las aguas subterráneas con objeto de modernizar y actualizar las redes existentes. Estas quedaron reflejadas en los proyectos de construcción e implantación de nuevos puntos de control redactados por los organismos de cuenca (1996-1997), siendo el IGME el que continuó controlando las redes de aguas subterráneas, así como la gestión de los datos hidrogeológicos mediante la base de datos de Puntos de Agua del IGME (IGME, 2019), y la emisión de boletines de redes de control de información hidrogeológica (Pernia *et al.*, 1998).

A mediados de la década de los noventa, los puntos de observación de la red piezométrica ascendían a casi 3000, con medidas semestrales o trimestrales | fig. 1 |. La red de



Figura 1. Piezómetro de control de la red oficial en la masa de agua subterránea Alcadozo (Albacete). Fotografía: Jorge Hornero.



Figura 2. Control hidrométrico en el manantial de Ricote (Murcia). Fotografía: Jorge Hornero.

hidrometría contaba con casi 500 puntos, con campañas semestrales | fig. 2 |. Por su parte. La red de calidad química o Red de Observación de Calidad de Aguas Subterráneas-ROCAS contaba con 1650 puntos de observación, en los que se tomaba muestra para el análisis de elementos mayoritarios y ciertos elementos minoritarios o traza en dos campañas anuales. Además, existía otra red de control de la intrusión marina en una serie de acuíferos costeros o Red de Observación de la Intrusión-ROI. Esta red estaba constituida por casi 800 puntos y se realizaban muestreos con periodicidad bimestral o semestral, según las peculiaridades de las diferentes zonas, para el análisis de la concentración del ion cloruro y la conductividad eléctrica.

El control y la gestión de las redes de observación fue llevada a cabo por el IGME hasta el año 2001, cuando fue transferida a la Dirección General del Agua, a través de los organismos de cuenca. En este periodo se inicia, además, el proceso de adaptación de acuerdo a los criterios que establece la Directiva Marco del Agua (*Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en*

el ámbito de la política de aguas). La entrada en vigor de esta directiva (*DOCE*, n.º 327, de 22.12.2000) generó un nuevo marco comunitario de actuación en la política de aguas, modificando los esquemas característicos de las redes de control existentes y variando de forma sustancial la forma de gestionar el agua. Su objetivo principal es proteger, mejorar y prevenir el deterioro de las aguas y de los ecosistemas asociados, con el fin de conseguir el buen estado químico y cuantitativo de los recursos hídricos de los Estados miembros. Las modificaciones realizadas posteriormente han ido en la línea de mejorar determinados aspectos normativos relacionados con la contaminación y la calidad de las aguas para consumo humano. En este sentido, la implementación de las redes de vigilancia y seguimiento se convierte en una herramienta indispensable para evaluar el estado de las aguas subterráneas, que se deben adaptar y ampliar con el fin de determinar la tendencia y evolución de los recursos en cantidad y calidad.

Las redes de observación del IGME sustentaron en buena medida el diseño de las redes actuales, como reconoce el propio Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto

Demográfico en el portal de acceso a las redes actuales de control (Red de Seguimiento del Estado Cuantitativo de las Aguas Subterráneas, Red de Control del Estado Químico de las Aguas Subterráneas), tanto por la aportación de amplias series históricas de datos como por la incorporación de buena parte de sus puntos de control, participando activamente en la fase de transición de la transferencia de las redes a la Dirección General del Agua. Actualmente, el IGME, dentro de los objetivos marcados en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, asesora en la ampliación de las redes de control piezométrico, como instrumento necesario para valorar el cumplimiento de los objetivos medioambientales en las masas de agua subterránea, así como el seguimiento del impacto del cambio climático en las aguas subterráneas.

La gestión de las redes de control sigue estando encomendada a los organismos de cuenca. Las redes actuales operadas por las confederaciones hidrográficas en las demarcaciones intercomunitarias cuentan con unos 2500 puntos de control piezométrico (año 2020) y unos 3900 puntos de control de la calidad química (en 2019), mientras que las comunidades autónomas mantienen unos 780 piezómetros (2020) y unos 2280 puntos de control cualitativo (2019) en las cuencas intracomunitarias. Además, existen redes de otras instituciones (diputaciones o entidades locales), instaladas en los acuíferos situados en sus respectivos territorios. El IGME mantiene aquellas redes de control que le son encomendadas por convenio o que forman parte de proyectos de investigación específicos.

La densidad de puntos de vigilancia y la frecuencia de medidas son los factores clave en el seguimiento del estado cuantitativo. Por otro lado, la medida de determinados parámetros esenciales, en un número suficiente de puntos, debe informar sobre el estado químico del agua subterránea y la necesidad de invertir tendencias negativas en masas de agua subterráneas en riesgo. Las posibles mejoras en la generación de información estarán directamente rela-

cionadas con aspectos y avances tecnológicos, mediante la monitorización de las redes de control, aunque un aspecto muy importante es el organizativo.

La información sobre las aguas subterráneas en España se encuentra fragmentada y distribuida entre los diferentes actores involucrados en el conocimiento hidrogeológico y la gestión. En el *Libro verde de la gobernanza del agua en España* (MITERD, 2020) se pone de relieve la necesidad de mejorar la información hidrogeológica disponible mediante redes de control con la densidad, periodicidad y continuidad necesarias; la actualización de un inventario de captaciones y sus extracciones; y todo ello alimentando el Sistema de Información de Aguas Subterráneas públicamente accesible. Además, se proponía la creación de una oficina o agencia del agua subterránea que podría estar integrada en el IGME, el organismo público que por su historia y conocimiento sería el más apropiado que asumiese el liderazgo en la gestión de la información y el conocimiento de las aguas subterráneas en España, puesto que tiene competencia en «crear infraestructuras de conocimiento», quedando respaldado por el Real Decreto 202/2021, de 30 de marzo, donde establece que actuará como centro nacional de información y documentación en aguas continentales, constituyendo el centro de investigación y servicios técnicos de referencia estatal en esta materia.

BIBLIOGRAFÍA

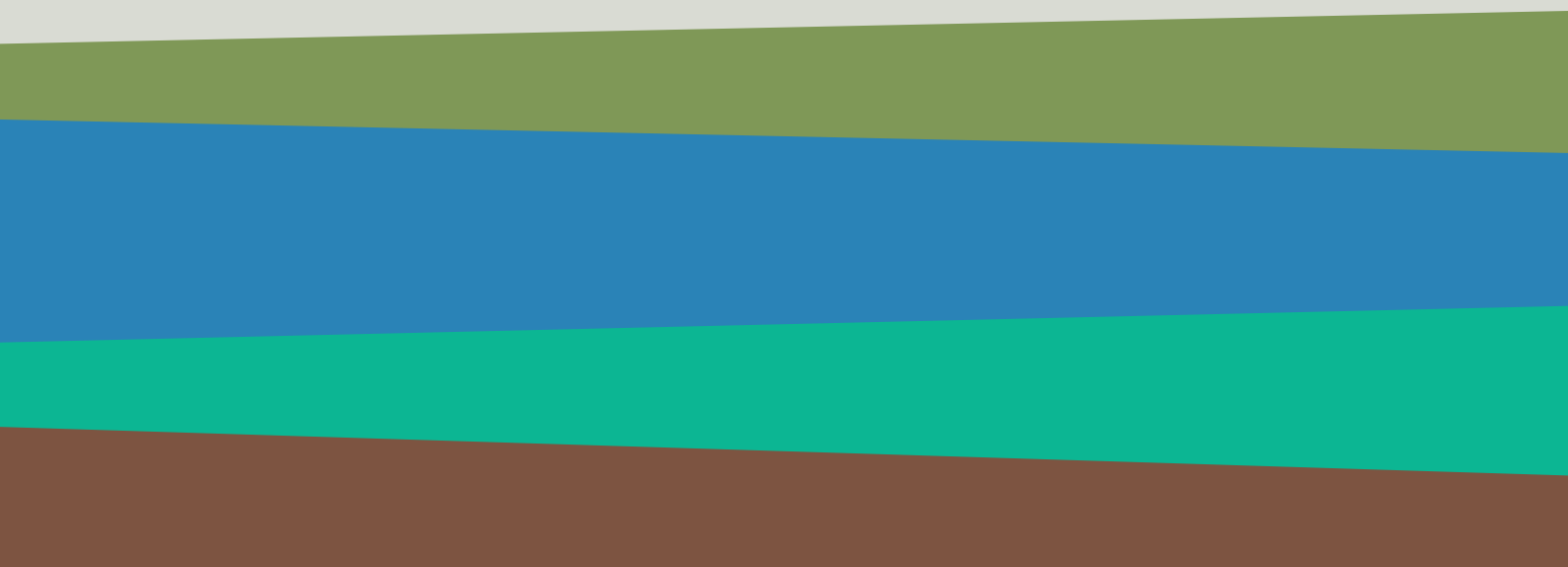
IGME. (2019). Base de Datos de Puntos de Agua del IGME. <http://info.igme.es/BDAguas/>

MITERD. (2020). *Libro verde de la gobernanza del agua en España*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

PERNÍA LLERA, J. M., CORRAL LLEDÓ, M. M., SÁNCHEZ GUZMÁN, J.,

& LÓPEZ SANZ, L. (1998). *Preparación de datos para operaciones integradas de redes de control de aguas subterráneas. Años 1997-1998-1999*. *Boletín de información hidrogeológica*. Sistema de Información Documental del Instituto Geológico y Minero de España, código 62053. http://info.igme.es/SidPDF/076000/853/76853_0001.pdf

5. LA UNIDAD DEL IGME
PARA EL ESTUDIO
DE FORMACIONES
GEOLÓGICAS DE BAJA
PERMEABILIDAD



El estudio de formaciones geológicas de baja permeabilidad experimentó, desde los años setenta del siglo pasado, un importante desarrollo debido fundamentalmente a su utilidad como almacén de residuos radiactivos y peligrosos. Esta circunstancia ha producido un avance considerable en el diseño de instrumentación específica para el estudio de este tipo de formaciones.

Fueron muchos los países que contribuyeron al desarrollo de esta línea de investigación. El IGME, con objeto de realizar una síntesis del estado del arte relativo a la caracterización hidrogeológica de formaciones susceptibles de almacenar este tipo de residuos, colaboró activamente con otros organismos de investigación: British Geological Survey (BGS), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Atomic Energy Canada Limited (AECL), Swedish Nuclear Fuel and Waste Management (SKB) y Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle (NAGRA, Suiza), entre otros.

Como punto de partida de esta innovadora línea de investigación, se formalizó un acuerdo específico entre la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA) y el entonces Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) para el estudio hidrogeológico de formaciones de baja permeabilidad, que se desarrolló entre los años 1992 y 2000.

Entre las actividades científico-técnicas realizadas durante estos años cabe destacar los estudios llevados a cabo en el proyecto de El Berrocal, liderado por el CIEMAT: «proyecto internacional de investigación sobre la migración de radionucleidos naturales en un medio granítico fisurado». Se desarrolló en el área granítica de El Berrocal, situado al norte del núcleo urbano de Nombela (Toledo). La formación geológica objeto de estudio en el mencionado proyecto es un plutón granítico con una mineralización filoniana epitermal de cuarzo, esfalerita, pirita, calcopirita, pechblenda, carbonatos y barita. Una de las principales actividades del proyecto fue investigar los aspectos estructurales, litológicos, geoquímicos, hidroquímicos e hidrogeológicos del sistema granito-mineralización de uranio, con la finalidad de establecer modelos matemáticos de migración de los radionucleidos naturales en el medio geológico.

LA UNIDAD MÓVIL DE HIDROGEOLOGÍA

Como resultado del citado acuerdo específico con ENRESA, el IGME realizó íntegramente el diseño y construcción de la Unidad Móvil de Hidrogeología (UMH)



Figura 1. A) Panel de control del sistema de inyección, en el interior del vehículo base de la UMH, año 1998. B) Unidad móvil de hidrogeología operando en campo en la corta de Aznalcóllar (Sevilla), año 1999. C) Corta de Aznalcóllar (Sevilla), año 1998. Fotografías: Miguel Mejías y Juan Grima.

para el estudio de formaciones de baja permeabilidad, un innovador prototipo que aunó el estado del arte de la instrumentación y los sistemas de adquisición e interpretación de datos, diseñados y contruidos *ad hoc* (Grima *et al.*, 1997a, 1997b).

La UMH consistía en dos vehículos, camiones todoterreno autónomos, con capacidad de acceso a terrenos abruptos. El primero, vehículo base, tenía como función principal el control del caudal para los ensayos hidráulicos de inyección | fig. 1A |, la adquisición de datos y la interpretación preliminar de los ensayos hidráulicos *in situ* (Mejías *et al.*, 2005, 2009; Renard *et al.*, 2009). El segundo, vehículo de descenso | fig. 1B |, tenía como cometido descender la instrumentación, mediante varillaje, hasta la profundidad requerida, para la realización de ensayos hidráulicos, aislando la sección a ensayar mediante obturadores o *packers*.

La UMH permitía operar en sondeos verticales e inclinados hasta profundidades de 1200 metros, y realizar de ensayos hidráulicos de inyección a caudal constante y a ni-

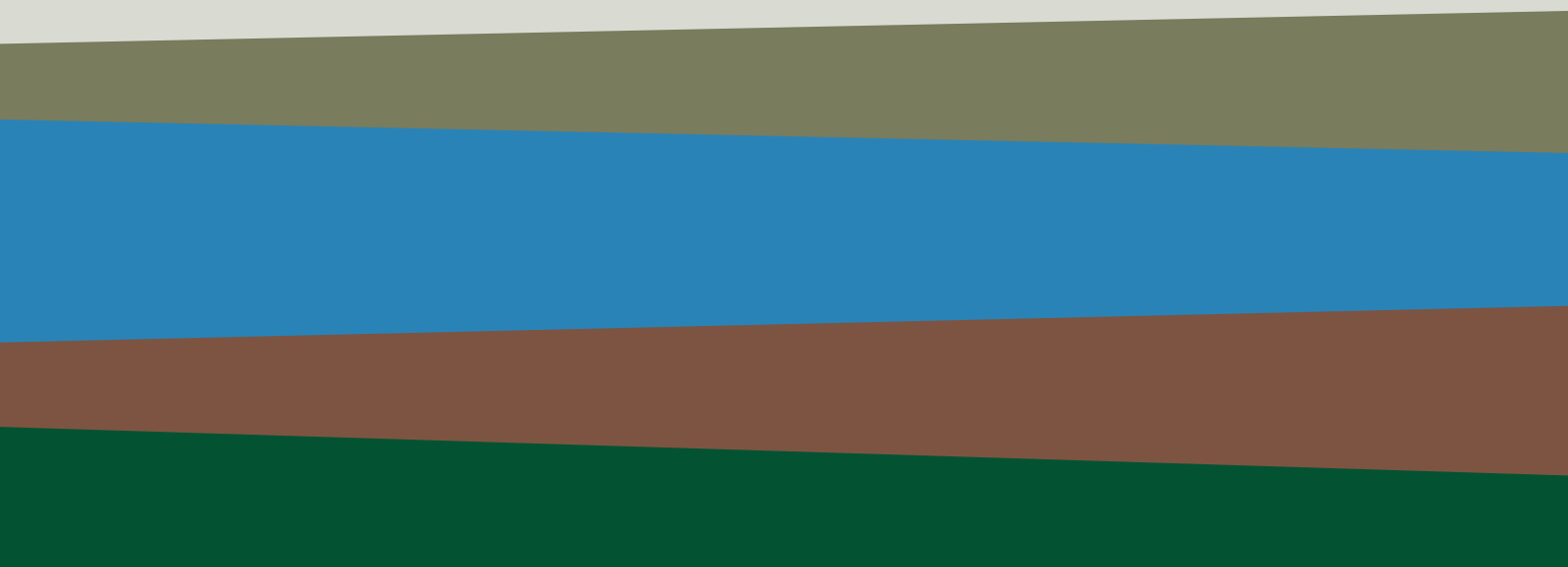
vel constante, *slug test*, *pulse test* y ensayos de bombeo y recuperación.

Entre los numerosos estudios llevados a cabo, merecen especial mención los siguientes: 1) realización de ensayos de baja permeabilidad en el Pozo San Mamés (Sotrondio, Oviedo, 1995); 2) ensayos hidráulicos en el entorno de la Central Nuclear José Cabrera (Guadalajara, 1996); 3) realización de ensayos de baja permeabilidad en el vertedero de residuos sólidos urbanos de Asturias gestionado por COGERSA (Oviedo, 1998); 4) caracterización hidrogeológica de los materiales del entorno de la corta de Aznalcóllar | fig. 1C | (Sevilla, 1998-1999); 5) realización de ensayos hidráulicos de baja permeabilidad en los sondeos de investigación situados en la balsa de estériles de Aznalcóllar (Sevilla, 1999) (Mejías *et al.*, 2002); 6) estudio sobre los ensayos de permeabilidad realizados en el Proyecto Minero Las Cruces, Gerena (Sevilla, 1999-2000); 7) realización de ensayos hidráulicos para investigación de las posibilidades de aprovechamiento de CBM y CMM y secuestro de CO₂ en la cuenca central asturiana (2005).

BIBLIOGRAFÍA

- GRIMA OLMEDO, J., MEJÍAS MORENO, M., GÓMEZ LÓPEZ, J. A., & MARTÍNEZ NAVARRETE, C. (1997b). Técnicas automáticas de adquisición de parámetros en tiempo real y aplicaciones en hidrogeología. *Hidrogeología*, 13, 17-30.
- GRIMA OLMEDO, J., MEJÍAS MORENO, M., & MARTÍNEZ NAVARRETE, C. (1997a). Formaciones de baja permeabilidad. *Hidropress*, 3, 16-24.
- MEJÍAS MORENO, M., BELLIDO MÚLAS, F., LOMBARDEO BARCELÓ, M., & ARMENDÁRIZ DUFUR, M. (2005). Metodología para la caracterización hidráulica de formaciones de baja permeabilidad. Aplicación a un sondeo de reconocimiento perforado en materiales graníticos en el sector oriental del Sistema Central. *Boletín Geológico y Minero*, 116(1), 79-95.
- MEJÍAS MORENO, M., LÓPEZ GEMTA, J. A., & SEGURA PACHÓN, D. (2002). Caracterización de formaciones de baja permeabilidad mediante ensayos hidráulicos: aplicación a dos sondeos de reconocimiento situados respectivamente al sur y este de las cortas mineras de Aznalcóllar y Los Frailes en la mina de Boliden-Apirsa, s. l. (Aznalcóllar, Sevilla). *Boletín Geológico y Minero*, 113(1), 45-55.
- MEJÍAS, M., RENARD, P., & GLENZ, D. (2009). Hydraulic testing of low-permeability formations. A case study in the granite of Cadalso de los Vidrios, Spain. *Engineering Geology*, 107, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.05.010>
- RENARD, P., GLENZ, D., & MEJÍAS, M. (2009). Understanding diagnostic plots for well test interpretation. *Hydrogeology Journal*, 17(3), 589-600. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0392-0>

6. LA SECCIÓN
DE SONDEOS
Y AFOROS DEL IGME
(1945-1999)



Buena parte de la población y del campo de nuestro país se abastece del agua subterránea alumbrada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) durante la segunda mitad del siglo xx. Además, podemos añadir sin ánimo a equivocarnos, que, entre los años sesenta y ochenta del siglo pasado, y de la mano del IGME, la hidrogeología española sufrió una metamorfosis radical. Durante ese periodo, la apuesta decidida por la investigación geológica, minera e hidrogeológica permitió llevar a cabo un conjunto de proyectos con los que se establecieron las bases del conocimiento hidrogeológico de nuestro territorio. Entre estos proyectos deben ser citados el Programa Nacional de Investigación Minera, en el que se realizó el Mapa Hidrogeológico Nacional, el proyecto del Guadalquivir (FAO-IGME) o el Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas, entre otros (López-Geta & Fornés, 2013). De forma paralela a la ejecución de esos proyectos, el IGME trabajó con la mayoría de las diputaciones provinciales, haciendo innumerables estudios hidrogeológicos para mejorar el abastecimiento a la población. Por dar unas cifras, entre 1975 y 1981, el IGME consiguió abastecer a 584 poblaciones y a más de dos millones y medio de habitantes, mediante el Plan Nacional de Abastecimientos Urbanos. Otro proyecto de gran calado fue el Plan de Gestión y Conservación de Acuíferos, con el que se puso en marcha la primera red de

observación cuantitativa y cualitativa del agua subterránea a nivel nacional (transferida en el año 2002 a la Dirección General de Obras Hidráulicas en las cuencas intercomunitarias). Todos los proyectos aludidos requirieron de la ejecución de sondeos de investigación, de sondeos o pozos de captación de agua subterránea y de la realización de ensayos de bombeo.

En 1945 el IGME creó su primera sección o servicio de sondeos y maquinaria (Marín, 1946), que continuó trabajando ininterrumpidamente hasta 1999, contando con un equipo humano y técnico que pasó a ser el referente y una de las principales señas de identidad de la casa. La Sección de Sondeos-Parque de Maquinaria del IGME tuvo un importante impulso en 1963, gracias a la donación americana de dos máquinas de perforación a percusión | fig. 1 | y otras dos de investigación minera a rotación, las innovadoras Longyear, junto con la adquisición de una sonda de perforación a rotación de circulación directa/inversa, la Failling 1000, y la incorporación de personal muy experimentado procedente del Instituto Nacional de Colonización (López-Geta & Fornés, 2013). Con estos equipos se construyeron algunos pozos de explotación de aguas que siguen operativos a día de hoy. En 1972 se adquirieron dos nuevas sondas de perforación para investigación minera y otra nueva de perforación a percusión. Entre 1979 y 1985



Figura 1. Personal de la Sección de Sondeos del IGME (Pedro Martínez y José Díaz) junto a la sonda de perforación a percusión Speed Star en Jaén, año 1963. Fotografía: Félix Martínez.

se moderniza el parque con la incorporación de otras dos sondas de investigación minera, que permitían alcanzar mayores profundidades. Las sondas de percusión hacían unos 500 m de perforación al año, frente a los 2000 m de las máquinas testigueras. La experiencia adquirida por el IGME durante estos años le permitió diseñar y patentar, en 1991, junto con la empresa Talleres Segovia S. L., un prototipo de equipo de perforación polivalente multitécnico. Esta sonda sirvió de referencia a la mayoría de los equipos de perforación de aguas subterráneas que uno puede ver actualmente por todo el territorio español. Se trata del prototipo Geomitase 45 | fig. 2 |, que podía utilizar los sistemas de perforación a rotación directa con corona, *wireline*, rotación directa e inversa con tricono y trialeta y rotopercusión directa con martillo en fondo.

Fue en 1965 cuando se creó el Grupo de Aforos. Se comenzó con dos aforistas, dos grupos electrógenos y un juego de bombas, que se montaban con un trípode. A comienzo de los setenta se adquirieron nuevos grupos electrógenos y nuevas bombas que permitían elevar caudales de hasta 220 L/s y que fueron utilizados en los proyectos de Cazorla-Hellín-Yecla, del Plan Segura y de la Vega de Murcia. Unos años después, Carlos Ruiz Celaá amplió el instrumental del Grupo con el objetivo de hacer operaciones de



Figura 2. Equipo de perforación GEOMITASE 45, diseñado por el IGME y Talleres Segovia S. L., en Cabañas (Ávila), año 1992. Fotografía: Antonio N. Martínez Sánchez de la Nieta.

desarrollo de pozos mediante las técnicas de acidificación y de adición de polifosfatos y de nieve carbónica. Se compraron grúas hidráulicas, varios camiones y nuevos grupos electrógenos y bombas, con los que ya se podían elevar caudales de hasta 300 L/s a 500 m de profundidad.

El 11 de mayo de 1999, buena parte de los compañeros y todo el instrumental del Servicio de Sondeos y Aforos del entonces ITGE quedaron adscritos al Parque de Maquinaria del Ministerio de Medio Ambiente (MMA), si bien desde este ministerio se siguió dando apoyo al IGME mediante un convenio con el Parque de Maquinaria del MMA (ITGE, 1999). Desde que desapareció su Parque de Maquinaria, el IGME ha continuado haciendo estudios hidrogeológicos para abastecimiento de ámbito más local, diseñando y dirigiendo perforaciones y ensayos de bombeo que pasaron a ser realizados por empresas privadas o por el Parque de Maquinaria del MMA. Con todo, algunos de los antiguos equipos del IGME continuaron trabajando bastantes años en las islas Baleares bajo su supervisión. Pese a esta pérdida, en Andalucía el IGME ha diseñado, proyectado y dirigido más de 600 perforaciones para abastecer a numerosos núcleos urbanos y a ciudades como las de Cádiz, Jaén y Granada, que hubieran quedado sin suministro de agua potable durante los periodos de sequía. La continuidad de

algunos convenios, como el de la Diputación Provincial de Cuenca, también ha permitido mejorar de forma evidente el suministro de agua potable a buena parte de la población de esta provincia.

El trabajo llevado a cabo por la Sección de Sondeos y Aforos tuvo una repercusión directa en la sociedad española. Se garantizó el abastecimiento de muchas poblaciones no conectadas con los grandes sistemas de abastecimiento dependientes del agua superficial, que no contaban con un suministro digno de agua. Su contribución indirecta también fue muy importante. Además de participar en el desarrollo de nuevos equipos de perforación, adaptados a nuestras circunstancias hidrogeológicas, el IGME instauró la aplicación de procedimientos metodológicos y científico-técnicos para el diseño y construcción de captaciones de agua subterránea y para la realización y posterior interpretación de los ensayos de bombeo. Esta mejora del conocimiento caló en otros organismos y sobre todo en el sector privado. Gran parte de las empresas de perforación y de realización de ensayos de bombeo españolas, que hoy son un referente a nivel internacional, se desarrollaron trabajando de forma conjunta con el IGME. Muchas de las hidrogeólogas e hidrogeólogos que hoy trabajamos en el campo de la construcción de pozos hemos tenido la suerte de ser discípulos de los que tanta experiencia adquirieron durante los años en los que el Parque de Maquinaria del IGME estuvo operativo. En este sentido, hay que señalar que, a día de hoy, el libro *Pozos y acuíferos*, del que son autores Manuel Villanueva, jefe de la Sección de Sondeos del IGME

durante sus últimos años, y Alfredo Iglesias, reputado hidrogeólogo, también del IGME, sigue siendo el manual de referencia con el que se inician en la preparación e interpretación de ensayos de bombeo muchos hidrogeólogos de Iberoamérica y España (Villanueva & Iglesias, 1984). Asimismo, hay que mencionar la reciente contribución, en la que han participado miembros del IGME, *Guía de buenas prácticas para el diseño, construcción, sellado y clausura de pozos de captación de agua subterránea*, promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (Martos-Rosillo *et al.*, 2022). Esta guía va a ser utilizada por la Dirección General del Agua como obra de referencia para el futuro y su propuesta de Instrucción Técnica ha sido considerada dentro de la reciente modificación del Real Decreto de Dominio Público Hidráulico.

Aquellas generaciones de profesionales, que partieron prácticamente de cero sin las infraestructuras y los medios tecnológicos actuales, contaron con el apoyo firme de la Administración para poder llevar a cabo la citada metamorfosis de la hidrogeología española. Afortunadamente, para los que hoy nos dedicamos a la investigación del agua subterránea, no lo dejaron todo hecho, pero sí debe ser reconocido el importante salto en el conocimiento hidrogeológico de nuestro territorio. A ello contribuyó de forma decisiva el personal de la Sección de Sondeos y Aforos del IGME y el Parque de Maquinaria. Sirva esta pequeña reseña como homenaje a todos los compañeros que formaron parte de este equipo.

BIBLIOGRAFÍA

ITGE. (1999). *Informe de los trabajos realizados por el Servicio de Sondeos y Aforos del Parque de Maquinaria. Año 1999. Primer y segundo semestre* (Convenio Específico entre el ITGE y el Parque de Maquinaria del Ministerio de Medio Ambien-

te para la Realización de Sondeos y Ensayos de Bombeo). Instituto Tecnológico Geominero de España.

LÓPEZ-GETA J. A., & FORNÉS, J. M. (Eds.). (2013). *100 años de Hidrogeología en España*. Instituto Geológico y Minero de España.

MARÍN, A. (1946). Organización y fines del Instituto Geológico y

Minero de España. Conferencia pronunciada en el Instituto de Ingenieros Civiles el día 1 de mayo de 1945. En *Memoria general anual* (pp. 5-24). Instituto Geológico y Minero de España.

MARTOS-ROSILLO, S., BARÓN, A., & GUARDIOLA-ALBERT, C. (Eds.). (2022). *Guía de buenas prácticas para el diseño, construcción, sella-*

do y clausura de pozos de captación de agua subterránea. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español.

VILLANUEVA MARTÍNEZ, M., & IGLESIAS LÓPEZ, A. (1984). *Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. Instituto Geológico y Minero de España.

7. SEQUÍAS.
LA CONTRIBUCIÓN
DEL IGME
PARA PALIAR
SUS EFECTOS



Dice el refranero que todo el mundo se acuerda de Santa Bárbara cuando truena. Algo parecido ocurre con las sequías, se trabaja intensamente para evitar sus perniciosos efectos cuando ya no tienen remedio, improvisando soluciones con escaso soporte técnico y sin una planificación adecuada. Así ha sucedido durante las sequías de las últimas décadas. En estos periodos se acude a la construcción apresurada de pozos para la captación de aguas subterráneas con el fin de compensar la escasez de recursos hídricos, pero una vez retornan las lluvias, estas infraestructuras caen en el olvido, quedando abandonadas y sin ejecutar las actuaciones previstas. Todo lo anterior no deja de sorprender, ya que las sequías no son algo raro y excepcional, sino un hecho seguro que tendrá lugar, de forma repetida y recurrente, antes o después. De aquí el dicho de que «las sequías se deben resolver cuando llueve». La razón radica en que de esta forma se pueden arbitrar las soluciones más adecuadas de manera planificada y ordenada.

En España, las actuaciones para paliar los efectos de los periodos con escasas precipitaciones están contempladas dentro de la planificación hidrológica, en concreto en los denominados *planes especiales de sequía (PES)*. Salvo excepciones, estos planes apenas consideran la ejecución de obras estructurales que permitan afrontar futuras sequías, sino que se ciñen a establecer restricciones de uso, reordenar re-

ursos y priorizar el abastecimiento según los destinatarios finales. En este contexto, por su naturaleza y características, una planificación hidrológica adecuada que evite restricciones en el suministro de agua durante las sequías debe contar obligatoriamente con la contribución de las aguas subterráneas y con la construcción de infraestructuras específicas que faciliten su utilización en tales situaciones. Estos recursos constituyen un elemento estratégico de primer orden, al disponer de grandes reservas acumuladas, con un volumen muchas decenas de veces superior al de los recursos superficiales, lo que les permite asimilar mejor los ciclos meteorológicos desfavorables. Además de este hecho, varios factores las hacen especialmente idóneas para ser utilizadas, como son su amplia distribución geográfica, próxima a los puntos de consumo, su fácil adaptación a la demanda hídrica, satisfaciendo de modo rápido y eficaz requerimientos excepcionales, la uniformidad en su calidad a lo largo del tiempo y su protección frente a los agentes contaminantes.

En un escenario de cambio climático, con sequías recurrentes, es obligado que se aborden planes de actuación frente a estos eventos extremos, de manera que los diferentes sistemas de abastecimiento no sufran restricciones ni tengan que afrontar apresuradas obras de emergencia. En este asunto, a lo largo de su historia, el IGME ha aportado soluciones basadas en el uso racional de las aguas subterráneas

para minimizar o paliar los efectos adversos de las sequías. Varias han sido las actuaciones realizadas por este organismo, como la identificación y estudio de acuíferos estratégicos que deben preservarse para poder ser utilizados de forma intensiva y ocasional durante estos periodos, de manera que se pueda compensar el déficit creado en los sistemas de abastecimiento. Otra de las actuaciones que conviene destacar es el establecimiento de sistemas de vigilancia y observación de los acuíferos utilizados para tal fin, mediante el diseño y operación de redes de control hidrogeológico (piezométricas, hidroquímicas y foronómicas), que permiten garantizar la viabilidad de las extracciones desde el punto de vista ambiental.

El IGME también ha potenciado la captación de recursos subterráneos en gran número de localidades, por lo que estas poblaciones han estado mejor protegidas frente a los efectos derivados de la escasez pluviométrica, al ser los sistemas de abastecimiento con aguas superficiales mucho más vulnerables y propensos a sufrir las consecuencias de las sequías. Sobre esto cabe recordar uno de sus hitos más relevantes, el Plan de Abastecimientos a Núcleos Urbanos (PANU), que se inició en 1975 y se mantuvo hasta principios de los años ochenta (López Geta, 2000). Han sido muchos los proyectos y actuaciones en los que el IGME ha intervenido, especialmente significativos en la mitad suroriental de España, donde los periodos secos se hacen notar con inusitada intensidad. Desde el año 1981, se colabora con diferentes diputaciones provinciales con las que, solo en Andalucía, se llegan a realizar más de 500 captaciones de agua subterránea. Entre estas, cabe resaltar el abastecimiento a la ciudad de Jaén y a la comarca de Martos (240 000 habitantes), a la comarca de la Loma de Úbeda (100 000 habitantes), y a los 11 pueblos de la sierra del Segura (24 000 habitantes) (Rubio-Campos *et al.*, 2002). Sin embargo, una de las actuaciones de mayor trascendencia fue el abastecimiento a la ciudad de Granada durante la acusada sequía sufrida a mitad de la década de los años noventa del pasado siglo. A partir de los estudios y recomendaciones del IGME se construyeron 10 sondeos a lo largo de la circunvalación sur que permitieron acabar con las restricciones de hasta 16 horas al día en el suministro de agua a la ciudad.

ACTUACIONES DE SEQUÍA PARA EL ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE GRANADA

Las características y condicionantes del acuífero de la Vega de Granada, con unos recursos renovables de 230 hm³/año, le confieren carácter de acuífero estratégico, por lo que puede ser utilizado de forma ocasional e intensiva durante las épocas de escasez hídrica. Para paliar la sequía de los años noventa del siglo xx, el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente perforó diez sondeos para la captación de las aguas del acuífero tomando como base los estudios previos del IGME y sus propuestas. A partir de entonces, estas obras permiten garantizar el abastecimiento a la ciudad de Granada en situaciones similares, evitando los graves problemas de suministro sufridos por la población en el pasado.

Otro de los hitos, en los que las aguas subterráneas han sido vitales, fue el de las obras realizadas por la Generalitat Valenciana y la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) para evitar el desabastecimiento de la ciudad de Valencia y de la zona regable del curso bajo del río Júcar. Tanto durante la sequía de la década de los años noventa del siglo xx como la de la primera década del siglo XXI, se llegaron a construir más de cien perforaciones a lo largo del canal Júcar-Turia y de la Acequia Real para captar las aguas del acuífero de la Plana de Valencia y compensar el déficit hídrico generado por la sequía | fig. 1 |. Al igual que en otros casos, el IGME, además de aportar el conocimiento y los trabajos que sirvieron de base para desarrollar estas actuaciones, colaboró activamente en el seguimiento del comportamiento del acuífero ante el importante incremento de las extracciones, garantizando mediante la aplicación de una metodología específica su viabilidad técnica y medioambiental (IGME-CHJ, 2008).

Numerosas y diferentes actuaciones han sido llevadas a cabo también en otros lugares durante los sucesivos periodos secos, como en la Costa del Sol, Campo de Gibraltar, Bahía de Cádiz, región de Murcia y Cataluña. Si bien,

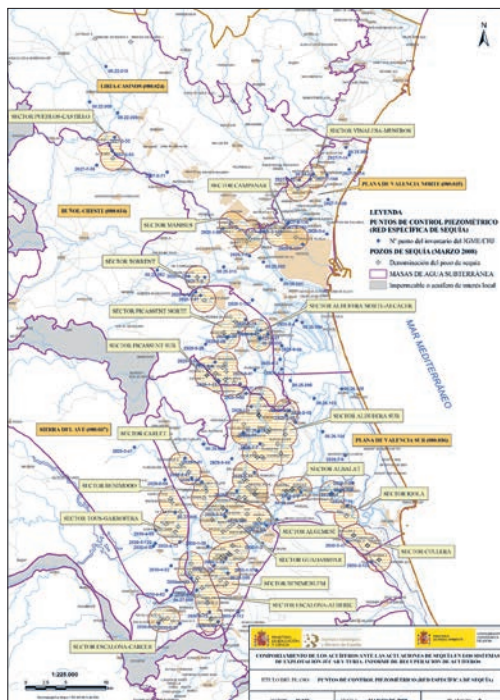


Figura 1. Izquierda, mapa de situación de pozos de sequía y puntos de control piezométrico (IGME-CHJ, 2008). Derecha, ejecución de una perforación en la Plana de Valencia (Fuente: Bruno J. Ballesteros, 2006).

la mayoría de estos trabajos, como se indicó al inicio del texto, han tenido como denominador común la urgencia y la toma de decisiones sobre la marcha. No obstante, a pesar de la premura, y gracias a los estudios y a la implicación del IGME, se lograron resolver muchos problemas.

El futuro, sin embargo, requiere previsión y planificación. En este sentido, la resolución de los conflictos originados por la falta de precipitaciones supera el marco de los actuales PES, que en esencia son solo planes de gestión y optimiza-

ción de recursos. Las alteraciones climáticas que pronostican, entre otros aspectos, un incremento de los periodos secos, obligan a adelantarse a las circunstancias y a disponer de los medios e infraestructuras necesarias para minimizar los daños y los perjuicios que puedan causar a los ciudadanos. Con esta finalidad, es imprescindible que dichas actuaciones sean abordadas dentro de un plan estratégico destinado de forma conjunta tanto a la mitigación de las sequías como a los efectos derivados del cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

IGME-CHJ. (2008). *Comportamiento de acuíferos ante actuaciones de sequía en los Sistemas de Explotación Júcar y Turia* (Informe de recuperación de acuíferos). Fondo documental del IGME, Documento 63694. Instituto Geológico y

Minero de España-Confederación Hidrográfica del Júcar. <http://info.igme.es/ConsultaSID/presentacion.asp?Id=133434>

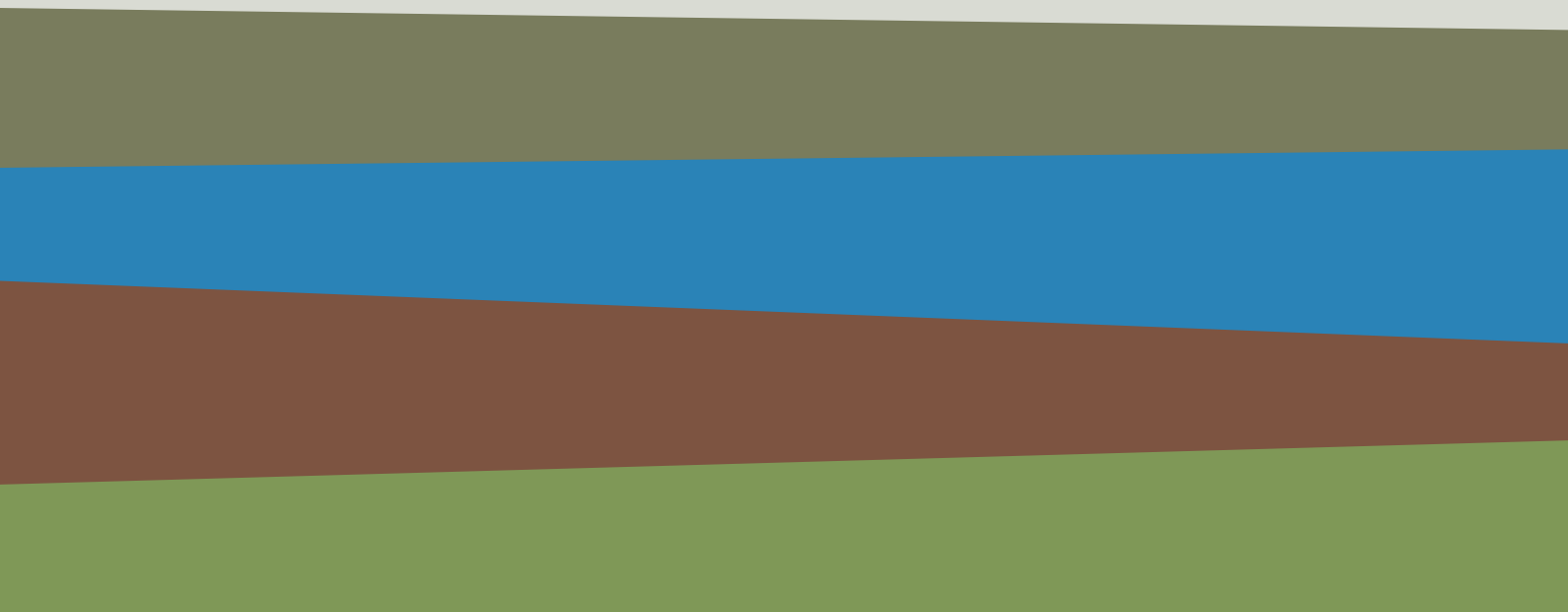
LÓPEZ-GETA, J. A. (2000). Contribución del Instituto al conocimiento y protección de las aguas subterráneas en España. En E. Custodio Gimena & A. Huerga Rodríguez (Eds.), *Ciento cincuenta*

años, 1849-1999. Estudio e investigación en Ciencias de la Tierra (pp. 199-233). Instituto Tecnológico Geominero de España.

RUBIO-CAMPOS, J. C., LÓPEZ-GETA, J. A., GONZÁLEZ-RAMÓN, A., ORTUÑO-ALCARAZ, I., GAY-TORRES, J. J., MEDINA-VERNALTE, A., PEINADO-PARRA, T., SANTIAGO-MARTÍN, A., & ORTEGA VAR-

GAS, R. (2002). Uso sostenible de los acuíferos del Alto Guadalquivir para abastecimiento a las comarcas de la Sierra de Segura y de la Loma de Úbeda. En J. A. López Geta & J. C. Rubio Campos (Eds.), *Jornadas Presente y Futuro de las Aguas Subterráneas en la Provincia de Jaén* (pp. 331-334). Instituto Geológico y Minero de España.

8. USO CONJUNTO
Y RECARGA
ARTIFICIAL



Desde tiempos inmemoriales, el ser humano ha sido capaz de aprovechar las aguas subterráneas como complemento a las aguas superficiales cuando y donde estas últimas han escaseado. Inconscientemente, en esos inicios, ya se estaba haciendo un uso conjunto de los recursos hídricos. Pero si nos circunscribimos a tiempos más recientes, en los que ya se tiene plena consciencia de la interrelación entre las diferentes componentes del ciclo hídrico (superficial y subterránea), cabría señalar que el concepto moderno de uso conjunto hace referencia a la utilización de agua de diferentes orígenes para satisfacer las demandas de un sistema de una forma óptima y sostenible. Se trata de aprovechar los recursos superficiales, subterráneos y alternativos, como pueden ser las aguas residuales depuradas o las procedentes de desalación, y aplicarlos a los diferentes usos (urbanos, agrícolas, industriales, ecológicos u otros) en función de sus características de calidad. Además, este aprovechamiento debe ser sostenible en el tiempo y respetuoso con los ecosistemas naturales asociados.

La utilización conjunta implica, asimismo, la aplicación de diferentes esquemas y técnicas de gestión con el objetivo de optimizar la distribución espacial y temporal del recurso, para satisfacer así las demandas en el momento y lugar adecuados. El uso alternativo o preferente de recursos superficiales en periodos húmedos y subterráneos en periodos secos es probablemente el esquema de gestión conjunta más común. Otra técnica aplicada ampliamente en muchos países (EE. UU., Israel, etc.), y con numerosas

actuaciones también en España, es la recarga artificial de acuíferos.

El IGME, consciente no solo de que el uso conjunto de aguas superficiales, subterráneas y no convencionales constituía una de las técnicas que más podía aportar al desarrollo de la Directiva Marco del Agua, sino también de la urgente necesidad de formar especialistas en dicha temática, abordó, a través de un convenio de colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), la realización de un libro, que tituló *Modelos de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas* (Sahuquillo *et al.*, 2010), que sirviera de referente y consulta para los profesionales en activo, pero también de texto pedagógico para los estudiantes que se estaban especializando en gestión hídrica.

El IGME ha seguido colaborando con la UPV en el estudio de las posibilidades del uso conjunto (Sahuquillo *et al.*, 2022), desarrollando, además, una intensa actividad investigadora en relación con la integración de la componente subterránea en modelos de uso conjunto. Esta actividad queda patente en el liderazgo de proyecto competitivos nacionales, algunos de ellos vigentes (como STAGES-IPCC y SIGLO-PRO) y diversos artículos de investigación (Pulido-Velazquez *et al.*, 2011; Gómez-Gómez *et al.*, 2022).

Al tiempo que veía la luz la obra anterior, el IGME también promovió, junto con la Diputación Provincial de Alicante, la realización de una publicación de carácter divulgativo y educacional titulada *Desarrollo sostenible, uso conjunto y gestión integral de recursos hídricos* (IGME-DPA,



Figura 1. Balsa de recarga en el acuífero aluvial del río Llobregat.
Fotografía: Jose Antonio de la Orden.

2010). Esta se dirigía principalmente a los usuarios del recurso hídrico y a los políticos implicados en su gestión, ya que el éxito de una operación de uso conjunto precisa de acuerdos y pactos entre los distintos actores que intervienen en su uso y la administración. En dicha publicación, junto a conceptos legales, normativos y técnicos, también se describían y analizaban los principales estudios de uso conjunto realizados por el IGME en la provincia de Alicante. Estos se localizaban en las comarcas de la Marina Baja, Alto y Medio Vinalopó y Vega Baja del Segura.

En cuanto a recarga artificial de acuíferos, a mediados de los años ochenta, el entonces Instituto Tecnológico Geo-

minero de España inició, como organismo asesor, una serie de actuaciones en distintas zonas de España, como Guadix, valle del Esgueva, valle del río Oja, Jaén, las provincias de Sevilla, Alicante o Barcelona y la isla de Mallorca, que le permitieron adquirir una amplia experiencia en el desarrollo y control de esta tecnología y lo colocaron en una posición privilegiada de cara al futuro, con la posibilidad de participación en nuevos proyectos. Al ser dichas experiencias de distinta duración y magnitud en cuanto a los volúmenes recargados, en su conjunto demostraron que la recarga artificial es una técnica de apoyo fundamental para la planificación hidrológica (Orden, 2017).

Cabe resaltar, por su importancia o duración, los proyectos llevados a cabo en la masa de agua subterránea o80.164, «Ondara-Denia», en el sector Vergel-Els Poblets, en la cuenca del río Girona (Alicante) y en el acuífero aluvial del río Llobregat, en el término municipal de Castellbisbal (Barcelona). En la primera de ellas, aún en funcionamiento, se utilizaron excedentes de agua de origen tanto superficial (excedentes de ríos) como subterráneo (excedentes de galerías de drenaje), aumentando hasta en un 20 % los recursos disponibles en el acuífero (ITGE-DPA, 1999). En la segunda, se opera desde 2007 una balsa de recarga | fig. 1 | que utiliza excedentes del río Llobregat para infiltrarlos y aumentar los recursos disponibles de la Comunidad de Usuarios de la Cubeta de Sant Andreu, socia del IGME en el proyecto. En este proyecto, se profundizó en los estudios de la colmatación en las balsas de recarga.

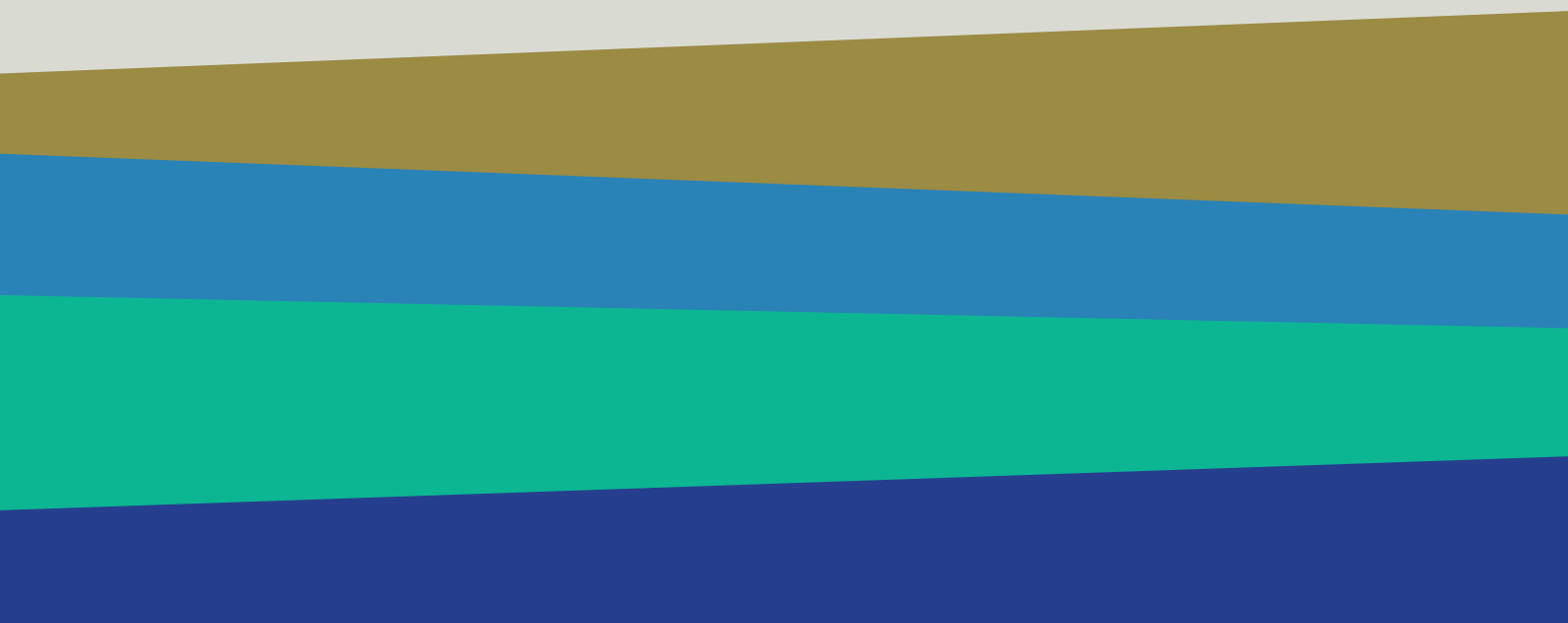
Recientemente, el IGME inició una línea de investigación sobre sistemas ancestrales de manejo del agua en los

que se realizan técnicas de siembra (por ejemplo, recarga) y cosecha del agua (SyCA) mediante el uso conjunto del agua superficial y subterránea. En Sierra Nevada se utilizan las «acequias de careo», con las que se infiltra la escorrentía generada durante el deshielo, que va, por ende, recargando los acuíferos de ladera. Este recurso hídrico se recupera posteriormente en ríos y manantiales, durante los periodos de estiaje (Martos-Rosillo *et al.*, 2019). Se ha demostrado que, mediante este sistema de SyCA, se puede duplicar la recarga natural de la cuenca hidrológica donde se aplica (Jódar *et al.*, 2022b). Este sistema es uno de los ejemplos conocidos más longevo en Europa de gestión del recurso hídrico mediante el uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas. Además, ha demostrado ser un ejemplo de resiliencia y adaptación al cambio climático y, por todo ello, debe ser considerado, como un activo más en la gestión del recurso hídrico en el complejo proceso de la transición ecológica en el que nos encontramos actualmente (Jódar *et al.*, 2022a).

BIBLIOGRAFÍA

- GÓMEZ-GÓMEZ, J. D., PULIDO-VELÁZQUEZ, D., COLLADOS-LARA, A. J., & CHACÓN, F. (2022). The impact of climate change scenarios on droughts and their propagation in an arid Mediterranean Basin. A useful approach for planning adaptation strategies. *Science of The Total Environment*, 820, 153128. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153128>
- IGME-DPA. (2010). *Desarrollo sostenible, uso conjunto y gestión integral de recursos hídricos. Estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante*. Instituto Geológico y Minero de España; Diputación Provincial de Alicante.
- ITGE-DPA. (1999). *Recarga artificial de acuíferos. Síntesis metodológica. Estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante*. Instituto Tecnológico Geominero de España; Diputación Provincial de Alicante.
- JÓDAR, J., MARTOS-ROSILLO, S., CUSTODIO, E., MATEOS, L., CABELLO, J., CASAS, J., SALINAS-BONILLA, M. J., MARTÍN-CIVANTOS, J. M., GONZÁLEZ-RAMÓN, A., ZAKALUK, T., HERRERA-LAMELI, C., URRUTIA, J., & LAMBÁN, L. J. (2022a). The recharge channels of the Sierra Nevada range (Spain) and the Peruvian Andes as ancient nature-based solutions for the Ecological Transition. *Water*, 14(19), 3130. <https://doi.org/10.3390/w14193130>
- JÓDAR, J., ZAKALUK, T., GONZÁLEZ-RAMÓN, A., RUIZ-CONSTÁN, A., MARÍN LECHADO, C., MARTÍN, CIVANTOS, J. M., CUSTODIO, E., URRUTIA, J., HERRERA, C., LAMBÁN, L. J., DURÁN, J. J., & MARTOS-ROSILLO, S. (2022b). Artificial recharge by means of careo channels versus natural aquifer recharge in a semi-arid, high-mountain watershed (Sierra Nevada, Spain). *Science of The Total Environment*, 825, 153937. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153937>
- MARTOS-ROSILLO, S., RUIZ-CONSTÁN, A., GONZÁLEZ-RAMÓN, A., MEDIIVILLA, R., MARTÍN-CIVANTOS, J. M., MARTÍNEZ-MORENO, F. J., JÓDAR, J., MARÍN-LECHADO, C., MEDIALDEA, A., GALINDO-ZALDIVAR, J., PEDRERA, A., & DURÁN, J. J. (2019). The oldest managed aquifer recharge system in Europe: New insights from the Espino recharge channel (Sierra Nevada, southern Spain). *Journal of Hydrology*, 578, 124047. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124047>
- ORDEN, J. A. de la. (2017). *Recarga artificial de acuíferos*. Los Libros de la Catarata.
- PULIDO-VELÁZQUEZ, D., GARROTE, L., ANDREU, J., MARTÍN-CARRASCO, F. J., & IGLESIAS, A. (2011). A methodology to diagnose the effect of climate change and to identify adaptive strategies to reduce its impacts in conjunctive-use systems at basin scale. *Journal of Hydrology*, 405, 110-122. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.014>
- SAHUQUILLO, A., CASSIRAGA, E., GÓMEZ-HERNÁNDEZ, J. J., ANDREU, J., PULIDO-VELÁZQUEZ, M., PULIDO-VELÁZQUEZ, D., ÁLVAREZ-VILLA, O. D., & ESTRELA, T. (2022). Management alternatives of aquifer storage, distribution, and simulation in conjunctive use. *Water*, 14, 2332. <https://doi.org/10.3390/w14152332>
- SAHUQUILLO, A., CASSIRAGA, E., SOLERA, A., & MURILLO, J. M. (Eds.). (2010). *Modelos de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas*. Instituto Geológico y Minero de España.

9. EL IGME
Y LA PLANIFICACIÓN
HIDROLÓGICA
ESPAÑOLA



La ordenación y la utilización de los recursos hidrológicos en España se inicia a finales de los años 1970 con la promulgación del Real Decreto 3029/1979 de 7 de diciembre, por el que se regula la realización de estudios previos para la planificación hidrológica (*BOE*, n.º 17, de 19.01.1980). Por primera vez se formula este concepto y se establece para su elaboración y aprobación una estructura jerarquizada en planes de cuenca por demarcaciones hidrográficas y enmarcados dentro de un Plan Hidrológico Nacional.

Con la promulgación de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas (*BOE*, n.º 189, de 08.08.1985), se estructuran formalmente los planes hidrológicos de cuenca, en los que se diferenciaban dos partes: la primera, la documentación básica y el proyecto de directrices, y la segunda, la elaboración del propio plan, que contemplaba tres horizontes temporales, actual (fecha de realización), primer horizonte o medio plazo (diez años) y segundo horizonte o largo plazo (veinte años). En este primer plan hidrológico las aguas subterráneas fueron incorporadas al dominio público hidráulico, lo que hacía imprescindible conocer las características hidrogeológicas del país, por lo que el IGME participó intensa y activamente en todas las etapas de ese laborioso y largo proceso, que se inició en 1979 y culminó en 1998.

Los estudios que se utilizaron para ese cometido fueron los realizados por el Servicio Geológico de Obras Públicas y

por el IGME, sustanciados en una ingente documentación, a partir de los cuales se establecieron las unidades hidrogeológicas (SGOP-IGME, 1990) como unidad de gestión de los recursos subterráneos. Esto fue posible gracias a la labor de investigación que se había iniciado de manera sistemática en la mayor parte del territorio español, tanto peninsular como insular, a finales de los años 1960 a través del Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS). Con la implantación posterior de las primeras redes de control de las aguas subterráneas, se determinaron las condiciones del flujo subterráneo y el régimen de funcionamiento de los acuíferos. También se obtuvieron los primeros balances hídricos de los acuíferos, así como la calidad química de sus recursos y grado de utilización.

En el año 2000, con la aprobación de la Directiva Marco del Agua (DMA) 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (*DOCE*, n.º 327, de 22.12.2000), por la que se establece el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de agua, se procede a modificar y adaptar los objetivos de la planificación hidrológica al uso sostenible de los recursos hídricos, acorde con el respeto al medioambiente, que implique la compatibilidad de la satisfacción de las demandas con la consecución del buen estado y protección de las aguas superficiales y subterráneas. La aplicación práctica de esta directiva se concreta en la elaboración de

los planes hidrológicos de cuenca, cuya actualización se efectúa cada seis años. En este marco normativo, y desde el punto de vista administrativo, la intervención del IGME en el proceso se formaliza mediante su integración, como parte interesada, en las juntas de gobierno, consejos del agua y comisiones de planificación hidrológica de las demarcaciones hidrográficas, así como en las mesas territoriales y sectoriales ambiental e investigación, en representación del ministerio de adscripción.

En todas las fases de la planificación hidrológica: documentos iniciales, esquema de temas importantes y redacción del propio plan hidrológico, la participación del IGME ha sido esencial. Una de las formas de colaboración ha consistido en la transferencia a las respectivas confederaciones hidrográficas de toda la información disponible, así como en las consideraciones, recomendaciones y alegaciones aportadas a los documentos generados en las respectivas fases del proceso. Otra de las formas de contribución del IGME se ha canalizado a través de convenios y encomiendas de gestión entre este organismo, las confederaciones hidrográficas y la Dirección General del Agua. Toda esta actividad ha permitido definir las masas de agua subterránea (MASb), basadas inicialmente en las unidades hidrogeológicas, y establecer paulatinamente otras nuevas en función del progreso en el conocimiento que se iba adquiriendo de los recursos hídricos subterráneos.

Otra de las actuaciones y contribuciones del IGME a la planificación del dominio público hidráulico —no menos importante que las anteriores— han sido sus aportaciones a los planes de sequía, cuya elaboración y posterior revisión y actualización son objeto de comentarios y sugerencias mediante la emisión de los correspondientes informes, un tema al que se dedica un capítulo de este mismo libro. También, en cuencas con importantes extracciones de aguas subterráneas, los estudios y análisis realizados por este instituto para cuantificar la sobreexplotación de los acuíferos y evaluar sus recursos renovables han sido y son esenciales para establecer actuaciones que permitan alcanzar su buen estado cuantitativo y cualitativo. Así, se ha intervenido en los procesos de declaración de sobreexplotación de MASb y en los de evaluación de impacto ambiental por el funcio-

namiento de los llamados *pozos de sequía*, contribuyendo activamente con sus conocimientos a las comisiones de seguimiento ambiental.

Dentro del amplio espectro de colaboración que siempre ha prestado el IGME, en la actual etapa de apoyo a los procesos de planificación hidrológica realizados bajo el influjo de los criterios y directrices establecidas por la DMA, caben destacar, no solo por el trabajo científico y técnico realizado, sino también por el buen entendimiento que los ha presidido, tres hitos importantes: el Libro Blanco de las Aguas Subterráneas (LBAS), la encomienda de gestión 2007-2010 y la encomienda de gestión 2017-2023.

El LBAS (1994) formaliza en dieciséis programas de actuación el mandato formulado en la reunión interministerial de La Haya de 1991, que recogía las acciones que deberían emprender los países comunitarios para proteger el recurso hídrico subterráneo. Estos programas no solo obedecían a la realidad que representaban las aguas subterráneas en España en ese momento, sino que también diseñaban una proyección a futuro para mejorar, garantizar y ampliar la disponibilidad de dichos recursos dentro de un marco de sostenibilidad, protección y conservación. Estas propuestas, enmarcadas en los objetivos y medidas del Plan Hidrológico Nacional y de los planes hidrológicos de cuenca, consideraban tanto al medio hídrico estrictamente subterráneo como a las aguas almacenadas o circulantes por los cauces, pero ligadas a descargas subterráneas. Dentro de ese contexto, el IGME tuvo especial protagonismo en el desarrollo de los programas relativos a actualización del inventario de recursos naturales de agua subterránea, redes oficiales de vigilancia y control, sobreexplotación y salinización, perímetros de protección de captación de agua potable, protección de zonas húmedas y otros espacios naturales, abastecimiento a núcleos urbanos, recarga artificial y uso conjunto.

La encomienda de gestión 2007-2010, suscrita entre los Ministerios de Medio Ambiente y Educación y Ciencia, y encargada al IGME, tenía como objetivo la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas, a fin de mantener sus funciones potenciales y lograr una gestión sostenible,

mediante un enfoque que armonizara los procesos cualitativos y cuantitativos, de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Aguas, en la DMA y en la Directiva sobre protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro (Directiva 2006/118/CE, DOCE, n.º L372, de 27.12.2006). En dicha encomienda el IGME llevó a cabo, entre otros estudios, el de la caracterización adicional de las MASb en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015, la interrelación entre aguas superficiales y subterráneas, manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico, el mapa piezométrico de España, el establecimiento de indicadores de intrusión marina y cálculo de descargas ambientales al mar en MASb costeras, y la selección e identificación de masas de agua donde es preciso plantear estudios y actuaciones de recarga artificial de acuíferos. Un número muy significativo de estos estudios tenían como objetivo ampliar y mejorar el conocimiento hidrogeológico de ciertas variables y parámetros necesarios para desarrollar una nueva versión del modelo SIMPA de precipitación-aportación (Estrela & Quintas, 1996; Ruiz, 1998).

Por último, en la encomienda de 2017-2023, encargada al IGME por la Dirección General del Agua, una de las dos actividades ha sido, precisamente, el apoyo y supervisión de la nueva algoritmia que el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) está desarrollando para mejorar el código SIMPA en lo que respecta a la modelización de la fase subterránea del ciclo hídrico, así como

facilitar todos los datos hidrogeológicos y geoespaciales necesarios para alimentar dicho código. La otra actividad ha consistido en caracterizar y determinar los recursos hídricos subterráneos de las MASb compartidas por dos o más demarcaciones hidrográficas.

Bajo una visión retrospectiva, es evidente que los trabajos y estudios realizados por el IGME han sido útiles, por no decir fundamentales, para la planificación hidrológica. Sin ellos se hubiera carecido de una información imprescindible para realizarla adecuadamente. No obstante, en este sentido todavía queda mucho por hacer y, sobre este asunto, el IGME es un centro nacional del CSIC que puede contribuir a mejorar sustancialmente la gestión de los recursos hídricos de este país, en particular, y la vida de sus ciudadanos, en general.

BIBLIOGRAFÍA

ESTRELA, T., & QUINTAS, L. (1996). El sistema integrado de modelización precipitación-aportación SIMPA. *Revista de Ingeniería Civil*, 104, 43-52.

LBAS. (1994). *Libro Blanco de las Aguas Subterráneas*. Dirección General de Obras Hidráulicas, Dirección General de Calidad de

las Aguas, Instituto Tecnológico Geominero de España.

RUIZ, J. M. (1998). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual distribuido de simulación continua integrado con un SIG* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia.

SGOP-IGME. (1990). *Unidades Hidrogeológicas de la España Peninsular y de las Islas Baleares*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

10. LA HIDROGEOLOGÍA
AMBIENTAL:
HUMEDALES Y ESPACIOS
NATURALES PROTEGIDOS



JAVIER HEREDIA DÍAZ
MIGUEL MEJÍAS MORENO
CAROLINA GUARDIOLA-ALBERT
JUAN JOSÉ DURÁN VALSERO
LUIS MORENO MERINO
FERNANDO RUIZ BERMUDO
ROSA MEDIAVILLA LÓPEZ
HÉCTOR AGUILERA ALONSO
ALMUDENA DE LA LOSA ROMÁN
RAQUEL MORALES GARCÍA

Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC

Humedal es una voz moderna que indica una zona con plantas freatófitas que crecen en suelos hídricos, periódicamente saturada o cubierta de agua. La acumulación de agua depende de una geomorfología favorable y de la conexión con un sistema hídrico. Los humedales desempeñan un rol fundamental en los ciclos del agua, oxígeno, carbono, nitrógeno y fósforo. La sociedad identifica como beneficiosos a muchos de los resultados de estos ciclos, denominándolos servicios ecosistémicos y su puesta en valor se produce según avanza el conocimiento. Si bien históricamente los humedales fueron fuente de abastecimiento (agua, pesca y caza), hasta que no se controlaron sus condiciones de salubridad, la acción de la sociedad fue desecarlos. El cambio de paradigma se produjo en la década del sesenta del siglo pasado. Desde entonces, entre sus servicios más destacados, se los valora como fuente de biodiversidad. El Convenio Internacional de Ramsar en 1972 fue un hito de este cambio.

En España este cambio se aprecia en la evolución legislativa, desde la llamada Ley Cambó de 1918 (*Gaceta de Madrid*, n.º 208, de 27.07.1918), que promovía la desecación

de lagunas y marismas, hasta Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (*BOE*, n.º 299, de 14.12.2007), que considera la preservación de los humedales como una prioridad. La actividad del IGME también refleja este devenir, al pasar de evaluar los recursos hídricos subterráneos para un uso agrícola eficiente, sin ofrecer a los humedales una consideración particular a que, desde hace más de cuarenta años, la preservación de estos ecosistemas sea un objetivo prioritario en sus investigaciones.

El IGME ha realizado estudios regionales como HIDROHUMED, Hidrogeología de las Zonas Húmedas del Litoral Mediterráneo (2001-2005), cuyas líneas de investigación fueron el análisis hidrogeológico de los humedales españoles del Convenio de Ramsar y el desarrollo de una metodología para la caracterización de humedales mediante modelos geológicos, su conceptualización hidrogeológica y la composición química e isotópica de sus aguas. Sus resultados se consideran una referencia en la cuenca mediterránea (Durán *et al.*, 2003, 2005). El IGME participó en la VIII Conferencia de las partes de la Convención de Ramsar-COP8 (Valencia, 2002). En dicha conferencia se

aprobó la *Resolución VIII.40 Lineamientos para compatibilizar el uso de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales*, promovida por Ramón Llamas y la Fundación Botín. Igualmente, el IGME ha organizado eventos como el taller «Grupos de investigación para la gestión hídrica de los humedales andaluces» (Jaén, 2007), en la comunidad autónoma con el mayor número de espacios de España en la Lista Ramsar. A la par de estas acciones, se han editado libros divulgativos (López Geta & Fornés, 2009; Heredia, 2019) y mapas (IGME, 2015), con especial atención a los servicios ecosistémicos.

Durante los últimos cuarenta años, el IGME ha realizado una intensa labor de investigación hidrogeológica para contribuir a la gestión y preservación de humedales específicos, entre otros, las albuferas de Valencia, Mallorca y Adra, el marjal de Pego-Oliva, las lagunas de Gallocanta y Fuente de Piedra, el conjunto fluvio-lacustre de Ruidera, y los humedales de los parques nacionales Tablas de Daimiel y Doñana, así como trabajos internacionales en humedales mediterráneos e iberoamericanos. Sobre estos dos últimos, por su carácter de Parque Nacional, por ser los primeros humedales españoles inscritos en la lista de Ramsar y debido a la complejidad de su gestión hídrica, se ofrece a continuación una breve revisión de lo actuado.

PARQUE NACIONAL DE LAS TABLAS DE DAIMIEL

Las Tablas de Daimiel fueron declaradas Parque Nacional (PNTD) en 1973. En 1980 se reclasificó el PNTD, y se delimitaron las zonas de protección e influencia, se establecieron medidas de conservación de las aguas subterráneas, principal soporte del ecosistema, y se conformó el Patronato, del cual forma parte el IGME. Los estudios del IGME sobre hidrogeología e hidroquímica del PNTD comenzaron en la década de 1970 y se continúan hasta la actualidad (Mediavilla, 2012).

El PNTD estaba fuertemente alterado respecto a su régimen hidrológico natural desde su creación. En 1983 debido a la sobreexplotación de las aguas subterráneas, cesó el

flujo en los Ojos del Guadiana. Para mitigar esta situación se construyeron dispositivos hidráulicos y se ejecutaron trasvases desde la cuenca del Tajo, transformando aún más el humedal (Mejías, 2014). El río Guadiana no volvería a llevar agua al PNTD hasta 2012 cuando, tras el ciclo húmedo 2009-2013, los Ojos del Guadiana volvieron a drenar el acuífero. La descarga se fue agotando hasta secarse nuevamente en el verano de 2017, manteniéndose en este estado a causa del período seco 2014/2023 y a la continuidad de la extracción intensiva de las aguas subterráneas. Estos cambios extremos, desde su inundación completa hasta su total desecación | fig. 1 | se han repetido a lo largo de los últimos cincuenta años y su importancia trasciende la simple alteración del balance hídrico. Desde los primeros tiempos del PNTD, la acción humana, tanto en los casos en que procuró paliar los impactos negativos sobre el Parque como con la sobreexplotación del acuífero, produjo un incremento de la complejidad hidrológica al modificar el origen del agua y alterar el quimismo del agua subterránea, aumentando la salinidad y, principalmente, los nitratos de origen agrícola. Esta degradación hídrica cuantitativa y cualitativa, deterioró gravemente el humedal.

La situación más crítica ocurrió en 2009, cuando la superficie inundada alcanzó mínimos históricos debido a una fuerte sequía y al descenso de los niveles piezométricos. Esto provocó una rápida degradación del lecho de la laguna, al desaparecer la masiega y las praderas de algas acuáticas (ovas), y propagarse el carrizo de forma explosiva. En zonas como la entrada del río Guadiana y la presa del Morenillo, las turbas alcanzaron su humedad crítica y entraron en combustión, haciendo peligrar la estructura misma del humedal. El IGME analizó el proceso de desecación del terreno, la génesis de los incendios y sus consecuencias ambientales, desarrollando un modelo matemático de flujo de agua en el suelo para prever la desecación de las turberas, el momento de su combustión y la expansión del carrizo (Aguilera *et al.*, 2016). El modelo se propuso como herramienta de gestión del PNTD en periodos de sequía extrema. Estos eventos alteraron gravemente la funcionalidad ambiental del humedal y degradando su integridad ecológica.



Figura 1. Arriba, vista de la zona de las pasarelas del PNTD en el año 2014, con el máximo de hectáreas inundadas. Abajo, año 2023, con el humedal profundamente afectado por el período seco 2014/2023. Fotografías: M. Mejías y R. Ochando.



Figura 2. Trabajos de investigación del IGME en Doñana.

El IGME ha estado presente en el área de Doñana desde 1965, cuando el Fondo Mundial de las Naciones Unidas y el Gobierno de España acuerdan un Plan de Operaciones para la investigación hidrogeológica en la cuenca del Guadalquivir (1966-1969). Doñana fue declarado Parque Nacional (PND) en 1969, y el IGME se integró en el Patronato desde su creación y ha asesorado sobre la gestión de los recursos hídricos a través del Grupo de Investigación y del Grupo de Aguas. Los resultados del Proyecto Guadalquivir-FAO propiciaron el Plan de Transformación Almonte-Marismas (FAO, 1972) y la ejecución inicial de 460 sondeos de explotación. Así, en los años setenta se abordó una transformación para regadío con aguas subterráneas que esperaba alcanzar más de 2000 ha, basado en una disponibilidad hídrica prevista de 160 hm³/año. Sin embargo, los recursos reales disponibles resultaron ser muy inferiores a lo estimado, y se evidenció la necesidad de estudiar el impacto ecológico de poner en riego esta extensa superficie (Martín Machuca *et al.*, 1992).

El IGME, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) y el Instituto Andaluz de Reforma Agraria abor-

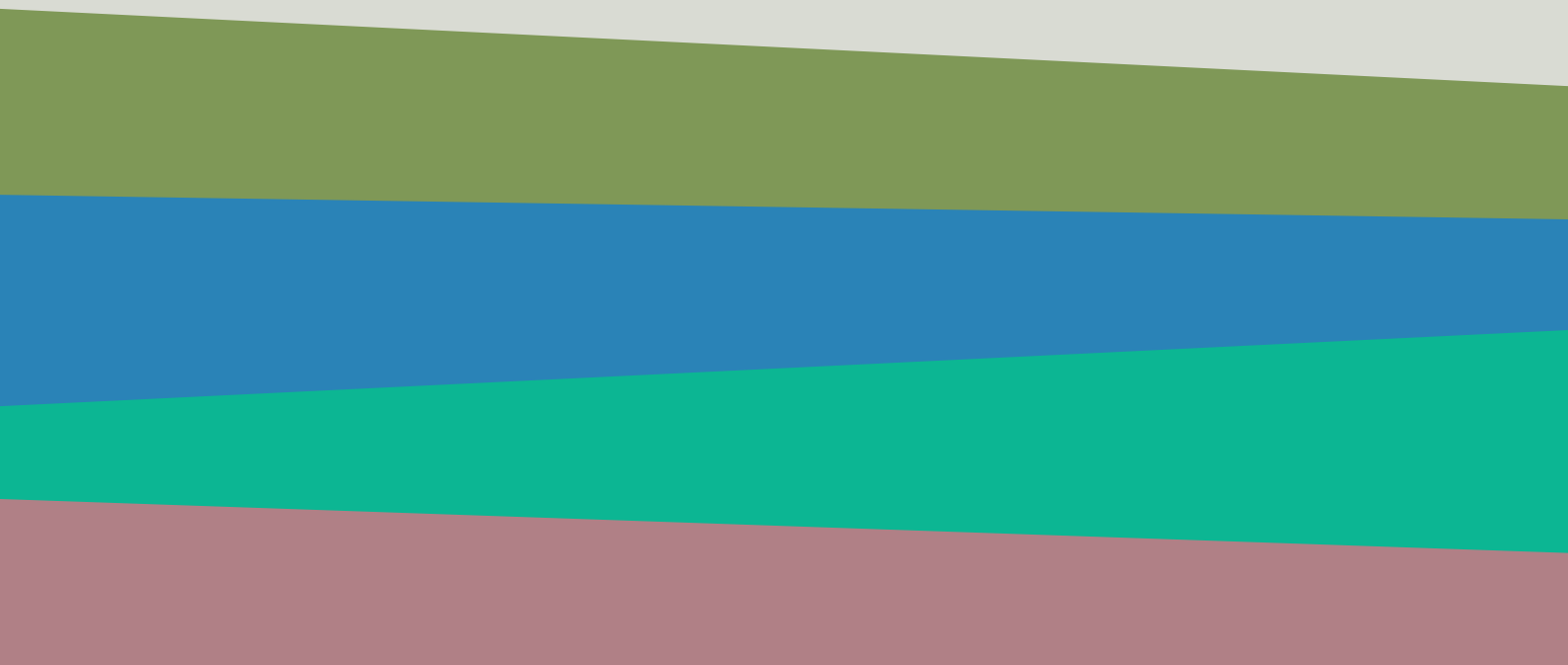
daron el primer estudio de impacto ambiental acerca de la incidencia sobre el PND (1979) de las extracciones de aguas subterráneas previstas, planteando la necesidad de compatibilizar conservación y desarrollo. El incremento del área de cultivo regada a lo largo de cinco décadas, hasta las actuales 20 000 ha, modificó radicalmente el funcionamiento natural del acuífero. Resultado de ello son el desarrollo de un extenso cono de 20 m de depresión piezométrica, la reducción del hidroperíodo y de la superficie inundada de numerosas lagunas, la merma de los flujos que alimentaban criptohumedales, ecotonos y arroyos, y la pérdida de condiciones de surgencia en pozos.

El IGME tuvo un rol destacado en el control piezométrico del acuífero Almonte-Marismas hasta mediados de la década de 1990, cuando la responsabilidad pasó a la CHG. Desde 2007, el IGME colabora con la CHG en la gestión del acuífero mediante convenios y encomiendas, habiendo sido sus trabajos fundamentales en lo referente a Doñana en todos los Planes Hidrológicos de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. El IGME continúa manteniendo 170 puntos y 48 sensores de observación y realizando campañas anuales | fig. 2 |.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, H., MORENO, L., WESSELING, J. G., JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, M. E., & CASTAÑO, S. (2016). Soil moisture prediction to support management in semiarid wetlands during drying episodes. *Catena*, 147, 709-724.
- DURÁN, J. J., GARCÍA DE DOMINGO, A., & LÓPEZ GETA, J. A. (2003). *Hydrogeological characterization of Spanish wetlands included in Ramsar Convention*. Instituto Geológico y Minero de España.
- DURÁN, J. J., GARCÍA DE DOMINGO, A., LÓPEZ GETA, J. A., ROBLEDO, P. A., & SORIA, J. M. (2005). *Humedales del Mediterráneo español: modelos geológicos e hidrogeológicos*. Instituto Geológico y Minero de España.
- FAO. (1972). *Proyecto piloto utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir* (Proyecto de transformación de la zona regable Almonte-Marismas; Inf. Tec. AGL: SF/SP16). http://info.igme.es/SidPDF/018000/696/Informe%20t%C3%A9cnico%20n%C2%B0201/18696_0001.pdf
- HEREDIA DÍAZ, J. G. (2019). *Humedales: un recorrido por los ecosistemas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos*. Libros de la Catarata.
- IGME, UNEP-MAP, UNESCO-IHP. (2015). *Map of selected coastal Mediterranean wetlands* (Strategic Partnership for the Mediterranean Sea Large Marine Ecosystem). Madrid, Spain.
- LÓPEZ GETA, J. A., & FORNÉS, J. M. (Eds.). (2009). *La geología e hidrogeología en la investigación de humedales*. Instituto Geológico y Minero de España.
- MARTÍN MACHUCA, M., LÓPEZ GETA, J. A., LÓPEZ VÍLCHEZ, L., MANTECÓN, R., CANTOS, R., & COLETO, I. (1992). *Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno*. IGME.
- MEDIAVILLA, R. (Ed.). (2012). *Las Tablas de Daimiel: agua y sedimentos*. Instituto Geológico y Minero de España.
- MEJÍAS, M. (Ed.). (2014). *Las Tablas y los Ojos del Guadiana: agua, paisaje y gente*. IGME; Organismo Autónomo Parques Nacionales.

11. LA HIDROGEOLOGÍA
ESPAÑOLA
EN LOS INICIOS
DEL SIGLO XXI



Desde su nacimiento como ciencia a mediados del siglo XIX, de forma casi simultánea con el del IGME, la hidrogeología en España se desarrolló paulatinamente, pero no fue hasta las décadas de los años sesenta, setenta y mitad de los ochenta del siglo pasado cuando lo hizo de manera relevante. Los trabajos llevados a cabo durante esas décadas, tanto los realizados por el propio IGME como por la universidad y otros organismos públicos nacionales e internacionales, permitieron crear una sólida base del conocimiento hidrogeológico general del país. Tras la Ley de Aguas de 1985 (*BOE*, n.º 189, de 08.08. 1985), la responsabilidad de la gestión de los recursos hídricos subterráneos, ya incorporados al dominio público, recayó en los organismos de cuenca. Esto supuso un cambio importante en la investigación hidrogeológica e incidió especialmente en el papel jugado hasta entonces por el IGME y por las confederaciones hidrográficas, ya que estas últimas tuvieron que incorporar las aguas subterráneas a la planificación hidrológica, tarea para la que todavía no estaban suficientemente preparadas. En consecuencia, la investigación se particularizó en estudios de carácter más o menos local, aunque con notables esfuerzos de síntesis de conocimiento general.

Esta era la situación cuando la irrupción del siglo XXI coincidió con la promulgación de la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000/60/CE, *DOCE*, n.º L327, de 22.12.2000) y su posterior trasposición a la Ley de Aguas española. Con este texto legal, la Unión Europea exigía alcanzar ciertas metas y compromisos de carácter ambiental sobre el buen estado de los acuíferos, lo que en cierta medida alteró los parámetros que hasta ese momento habían marcado la investigación y el conocimiento de los recursos hídricos subterráneos. Si bien las confederaciones hidrográficas ya tenían atribuida la responsabilidad de su gestión, hasta ese momento no habían sentido la necesidad de asumirla de forma plena e impulsar nuevos y detallados trabajos de investigación, limitándose a la autorización de concesiones. Según la experiencia vivida por los autores de este artículo, a pesar de la exigencia de los nuevos enfoques y obligaciones que implicó la DMA, los organismos de cuenca, con alguna excepción, no se dotaron o no pudieron dotarse de suficientes medios técnicos y humanos. Para esos cometidos, se basaron, casi exclusivamente, en los trabajos que durante el siglo anterior habían realizado el IGME y algunas universidades.

El nuevo concepto de «masa de agua subterránea» introducido en la DMA tuvo que ser asumido por la autoridad

hidrológica e incorporado a los respectivos planes de cuenca. En este sentido, las confederaciones hidrográficas se limitaron a hacer una simple transposición de las unidades hidrogeológicas definidas por el Servicio Geológico de Obras Públicas y el IGME en 1990 (SGOP-IGME, 1990), denominándolas a partir de entonces masas de agua subterránea. De esta forma, y siempre a juicio de los autores del artículo, tal como puede verse en los documentos de los sucesivos planes hidrológicos, el conocimiento de los recursos hídricos subterráneos se fundamentó, con algunas salvedades, en los estudios realizados durante los años setenta y ochenta. En definitiva, una planificación nueva con datos no del todo actualizados. Posteriormente, esta situación se compensó parcialmente con aportaciones puntuales, pero los estudios dependieron cada vez más de recursos económicos obtenidos competitivamente. Algunos de ellos, relacionados con la explotación intensiva, intrusión marina, recarga natural y gobernanza, se han recogido en publicaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), sintetizados por Custodio (2022).

A partir de 2008, con el inicio de la crisis económica, la investigación hidrogeológica sufrió un fuerte revés, y el número de estudios y proyectos decayó de manera importante. Este hecho trajo como consecuencia el desmantelamiento y desaparición de un buen número de equipos especializados en la materia, así como la migración de profesionales cualificados hacia otras actividades o hacia otros países, como es el caso de Chile.

En la actualidad, se está en un momento difícil, y para las próximas décadas se plantean grandes retos. El primero, y fundamental, es impulsar los estudios que permitan mejorar el conocimiento de la hidrogeología del país. En este asunto es determinante la necesidad de apoyar y extender las redes de vigilancia y observación de las aguas subterráneas, con datos fidedignos y bien elaborados, y, por supuesto, invertir en planes de investigación suficientemente dotados, en consonancia con la importancia de los recursos subterráneos.

El segundo reto es concienciar a las diferentes Administraciones del Estado, y a la sociedad en general, de que las técnicas hidrogeológicas pueden contribuir a resolver en



Figura 1. Documento divulgativo sobre las aguas subterráneas elaborado por el IGME en 2001 con motivo de su 150 aniversario.

gran medida algunos de los problemas relevantes que sufre, como son el óptimo aprovechamiento de los recursos hídricos, el mantenimiento y mejora de la calidad del agua, y los generados por las alteraciones climáticas. En este asunto, a nivel institucional, queda mucho por hacer, desde la implementación de temas específicos en la educación primaria y secundaria, para el mejor conocimiento y valoración de las aguas subterráneas por parte de la sociedad (fig. 1), a la formación superior de técnicos y expertos en estas materias, así como a la necesidad de incorporar estos profesionales a los organismos gestores de los recursos hídricos (confederaciones hidrográficas, direcciones generales del agua, etc.).

Los aspectos técnicos que se han de considerar y desarrollar son muy amplios. Existen aplicaciones de gran interés y con gran proyección en el futuro, como las técnicas hidrogeológicas para la depuración, almacenamiento y reutilización de recursos hídricos, o la geotermia somera como sistema para contribuir a la eficiencia energética y a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. También, el conocimiento y la adecuada gestión de los recursos subterráneos para el mantenimiento y recuperación de humedales es una herramienta clave para la resolución de importantes problemas ambientales.

Potenciar la investigación de las aguas subterráneas será esencial para la resolución de los problemas hidrológicos del país y para el devenir de la hidrogeología española en el siglo XXI.

Una de las técnicas hidrogeológicas de mayor interés para ser aplicada en las próximas décadas es la recarga artificial de acuíferos, especialmente adecuada para mitigar los problemas ocasionados por la escasez de recursos hídricos durante las épocas de sequía, y por los derivados del cambio global y climático. Dicha técnica, asociada al uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, está aceptada e implementada de manera general en la planificación hidrológica de algunos estados y regiones con climatología semejante a la nuestra, tales como Australia, Israel y California. Estos países ya se encuentran inmersos en lo que se podría denominar *quinta revolución hidrológica*, a la que España debería incorporarse de forma decidida (Ballesteros-Navarro, 2022). Por otra parte, para cumplir con los objetivos de investigación y gestión de los recursos hídricos, tam-

bién será imprescindible la colaboración de los usuarios de aguas subterráneas con la Administración hidráulica.

Dentro del actual contexto, en los próximos años y ante las previsiones climáticas, será apremiante que tanto la Administración hidráulica española como la iniciativa privada afronten decisiones atrevidas, con relevantes inversiones en aguas subterráneas, de manera que lleve su conocimiento, y la investigación aplicada que comporta, al nivel que realmente el siglo XXI exige.

BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTEROS-NAVARRO, B. J. (2022). Recursos hídricos aprovechables para la recarga artificial de acuíferos. Evaluación en distintos escenarios hidrológicos. En *Jornadas sobre recarga artificial de acuíferos y su papel en la planificación hidrológica. 24-25 mayo de 2022*. Club del Agua Subterránea. <https://www.clubdelaguasubterranea.org/actividades.htm#2205>
- CUSTODIO, E. (2022). Consideraciones sobre el pasado, presente y futuro de las aguas subterráneas en España. *Ingeniería del Agua*, 26(1), 1-17. <https://doi.org/10.4995/Ia.2022.16245>
- SGOP-IGME. (1990). *Unidades hidrogeológicas de la España peninsular y de las islas Baleares*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

12. CAMBIO
CLIMÁTICO
Y AGUAS
SUBTERRÁNEAS



El cambio climático (CC) es una de las principales amenazas medioambientales de este siglo. El crecimiento de la evidencia científica y la conciencia sobre el calentamiento global se ve reflejado en nuevos acuerdos internacionales y leyes, pero también en los principales programas de investigación nacionales y europeos. En el programa marco de investigación e innovación Horizonte Europa para el período 2021-2027, el clúster 6 tiene como objetivo generar conocimiento y soluciones innovadoras que aceleren la transición hacia la gestión sostenible de los recursos naturales, incluyendo medidas para favorecer la adaptación al CC y reducir la degradación y contaminación ambiental, en línea con los Acuerdos de París, los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Pacto Verde Europeo. La comunidad científica también lleva a cabo un importante esfuerzo orientado a transmitir su conocimiento a la sociedad y a los gobiernos, para que el CC sea considerado en la definición de políticas que favorezcan un desarrollo sostenible. En este sentido, destacan los informes periódicos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y de otros grupos de expertos, como en el caso mediterráneo el Grupo MedECC (Mediterranean Experts on Climate and Environmental Changes).

En la literatura científica se encuentran trabajos sobre los impactos del CC en diferentes tipologías de sistemas de

recursos hídricos (cuencas, acuíferos, etc.), que estudian su influencia en diferentes variables y procesos. Algunos se centran en la monitorización de variables y otros en la integración de datos y modelos para mejorar el conocimiento sobre el comportamiento del sistema y los procesos que tienen lugar, además de analizar potenciales escenarios, incluidos los futuros. Las hipótesis asumidas en los mismos dependen del problema estudiado y su resolución espacio-temporal. En este capítulo, se describen algunos de los trabajos realizados en el IGME sobre CC y aguas subterráneas, línea en la que viene desarrollando una intensa actividad en las últimas décadas en el marco de proyectos competitivos, y que ha dado lugar a numerosas publicaciones, algunas de ellas citadas en informes como el último del IPCC (AR6, 2023) o el MAR1 del Grupo MedECC.

A escala nacional, se ha trabajado en evaluar los impactos del CC en la recarga de acuíferos mediante un modelo empírico (Pulido-Velázquez *et al.*, 2018) para un horizonte temporal a corto plazo que finaliza en el año 2045, asumiendo el escenario de emisiones más pesimista. Los resultados mostraron que los impactos sobre los recursos hídricos disponibles pueden ser significativos, incluso para un horizonte cercano. Se obtuvo una reducción media de la recarga del 11 %, con una alta variabilidad espacial. Se estiman unas reducciones por encima del 10 % en más de dos tercios del país (color naranja y rojo en la | fig. 1 | y por encima del 20 % en una décima parte del territorio (color rojo en la | fig. 1 |). También a escala nacional la recarga se ha utilizado como variable intermedia para llevar a cabo una

* Contribución a los proyectos PID2021-128021OB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE y proyecto de I+D+i / ayuda TED2021-130744B-C21, financiado/a por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/PRTR.

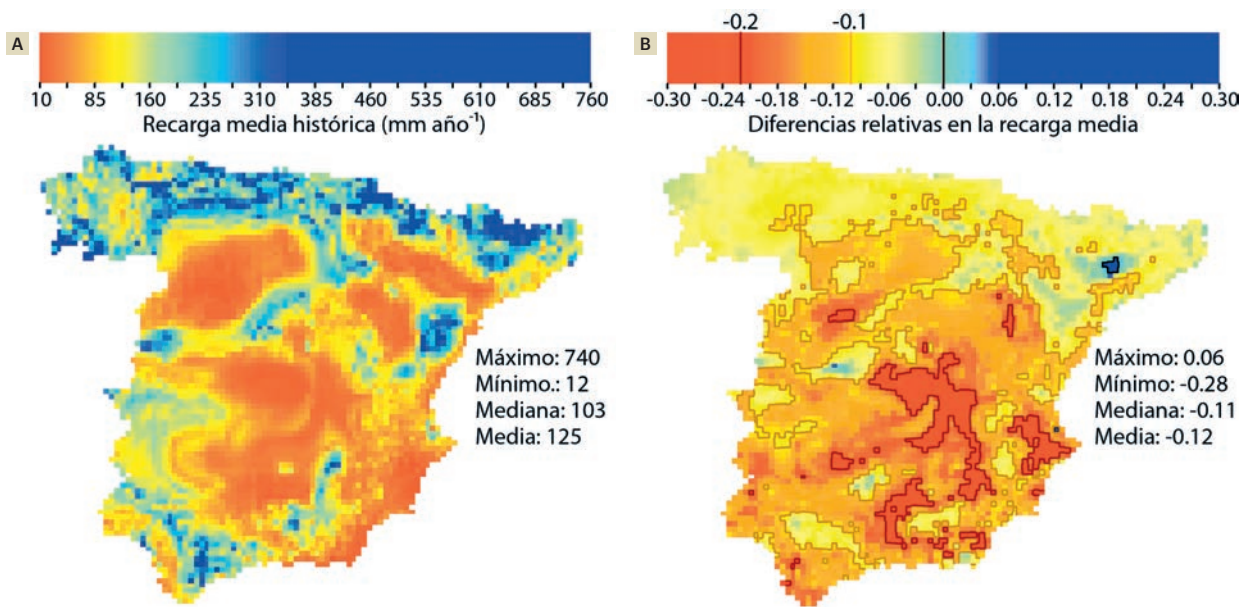


Figura 1. Impactos del CC en el horizonte 2016-2045 bajo el escenario de emisiones RCP8.5. A) Recarga media histórica (1976-2005). B) Diferencias relativas. Modificada de Pulido-Velázquez *et al.* (2018).

evaluación preliminar de la vulnerabilidad de los acuíferos al incremento temporal de bombeo (Pulido-Velázquez *et al.*, 2020). Se propuso la utilización de un índice sencillo, el cociente entre el almacenamiento y la recarga, que proporciona una evaluación preliminar del tiempo medio de residencia del agua en un acuífero. Los acuíferos con un alto valor de este índice tienen una baja vulnerabilidad al incremento temporal del bombeo. Se trata, por tanto, de recursos que pueden ser estratégicos para hacer frente a situaciones de sequía, mediante un uso conjunto alternativo de aguas superficiales y subterráneas. Ese mismo índice se empleó para predecir el impacto del CC en el riesgo a la contaminación a escala de acuífero, utilizando un modelo de regresión lineal previamente calibrado con datos históricos (Baena-Ruiz *et al.*, 2021).

A escala de acuífero, se ha demostrado que, para una misma precipitación media, un incremento en la variabilidad de la precipitación puede producir un incremento en

la recarga (Pulido-Velázquez *et al.*, 2015). Se ha trabajado con diferentes tipologías de acuíferos considerando distintos procesos y variables. Se han estudiado potenciales impactos del CC en la recarga de acuíferos kársticos (Pardo-Igúzquiza *et al.*, 2019), aproximando tanto la recarga difusa como la concretada en conductos karstificados. Así, en el acuífero de la sierra de las Nieves se estimó una potencial reducción media de la recarga del 53 % (para el horizonte 2071-2100, bajo el escenario de emisiones más pesimista del IPCC), que resulta realmente preocupante.

En el acuífero de la Vega de Granada, se estudió el potencial impacto del CC en la subsidencia del terreno por descenso de nivel freático en acuíferos detríticos (Collados-Lara *et al.*, 2021). Se utilizó una aproximación sencilla, integrando un modelo de balance hidrológico y otro de regresión, de la que se obtuvo potenciales incrementos de hasta un 50 % en los descensos del terreno en el horizonte 2040 bajo el escenario de emisiones más pesimista. Se han

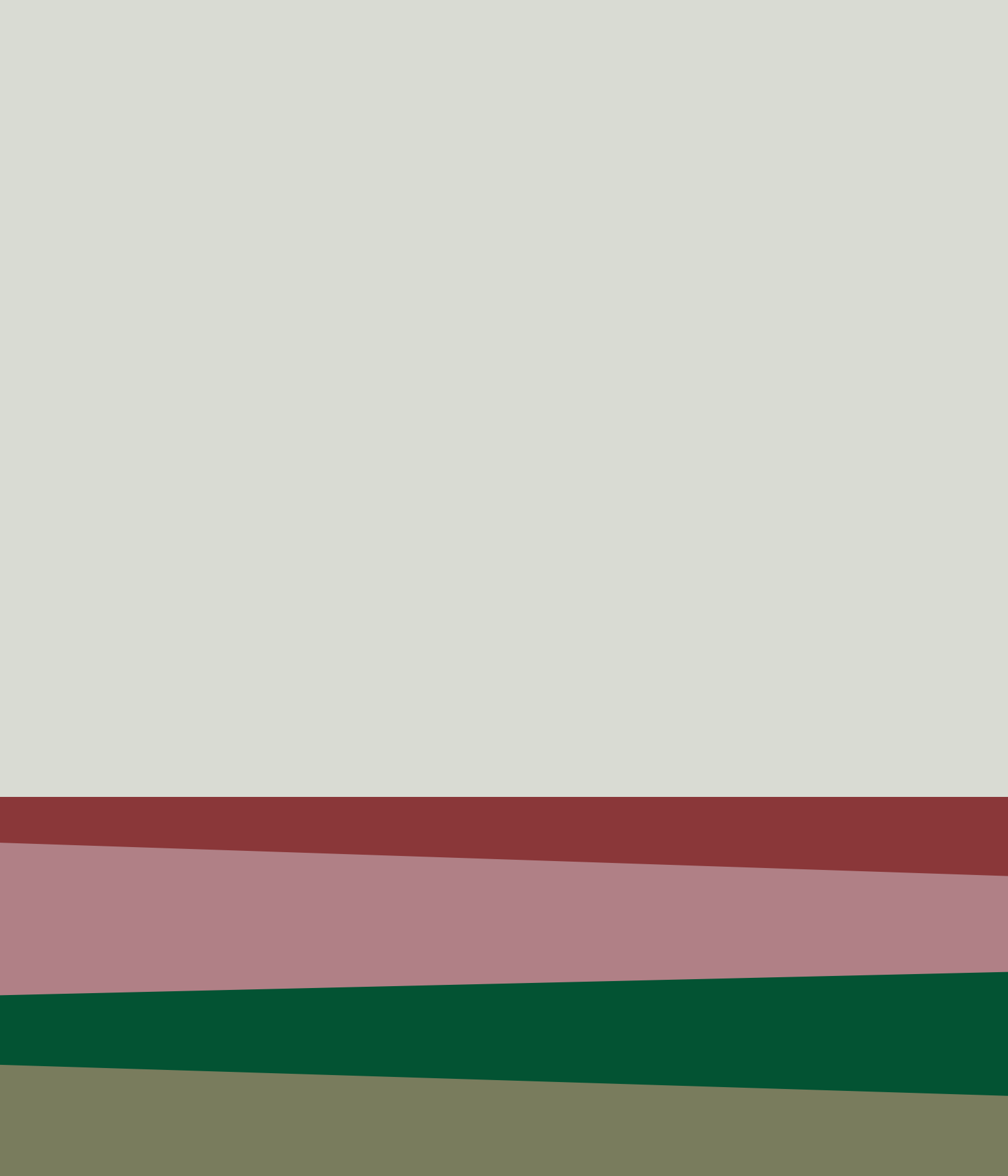
analizado los impactos potenciales en los niveles piezométricos y concentraciones salinas en acuíferos costeros como el de la Plana de Oropesa-Torreblanca (Pulido-Velázquez *et al.*, 2018), propagando impactos mediante cadenas de modelos que permiten aproximar procesos de intrusión salina, de forma que los escenarios futuros producirían un incremento significativo en la variabilidad del flujo y la salinidad en el acuífero. También se han definido índices para sintetizar los impactos del CC en la intrusión salina (Baena-Ruiz *et al.*, 2020). Actualmente se trabaja en el estudio de impactos en humedales dependientes de aguas subterráneas (Collados-Lara *et al.*, 2021).

A escala de cuenca, se han desarrollado trabajos para la integración de los recursos superficiales y los subterráneos mediante la aplicación sucesiva de modelos climáticos, hidrológicos, agronómicos y de uso conjunto, con el fin de analizar los posibles impactos del CC sobre los sis-

temas, su capacidad para garantizar el abastecimiento, la propagación de las sequías meteorológicas a hidrológicas y operacionales en escenarios futuros, y las posibles medidas de adaptación. Esta metodología se ha aplicado en cuencas mediterráneas de diferente tipología: Segura (Gómez-Gómez *et al.*, 2022), Alto Guadiana y Alto Genil. En la cuenca del Duero, en el marco del proyecto europeo del Programa Horizonte Europa STARS4Water, se está analizando el impacto del CC en la infiltración partiendo de los *outputs* obtenidos con el modelo de lluvia-escorrentía SIMPA. En la cuenca del Guadiana, dentro del proyecto europeo TACTIC (ERANET GeoE.171.008-TACTIC, 2021) se trabajó en el estudio de impactos y el codiseño de estrategias de adaptación al CC, con un enfoque mixto *top-down* (guiado por los escenarios y basado en la propagación con modelos) y *bottom-up* (procesos participativos) (Pulido-Velázquez *et al.*, 2023).

BIBLIOGRAFÍA

- BAENA-RUIZ, L., PULIDO-VELÁZQUEZ, D., COLLADOS-LARA, A. J., RENAUPRUÑONOSA, A., MORELL, I., SENENT-APARICIO, J., & LLOPIS-ALBERT, C. (2020). Summarizing the impacts of future potential global change scenarios on seawater intrusion at the aquifer scale. *EES*, 79, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8847-2>
- BAENA-RUIZ, L., PULIDO-VELÁZQUEZ, D., COLLADOS-LARA, A. J., & GÓMEZ-GÓMEZ, J.D. (2021). A preliminary lumped assessment of pollution risk at aquifer scale by using the mean residence time. Analyses of potential CC impacts. *Water*, 13(7), 943. <https://doi.org/10.3390/w13070943>
- COLLADOS-LARA, A. J., PARDO-IGÚZQUIZA, E., PULIDO-VELÁZQUEZ, D., & BAENA-RUIZ, L. (2021). Estimation of the monthly dynamics of surfacewater in wetlands from satellite and secondary Hydro-climatological data. *Remote Sens.*, 13(12), 2380. <https://doi.org/10.3390/rs13122380>
- ERANET GeoE.171.008-TACTIC. (2018-01/11/2021). Tools for assessment of climate change impact on groundwater and adaptation strategies. Coordinator: Højberg (GEUS). PI IGME: D. Pulido; Leader of WP 5 (Assessment of sat-sea/water intrusion problems) & WP6 (Groundwater Adaptation Strategies).
- PARDO-IGÚZQUIZA, E., COLLADOS LARA, J. A., & PULIDO-VELÁZQUEZ, D. (2019). Potential future impact of CC on recharge in the Sierra de las Nieves high-relief karst aquifer using regional cc models and statistical corrections. *EES*, 78. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8594-4>
- PULIDO-VELÁZQUEZ, D., BAENA-RUIZ, L., MAYOR, B., ZORRILLA-MIRAS, P., LÓPEZ-GUNN, E., GÓMEZ-GÓMEZ, J. D., HERRA-PORTILLO, A., COLLADOS-LARA, A.-J. de la, MEJÍAS MORENO, M., GARCÍA ARÓSTEGUI, J. L., & ALCALÁ, F. J. (2023). Integrating stakeholders' inputs to co-design climate resilience adaptation measures in Mediterranean areas with conflicts between wetland conservation and intensive agriculture. *STOTEN*, 870, 161905. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161905>
- PULIDO-VELÁZQUEZ, D., COLLADOS-LARA, A. J., & ALCALÁ, F. J. (2017). Assessing impacts of future CC scenarios on aquifer recharge in Spain. *Journal of Hydrology*, 567, 803-819. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.077>
- PULIDO-VELÁZQUEZ, D., COLLADOS LARA, A. J., & FERNANDEZ-CHACON, F. (2022). The Impact of CC scenarios on droughts and their propagation in an arid Mediterranean Basin. A useful approach for planning adaptation strategies. *STOTEN*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.15312>
- PULIDO-VELÁZQUEZ, D., GARCÍA-ARÓSTEGUI, J. L., MOLINA, J. L., & PULIDO-VELÁZQUEZ, M. (2015). Assessment of future groundwater recharge in semi-arid regions under CC scenarios. Could increased rainfall variability increase the recharge rate? *Hydrological Processes*, 29(6), 828-844. <https://doi.org/10.1002/hyp.10191>
- PULIDO-VELÁZQUEZ, D., RENAUPRUÑONOSA, A., LLOPIS-ALBERT, C., MORELL, I., COLLADOS-LARA, A.J., SENENT-APARICIO, J., & BAENA-RUIZ, L. (2018). Integrated assessment of future potential GC scenarios and their hydrological impacts in coastal aquifers. A new tool to analyse management alternatives. *HESS*, 22(5), 3053-3074. <https://doi.org/10.5194/hess-22-3053-2018>
- PULIDO-VELÁZQUEZ, D., ROMERO, J., COLLADOS-LARA, A. J., ALCALÁ, F. J., FERNÁNDEZ-CHACÓN, F., & BAENA-RUIZ, L. (2020). Using the turnover time index to identify potential strategic groundwater resources to manage droughts within Spain. *Water*, 12, 3281. <https://doi.org/10.3390/w12113281>



LOS RECURSOS GEOLÓGICOS



1. EL PAPEL DEL IGME
EN EL DESCUBRIMIENTO,
INVESTIGACIÓN
Y EXPLOTACIÓN
DE LA CUENCA POTÁSICA
CATALANA (1914-1932)

Las sales potásicas son un recurso mineral muy valioso desde que, a mediados del siglo XIX, Justus von Liebig inventó los fertilizantes químicos a base de nitrógeno, fósforo y potasio, que favorecieron un gran desarrollo de la agricultura en Occidente. Por ese motivo, el descubrimiento del yacimiento de potasas en Suria (Barcelona) en 1912 por Emili Viader y René Macary provocó un gran revuelo a nivel internacional, en un momento en el que solo se conocían en el mundo dos cuencas mineras de importancia, ambas en territorio alemán: Stassfurt y Alta Alsacia. La noticia ocasionó una avalancha de solicitudes de concesiones mineras en la comarca, la mayoría por empresas extranjeras.

El Gobierno español consideró que el asunto era de gran trascendencia y, en consecuencia, requirió al Instituto Geológico de España (IGE) que realizara un informe sobre el interés del yacimiento. César Rubio y Agustín Marín fueron comisionados para visitar la zona en febrero de 1913. Ambos ingenieros realizaron el reconocimiento geológico de la zona de interés potencial para determinar la extensión del yacimiento. Al establecer la sucesión estratigráfica, pudieron percibir la importancia que tenía la geología estructural en la configuración de estos yacimientos. Tomaron muestras de minerales y aguas para su análisis en la Escuela de Minas de Madrid. En su informe, que incluía un estudio de la situación internacional de la minería de la potasa, propusieron un plan para la exploración de la cuenca y

recomendaron la intervención estatal en la investigación y reconocimiento de la zona. Los resultados del trabajo se publicaron en el *Boletín del Instituto Geológico de España*, el primer trabajo científico que describe el yacimiento de la cuenca potásica surpineraica (Rubio & Marín, 1914).

Por su parte, las empresas privadas habían iniciado, con premura, el reconocimiento en sus concesiones mineras: la sociedad belga Solvay, en Suria; la Sociedad hispanoalemana Fodina en Vilanova de la Aguda (Lleida) y en la zona comprendida entre los ríos Llobregós y Cardener, y finalmente, una filial de la española Unión Española de Explosivos, en Cardona.

Cabe recordar que, a punto de estallar la I Guerra Mundial, la situación política internacional estaba extremadamente tensionada y las distintas potencias tenían intereses opuestos. Las autoridades españolas sospechaban que el verdadero objetivo de algunas empresas mineras que habían solicitado permisos para potasa era retener la explotación de las minas españolas con el fin de suprimir al nuevo competidor. Por este motivo, el 30 de junio de 1914 se publicó un proyecto de «Código Minero» en el que se proponían reformas importantes en la normativa minera vigente (*Gaceta de Madrid*, n.º 181, de 30.06.1914), de forma que el Estado podía explotar directamente o a través de una empresa la explotación de materias primas minerales, en beneficio general, así como enajenar o arrendar minas, y reservar

para sí los criaderos descubiertos por el Estado. Pocos meses después, a pesar de que el código minero no había sido aprobado, se decretó «la exclusión temporal o definitiva del derecho público de registro de terrenos francos» que designaba el Ministerio de Fomento, con el fin de «investigar, descubrir y, en su caso, aprovechar criaderos de sustancias minerales que puedan servir como abonos agrícolas o materia prima para la fabricación de los mismos» (*Gaceta de Madrid*, n.º 275, de 02.10.1914), estableciendo la figura de «reserva del Estado» para la cuenca potásica catalana, que, a día de hoy, sigue aún vigente.

La reserva del Estado fue un instrumento que permitió abordar, de una forma global, la exploración minera de la cuenca y, de este modo, determinar la extensión, forma y tipología del yacimiento, así como explorar otras zonas. A partir de entonces el Instituto Geológico iba a jugar un papel fundamental en la gestión de la investigación minera. La zona de reserva delimitada cubría toda la extensión en que había posibilidades geológicas de encontrar potasa: un polígono de unos 4750 km² configurado entre Vic, Manresa, Igualada, Tárrega, Balaguer, Isona y Berga. Se respetaron las concesiones que habían solicitado anteriormente las empresas privadas, si bien se tomaron medidas para el control de la investigación que llevaban a cabo los particulares.

Como el yacimiento de potasa no afloraba, y se presumía que estaba a gran profundidad, hubo que recurrir a la perforación de sondeos, una técnica difícil y costosa en aquellos momentos. En primer lugar, había que conocer muy bien la sucesión estratigráfica y la tectónica de la zona, en la que la halocinesis jugaba un papel fundamental. El IGE propuso un plan de investigación basado en la perforación de una serie de sondeos profundos, que se situaron en los ejes de las estructuras anticlinales. Debido al alto coste que suponía su ejecución, se acordó que las empresas y sociedades que operaban en la cuenca sufragaran la mitad de los costes (Marín, 1922). El IGE ejecutó directamente ocho sondeos: Cardona I (1643 m) | fig. 1 |, por el que se demostró la existencia del yacimiento potásico en la localidad; Cardona II (1242 m); Castellfullit (898 m); Torà (1200 m); Balsareny (781 m) | fig. 1 |, que permitió conocer la continuidad del yacimiento potásico en el valle del Llobregat; Avinyó 1



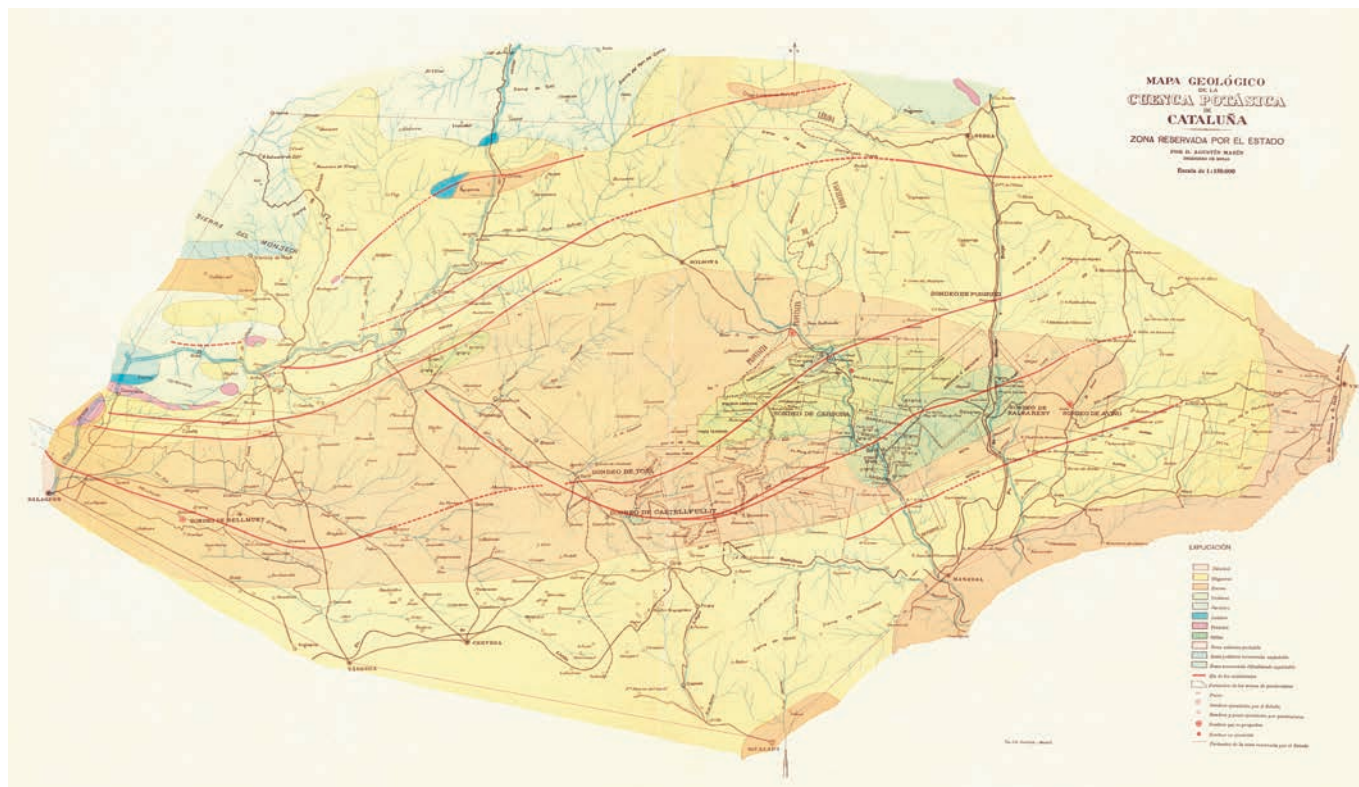


Figura 1. ◀ Izquierda, vidrieras con la representación gráfica de los sondeos realizados por el Instituto Geológico de España en Cardona (1920) y Balsareny (1922). Sede central del IGME en Madrid. Fotografía: Pedro López (Archivo IGME, CSIC).

▲ Arriba, mapa geológico de la cuenca potásica de Cataluña. Zona reservada por el Estado. Escala original 1:150 000 (Marín, 1923).

(340 m); Avinyó 2 (751 m) y Saló (1242 m). Todo ello representó un reto técnico importante debido a la profundidad que se pretendía alcanzar (Larragán, 1923). Se instalaron grandes torres de perforación de madera | fig. 2 | y la sonda era movida por una máquina de vapor. Sin embargo, el principal problema técnico era la gran solubilidad de la carnalita: cualquier irrupción de agua en el yacimiento podía disolverlo y comprometer su futura explotación, por lo que se tomaron rigurosas precauciones, como entubar herméticamente los sondeos y aislarlos de los acuíferos superiores, además de ser extremadamente cuidadosos en las maniobras.

En la ejecución mecánica de los sondeos, idéntica en todos, se utilizó un aparato mixto, que trabajaba por percusión para atravesar los materiales en los que no era necesario obtener testigos, y por rotación cuando se precisaba la



Figura 2. Interior de la torre de perforación del sondeo del Estado de Balsareny. Fotografía realizada el 5 de mayo de 1922. Fondo Fotográfico Faura i Sans, Museu Geològic del Seminari de Barcelona.

obtención de testigos. Estos eran cuidadosamente envueltos en papel parafinado para evitar su disolución. Cuando se alcanzaban materiales salinos, se utilizaba lodo saturado con cloruro de magnesio, para no disolver las evaporitas del yacimiento. Además, hubo que aislar los acuíferos atravesados, obturando los poros con cemento y, ocasionalmente, con arcilla. La clausura de cada sondeo era también una operación delicada, ya que la embocadura debía quedar perfectamente sellada para evitar que las aguas superficiales penetraran a la formación salina (Marín, 1932). El Estado asumió también la responsabilidad de determinar cuáles eran los macizos de protección que había que respetar en el emplazamiento de sondeos y demás labores que pudieran conectar acuíferos y manantiales. Estas precauciones eran también de obligado cumplimiento para los sondeos de las empresas privadas (Rubio & Marín, 1918).

Gracias a la campaña de sondeos estatales, más los realizados por compañías privadas, en 1932 se habían completado 50 sondeos de los que 43 fueron positivos (Marín, 1932). El éxito de las campañas, sin ninguna duda, fue debido a que previamente se había realizado un estudio geológico de la región que incluía un análisis de la compleja estructura de la zona. Además del reto técnico que suponía la perforación de sondeos tan profundos, en la campaña de exploración se desarrollaron y ensayaron otras novedades. En primer lugar, llama la atención que se prestara, tan temprano, especial atención en evitar que los vertidos de aguas saladas llegaran a la red hidrográfica, de modo que ya se propuso la construcción de una infraestructura común a todas las minas que evacuara las aguas salinizadas al mar (Marín, 1922). Por otra parte, las técnicas analíticas experimentaron un gran desarrollo y el IGE instaló un laboratorio de campaña donde se analizaban *in situ* los testigos de los sondeos.

Hay que destacar la importancia que tuvo en el estudio de la cuenca potásica el desarrollo de las técnicas geofísicas. Así, en el año 1925, los ingenieros del IGE Guillermo Sans Huelín, José García Siñeriz y Javier Milans del Bosch realizaron en el valle del Llobregat una de las primeras campañas de gravimetría practicadas en España, con el objetivo de determinar los límites de la masa salina (Marín,

1926). Además, en el sondeo de Torà, de 1200 m, se tomaron medidas continuas de la temperatura para determinar cuál era el gradiente geotérmico.

Por otra parte, las investigaciones para la búsqueda de sales potásicas se desarrollaron en toda la cuenca surpirenaica. El IGE, a partir de los trabajos de Alfonso del Valle, Joaquín Mendizábal y Manuel Cincunegui en el borde oeste de la cuenca de Jaca-Pamplona, acometió tres sondeos en Navarra que demostraron la existencia de otro gran yacimiento potásico (Marín, 1932). Además, durante el Congreso Geológico Internacional, celebrado en España en 1926, las excursiones C3 y C4 visitaron la cuenca potásica de Cataluña.

De todo lo expuesto se puede concluir que el IGE desempeñó un papel decisivo en la exploración e investigación de la cuenca potásica surpirenaica. Desde el momento de su descubrimiento, los técnicos de la institución velaron para que el gran yacimiento de potasas pudiera ser explotado racionalmente, de forma respetuosa con el medioambiente y su aprovechamiento permitiera el desarrollo de la industria de fertilizantes española. Durante más de cien años de explotación, la cuenca potásica surpirenaica ha producido 234,4 Mt de sales potásicas. En la actualidad, las minas de Súrria-Sallent siguen activas, aunque todas las concesiones mineras están concentradas en una única empresa de capital israelí, a excepción de la reserva del Estado, declarada en 1914, y que a día de hoy sigue vigente.

BIBLIOGRAFÍA

- LARRAGÁN, A. de. (1923). Datos acerca de los sondeos realizados en la cuenca potásica de Cataluña. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 44, 100-210.
- MARÍN, A. (1922). Los yacimientos potásicos de Cataluña. *Revista Minera*, 73, 63-68, 81-85.
- MARÍN, A. (1923). Investigaciones en la cuenca potásica de Cataluña. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 44, 1-77.
- MARÍN, A. (1926). La potasa. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 48, 1-415.
- MARÍN, A. (1932). Sondeos de investigación de sales potásicas. Sondeos en la cuenca potásica Española. *Boletín de sondeos*, 3(1), 71.
- RUBIO, C., & MARÍN, A. (1914). Sales potásicas en Cataluña. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 35, 7-43.
- RUBIO, C., & MARÍN, A. (1918). Sales potásicas en Cataluña. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 39, 351-383.

2. EL IGME
Y LOS INICIOS DE
LA EXPLORACIÓN
DE HIDROCARBUROS
EN ESPAÑA



A principios del siglo XX, la Comisión del Mapa Geológico de España comenzó a participar en la exploración de hidrocarburos, proporcionando su asesoramiento a empresas privadas que llevaban a cabo perforaciones de pozos de investigación de petróleo en España. Unas empresas que a menudo contaban con recursos técnicos y económicos muy limitados, siendo los escasos pozos perforados poco profundos y en su mayoría localizados con escasa o nula base geológica (Navarro Comet & Puche Riart, 2018).

Uno de los primeros miembros de la Comisión del Mapa Geológico involucrados en la exploración fue el ingeniero de minas Lucas Mallada Pueyo, quien fue requerido en 1909 por dos de las compañías que en ese momento estaban perforando pozos de investigación de hidrocarburos en Villamartín (Cádiz) y Lebrija (Sevilla) para asesorarles en sus trabajos | fig. 1 |. Mallada recomendó un estudio geológico de la región y la perforación de más pozos para determinar la extensión de las manifestaciones de petróleo y gas que habían sido identificadas. Desafortunadamente, y a pesar de realizar algunas perforaciones adicionales, tanto en Villamartín como en Lebrija, no se alcanzó el éxito comercial deseado. La creciente actividad de investigación por parte de compañías privadas y el posible potencial petrolífero del subsuelo español hizo que, en 1910, bajo el

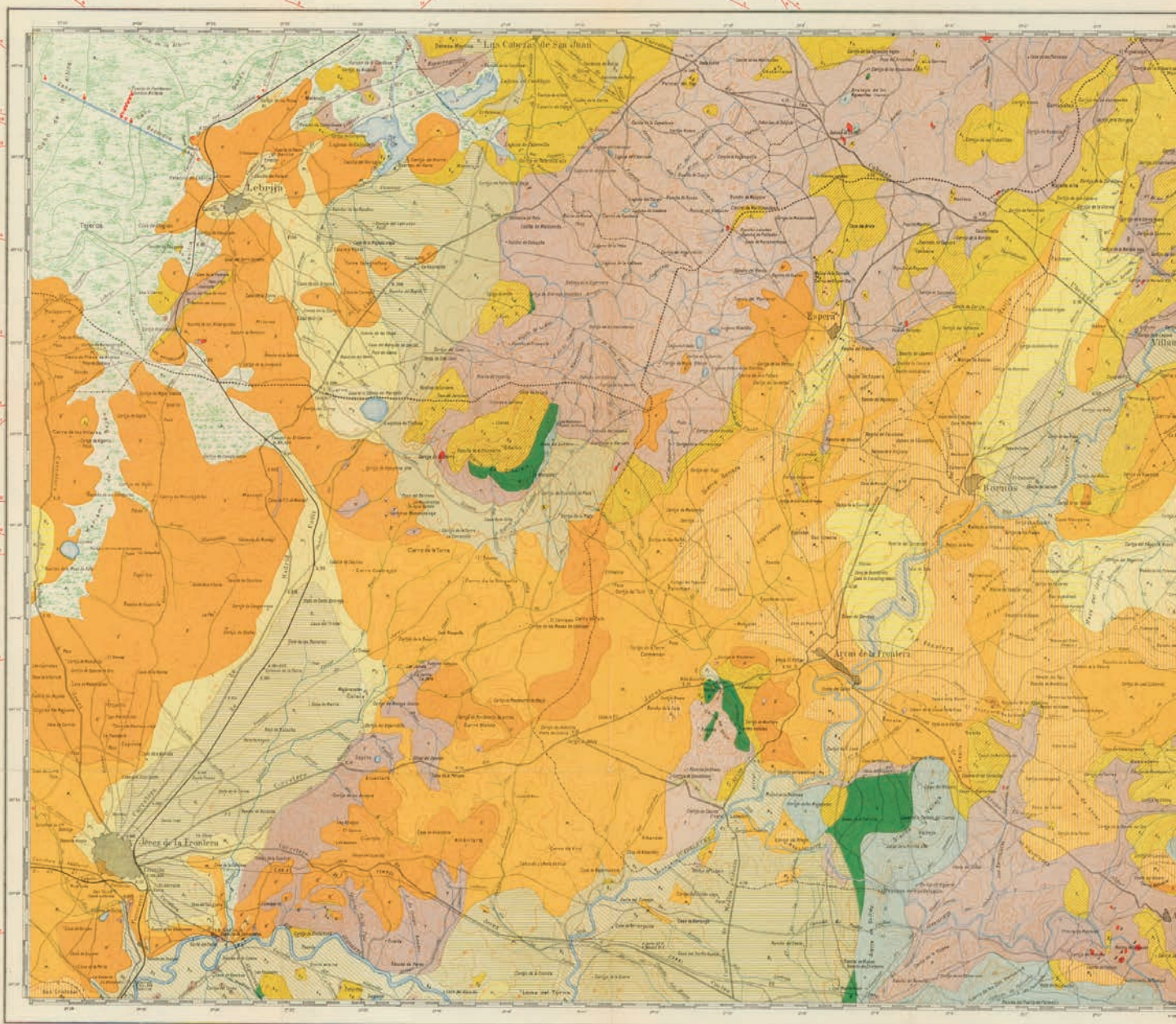
nuevo de nombre de Instituto Geológico de España (IGE) e impulsado por su director Luis Adaro y Magro, este organismo empezara a involucrarse directamente en la investigación petrolífera. Para ello, tres jóvenes ingenieros de minas, Pedro de Novo Fernández-Chicarro, Enrique Dupuy de Lôme Vidiella y Juan Gavala Laborde, recién incorporados al IGE, fueron seleccionados para especializarse en geología del petróleo. Juan Gavala fue el primer comisionado del IGE en visitar los campos de petróleo de Rumania en 1911. Años después, en 1921, Pedro de Novo y Enrique Dupuy viajarían a Estados Unidos y Méjico con el objetivo de visitar y estudiar campos de petróleo en funcionamiento. En 1928, el ingeniero de minas Primitivo Hernández-Sampelayo, quien, aun no siendo su especialidad también se involucró en el estudio del potencial petrolero del subsuelo español, viajó a Rumania para estudiar su producción de petróleo y en 1931 visitó los más importantes yacimientos de petróleo de Italia. Todos estos viajes tenían como objetivo adquirir conocimientos sobre las técnicas utilizadas en la exploración y producción de recursos petrolíferos en otros países para luego desarrollar una labor más efectiva en España.

En 1914, el IGE trasladó uno de sus trenes de sondeo a Villamartín (Cádiz), siguiendo la recomendación de Mallada. Las grandes dificultades encontradas durante la perfo-

REGIONES PETROLÍFERAS DE ANDALUCÍA

(VILLAMARTIN - LEBRIJA)

Por el Ingeniero del Cuerpo de Minas JUAN GAVALA



Escala de 1:100,000

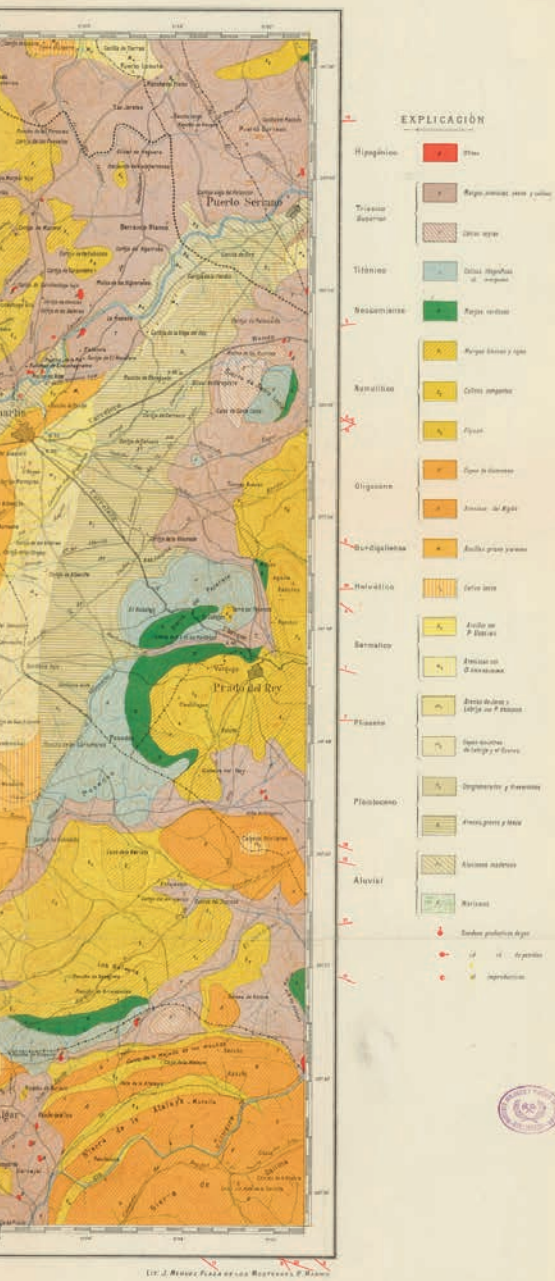


Figura 1. Mapa geológico de Gava (1916) en el que se muestra, mediante pequeños círculos rojos, la localización de los pozos de investigación de gas y petróleo perforados cerca de Lebrija (Sevilla) y en las inmediaciones de Villamartín (Cádiz).

ración y los problemas en el suministro de material a raíz del estallido de la Primera Guerra Mundial complicaron enormemente su perforación | fig. 2 |. En 1923, un segundo pozo fue perforado por el IGE en Bornos (Cádiz), cerca de Villamartín, que también resultó negativo.

Dentro del creciente interés del IGE por el estudio de los recursos petrolíferos de España se enmarcan los trabajos de Juan Gavala, uno de los pioneros de la geología petrolera en España, autor de un extenso monográfico donde expresa su pesimismo respecto al descubrimiento de yacimientos de importancia industrial en el subsuelo andaluz (Gavala, 1916). Desde el IGE también se llevaron a cabo diversos estudios sobre el potencial petrolífero de otras regiones, entre otros, las arenas asfálticas de Fuentetoba (Soria) que eran explotadas por minería subterránea desde mediados del siglo XIX, así como los yacimientos de lutitas bituminosas que habían sido utilizadas para la destilación y producción de petróleo a principios del siglo XX en Rubielos de Mora (Teruel), Ribesalbes (Castellón) y Puertollano (Ciudad Real). Ante los escasos resultados obtenidos por el IGE en sus perforaciones petrolíferas, se aprobó en 1924 la transferencia de la ejecución de los trabajos de investigación petrolera por cuenta del Estado al Ministerio de Fomento, en colaboración con la Jefatura de Minas del distrito correspondiente. No obstante, el IGE continuaría encargándose del estudio y la propuesta de las áreas a investigar por parte del Estado, así como la elaboración de los planes de trabajo y presupuestos. Se estableció que cualquier nuevo trabajo, tanto de perforación como de geofísica, realizado por cuenta del Estado se ejecutaría mediante el sistema de contrata.

Bajo este nuevo sistema contractual, el IGE supervisó la perforación de varios sondeos. El primero fue en Robredo-Ahedo (Burgos) en el cual se obtuvieron unos 70 litros de petróleo, insuficientes para una producción comercial. Un segundo pozo fue perforado en Ajo (Cantabria) en 1926, que alcanzó con éxito la profundidad final proyectada de 1200 metros, pero con resultado negativo. En Fuentetoba (Soria), el IGE perforó un pozo en 1928 para investigar el potencial petrolífero de las arenas asfálticas, atravesando múltiples niveles ricos en bitumen. Ese mismo año, el ya denominado *Instituto Geológico y Minero de España (IGME)*

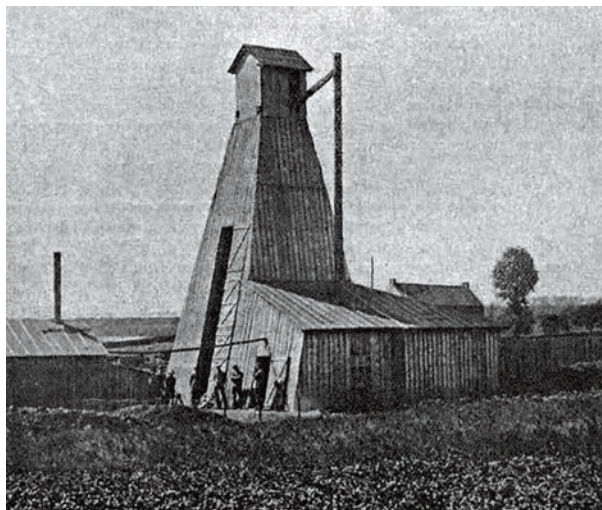


Figura 2. Primer sondeo de investigación petrolera perforado por el Instituto Geológico de España en 1914-1915, junto al puente sobre el río Guadalete de la carretera de Villamartín a Jerez (Cádiz). Fuente: *España Automóvil y Aeronáutica*, 15.04.1918.

inició la perforación en Liendo (Cantabria). Sin embargo, apenas perforados unos metros, se detuvo su ejecución debido a la decisión del Gobierno de interrumpir las investigaciones petrolíferas a cargo del Estado. La implantación del monopolio estatal de petróleos en 1927 y el otorgamiento de su gestión en 1928 a la Compañía Arrendataria del Monopolio del Petróleo, S. A. (CAMPESA) supuso un cambio en la política con relación a la prospección de los recursos petrolíferos e hizo que en 1929 el IGME dejara de involucrarse directamente en la exploración petrolera.

En 1927 se constituyó el Comité Nacional de Sondeos con la participación del IGME, que inició una recopilación de los sondeos más importantes perforados en España para investigar aguas, obras hidráulicas, potasas y petróleo. En 1931 el Comité pasó a depender directamente del IGME.

Los primeros estudios de gravimetría y sísmica con objetivos petroleros en España fueron llevados a cabo en 1928 bajo la supervisión del IGME, a cargo del ingeniero de minas José García Siñeriz, jefe de la Sección de Geofísica del IGME creada en 1927. García Siñeriz destacó por su inten-

sa labor profesional en geofísica, tanto en la investigación básica como en la aplicada. Fue autor del primer libro en español sobre geofísica aplicada, que se publicó en 1928 con el título *Los métodos geofísicos de prospección*, un trabajo que contribuyó al avance de esta ciencia como herramienta de prospección en la industria petrolera. A partir de 1929, el IGME continuó asesorando al Estado en todo lo concerniente a actividades y trabajos de exploración de hidrocarburos, pero sin participar directamente en su ejecución. Como parte de esta labor de asesoramiento se designó a Enrique Dupuy de Lôme como representante técnico del Estado en la comisión de CAMPSA que viajó en junio de 1929 a Estados Unidos, Venezuela y México (Navarro Comet, 2022). El objetivo de este viaje era adquirir concesiones de exploración y producción de petróleo para CAMPSA, que resultó pocos meses después en la creación de la Compañía Española de Petróleos, S. A. (CEPSA).

Desde su creación, CAMPSA no se involucró en actividades de exploración hasta diciembre de 1932, cuando el Consejo de Ministros de la República aprobó la creación del Comité de Investigaciones Petrolíferas, que contó con la participación de CAMPSA y la colaboración del IGME. Dupuy de Lôme, que había adquirido un gran conocimiento de la geología del petróleo en sus múltiples viajes a países productores, fue nombrado representante del IGME en este comité, cuya labor quedaría interrumpida por el estallido de la Guerra Civil.

En 1937, Dupuy de Lôme publicó el primer catálogo de indicios de hidrocarburos en la superficie de la península ibérica y el entonces protectorado español en Marruecos (Dupuy de Lôme, 1937). La recopilación y análisis de indicios de hidrocarburos de Dupuy sentaron las bases para una mejor comprensión de las posibles regiones petrolíferas en el país y fue de gran importancia para la posterior exploración de recursos petrolíferos, que, junto con sus conoci-

mientos en geología del petróleo, convirtieron a Dupuy de Lôme en un pionero de la exploración en España.

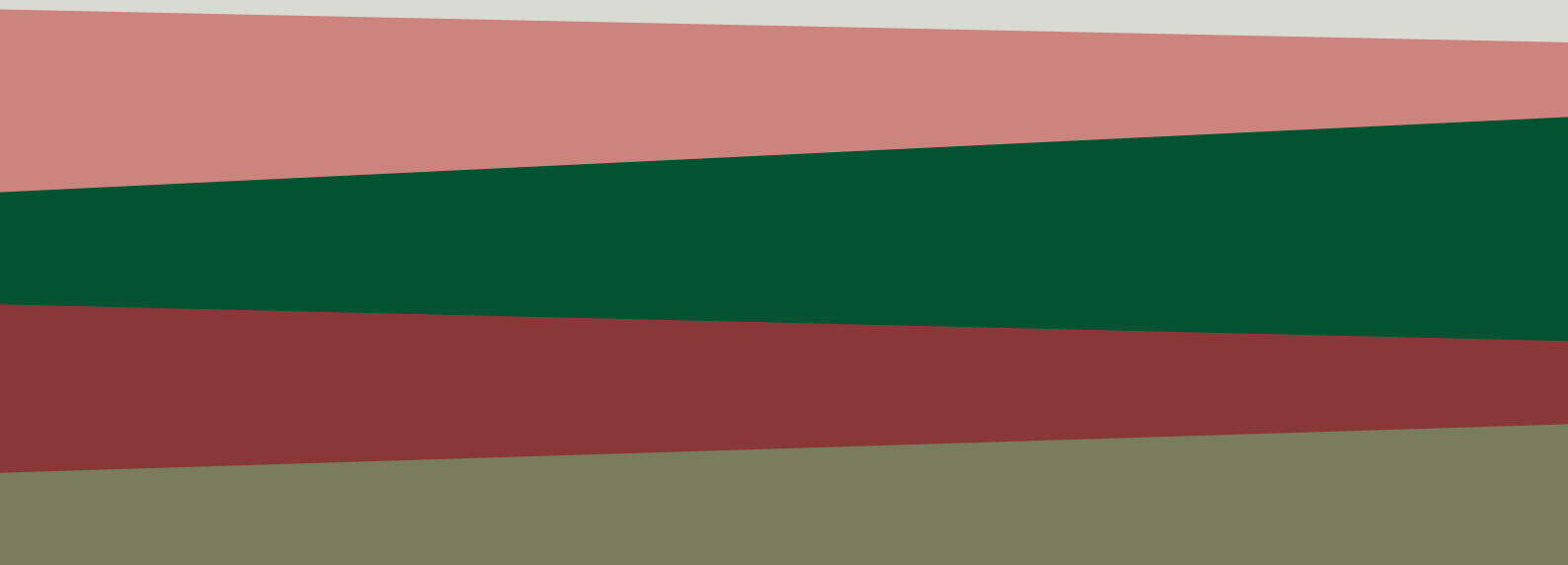
Una vez finalizada la Guerra Civil, el IGME continuó desempeñando un papel importante al proporcionar información y asesoramiento técnico sobre la geología de los recursos de hidrocarburos en España. Además, en ocasiones, el IGME trabajó como contratista en campañas geofísicas para empresas españolas del sector petrolero, para las cuales también realizó evaluaciones e informes sobre el potencial exploratorio de la península ibérica, el protectorado español de Marruecos y el Sahara español. Esta actividad como contratista y proveedor de informes concluyó en la década de 1960.

Entre las múltiples publicaciones del IGME referente a la geología del subsuelo de España cabe destacar *Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España* (1987), un trabajo que recoge información de los sondeos de hidrocarburos realizados en España entre 1941 y 1986. Aunque se trata de una recopilación incompleta, ha sido de gran utilidad para el avance del conocimiento científico del subsuelo español; convendría, pues, completarla y actualizarla con toda la información de pozos de investigación petrolera desde principios del siglo XX hasta la actualidad.

BIBLIOGRAFÍA

- DUPUY DE LÔME, E. (1937). Las investigaciones de petróleo en España. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 54, 333-386.
- GAVALA, J. (1916). Regiones petrolíferas de Andalucía. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 37, 27-182.
- 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. <https://doi.org/10.55407/rsge.96540>
- NAVARRO COMET, J., & PUCHE RIART, O. (2018). A century of hydrocarbon exploration and production in Spain (1860-1960). En J. Craig, F. Gerali, F. MacAulay & R. Sorkhabi (Eds.), *History of the European oil and gas industry* (pp. 345-360). Geological Society. <https://doi.org/10.1144/SP465.10>

3. PASADO,
PRESENTE
Y FUTURO
DE LAS AGUAS
MINERALES
Y TERMALES



El uso de las aguas minerales y termales se remonta a las más antiguas civilizaciones, debido a la creencia ancestral en las propiedades curativas y en los efectos beneficiosos que proporcionaban estas aguas para el organismo humano. Por este motivo, el IGME, desde sus orígenes —que parten de la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, creada por Isabel II mediante Real Decreto de 12 de julio de 1849 (*Gaceta de Madrid*, n.º 5424, de 20.07.1849)— se hace eco de su importancia, jugando un papel esencial durante estos 175 años desde su creación, profundizando en el conocimiento de estos recursos naturales y prestando un servicio continuado a las Administraciones públicas y a la sociedad en general.

Cabría destacar al ingeniero de minas Federico de Botella y de Hornos entre los primeros expertos, en relación con las aguas minerales y termales, que pasaron por este organismo, y que formó parte de la Comisión del Mapa Geológico de España. Sus trabajos en este campo se recogieron en la *Monografía de las aguas minerales y termales de España* (Botella y de Hornos, 1892), que además incluye las aguas minerales de Portugal y de la vertiente pirenaica francesa.

En 1913, el Instituto Geológico de España realizó una recopilación de manantiales de aguas minero-medicinales, trabajo inédito que contiene 792 manantiales distribuidos por provincias, especificando sus características

físico-químicas y su descripción geológica. Años más tarde, en 1947, se situaban las captaciones de agua y los manantiales minerales según su composición química, en un Mapa de Aguas Minerales a escala 1:1 500 000. Más recientemente, en 1986, se elaboró el «Informe sobre las aguas minero-medicinales, minero-industriales y de bebida envasada existentes en España» (López-Geta & Baeza Rodríguez-Caro, 1986).

Los estudios y trabajos de investigación que el IGME ha venido realizando desde su creación, unido a las competencias que la Ley 22/1973, de 21 julio, de Minas y el *Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería* (BOE, n.º 176, de 24.07.1973; BOE, n.º 295, de 11.12.1978) le atribuyen a este organismo para la declaración de aguas como minerales y la elaboración de informes preceptivos dentro de los trámites para la autorización de aprovechamiento de las mismas, han contribuido al esclarecimiento del origen y naturaleza de estos recursos, así como a su mejor protección. Fruto de dicha labor ha sido la publicación de numerosos trabajos científicos y la ejecución de diversos proyectos a escala autonómica y provincial, destacándose los siguientes: 1) evaluación del estado actual de las aguas minerales y de bebida envasadas en la Comunidad Valenciana (1990); 2) evaluación del estado actual de las aguas minerales en la

comunidad autónoma de Andalucía (1991); 3) estudio de las aguas minero-medicinales, minero-industriales, termales y de bebida envasadas en la comunidad autónoma de Aragón (1992); 4) estudio para la evaluación de las aguas minero-medicinales, minerales naturales, de manantial, termal y minero-industrial en el territorio de Cataluña (1994); 5) guía para la elaboración de perímetros de protección de las aguas minerales y termales (1996); 6) estudio de las aguas minerales y termales de la región de Murcia (2000); 7) *Las aguas minerales en España* (2001); 8) estudio del potencial de aguas minerales y termales del Principado de Asturias (2003); 9) *Las aguas minerales, minero-medicinales y termales de la provincia de Jaén* (2003); 11) estudio hidrogeológico y de las condiciones de captación para la mejora del aprovechamiento de los recursos hidrominerales de la comunidad autónoma de Galicia (2004).

La utilización de las aguas minerales y termales está adquiriendo una mayor relevancia, tanto desde el punto de vista de la salud pública como por el potencial desarrollo económico y social que supone su aprovechamiento, especialmente en zonas rurales. Por ello, en las últimas décadas, el IGME ha centrado sus trabajos de investigación en la profundización de estudios sobre la procedencia y mineralización de estas aguas, y en su protección y sostenibilidad, como se refleja en los libros *Las aguas minerales de España* (Baeza Rodríguez-Caro *et al.*, 2001) o *Las aguas minerales envasadas y la sostenibilidad de sus acuíferos* (Corral *et al.*, 2018) | fig. 1|. El primero realiza un análisis global del sector de las aguas de bebida envasada y de la industria balneoterápica, poniendo de manifiesto el potencial de estas aguas mediante el inventario de un número importante de captaciones que en ese momento no están aprovechadas. Por su parte, en *Las aguas minerales envasadas y la sostenibilidad de sus acuíferos* se proporciona información acerca del sector de las aguas minerales envasadas y la correcta gestión de sus acuíferos, haciendo un breve recorrido por su historia, su origen, su papel en la economía y su valor en la dieta, entre otros aspectos.

En la actualidad, el IGME sigue desarrollando trabajos de investigación relacionados con estos recursos hidrominerales, con el objetivo principal de avanzar en el conoci-



Figura 1. Publicaciones efectuadas en las últimas décadas para potenciar el sector de las aguas minerales y termales.

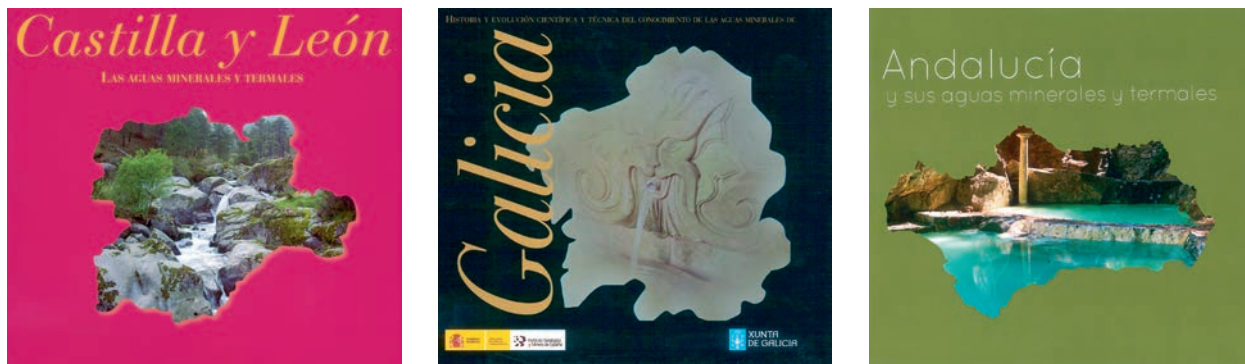


Figura 2. Libros de difusión de los resultados obtenidos en los diferentes proyectos desarrollados en las comunidades autónomas de Castilla y León, Galicia y Andalucía.

miento de la génesis de las aguas minerales y de su relación con el entorno geológico.

Uno de los principales resultados fue la definición y delimitación de los dominios hidrominerales de España (Corral *et al.*, 2008), como un conjunto de formaciones geológicas relacionadas geográfica y estratigráficamente entre sí, que engloba materiales cuya litología y estructura permiten el almacenamiento y circulación de aguas minerales con características físico-químicas comunes, lo cual significa que en cada dominio hidromineral van a predominar unas determinadas facies hidroquímicas. También, se procedió a identificar aquellos puntos con características geoquímicas anómalas respecto a los de su entorno, o en general a las aguas de la formación en la que se encuentran, bien por su composición general (facies hidroquímica), bien por el contenido en determinados elementos, generalmente indicadores de circulación profunda, que se han denominado *aguas singulares*. Este estudio ha servido de base para el establecimiento de diversos convenios de colaboración con las comunidades autónomas de Castilla y León, Galicia y Andalucía | fig. 2 |.

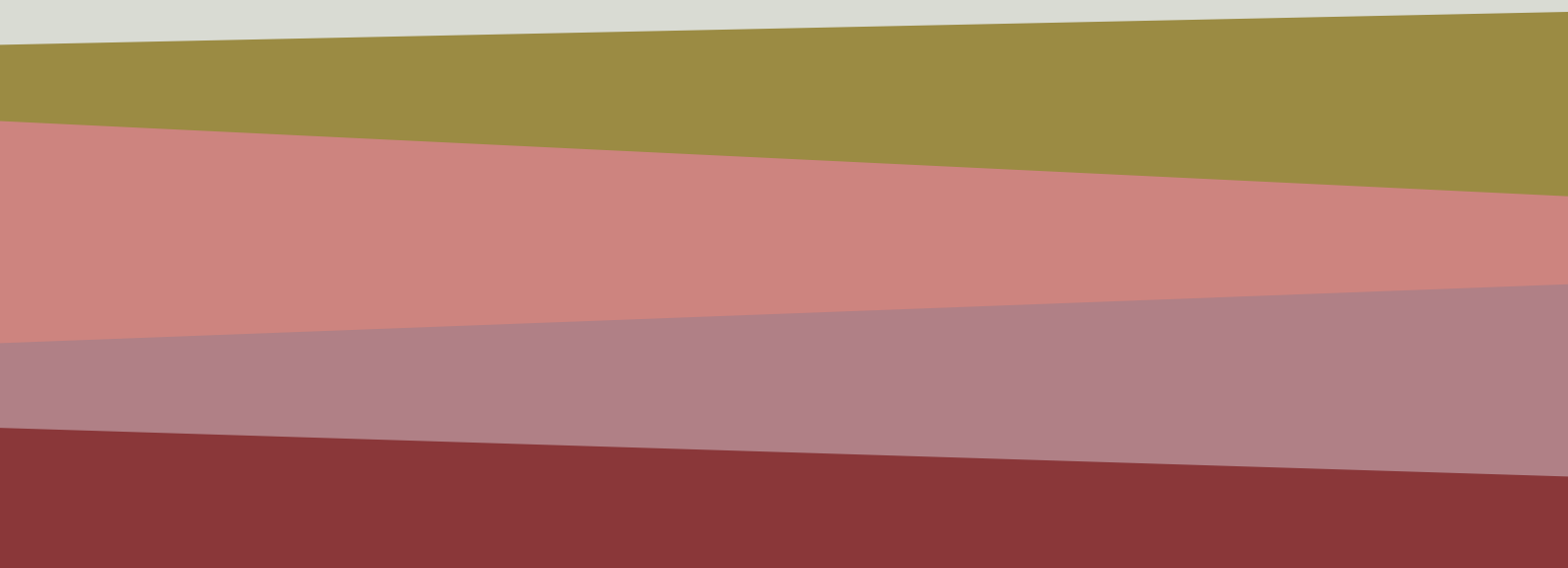
En un futuro próximo se pretende seguir colaborando con el resto de comunidades autónomas para desarrollar investigaciones similares que permitan continuar avanzando en el conocimiento de estas aguas. Así mismo, se prevé con-

tinuar efectuando estudios sobre la geodiversidad de estos recursos mineros, y la puesta en valor de puntos históricos, fomentando la promoción y desarrollo de los sectores económicos implicados. Por último, otro de los objetivos prioritarios es continuar asesorando a las Administraciones públicas y a la sociedad en general, así como seguir realizando la difusión de los conocimientos adquiridos.

BIBLIOGRAFÍA

- BOTELLA Y DE HORNOS, F. (1892). *Monografía de las aguas minerales y termales de España*. Imprenta del Colegio Nacional de Sordo-Mudos y de Ciegos.
- BAEZA RODRÍGUEZ-CARO, J., LÓPEZ-GETA, J.A., & RAMÍREZ ORTEGA, A. (2001). *Las aguas minerales en España*. Instituto Geológico Minero de España.
- CORRAL LLEDÓ, M. M., DÍAZ MUÑOZ, J. A., GALINDO RODRÍGUEZ M. E., & ONTIVEROS BELTRANENA, C. (2018). *Las aguas minerales envasadas y la sostenibilidad de sus acuíferos*. Instituto Geológico Mi-
- nero de España; Asociación Nacional de Empresas de Aguas de Bebida Envasadas.
- CORRAL LLEDÓ, M. M., LÓPEZ-GETA, J. A., & ONTIVEROS BELTRANENA, C. (2008). *Aspectos genéticos de las aguas minerales y termales españolas: relación entre las características físico-químicas y la geología del entorno* [Informe final]. Instituto Geológico y Minero de España.
- LÓPEZ-GETA, J. A., & BAEZA RODRÍGUEZ-CARO, J. (1986). *Informe sobre las aguas minero-medicinales, minero-industriales y de bebidas envasadas existentes en España*. Instituto Geológico y Minero de España.

4. LA CARTOGRAFÍA
METALOGENÉTICA
(1969-1971)
COMO INSTRUMENTO
PARA EL DESARROLLO



La Comisión de la Carta Geológica de Madrid y General del Reino tuvo como objetivo, desde su creación, la investigación de los recursos mineros del país. Sin embargo, en sus primeras cartografías no se indican los recursos mineros de una forma sistemática. No obstante, la Comisión y sus instituciones heredadas desarrollaron siempre una importante labor de estudio de los recursos minerales españoles. De todas formas, los primeros mapas mineros de España son tardíos. Durante la II República se publicaron dos ediciones consecutivas del *Mapa geológico-minero de España*, la primera en 1934 (escala 1:1 500 000) y la segunda en 1936 (escala 1:2 500 000). En ambos, sobre una base geológica, se señalaban las principales minas, con indicación de la sustancia explotada (Boixereu & Oliveira, 2017).

El principal avance en cuanto a cartografía geológica y minera de nuestro país tuvo lugar en un determinado contexto político, que debe ser tenido en cuenta. Así, la política económica de los últimos años del franquismo se caracterizó por la implementación, según el modelo francés, de la planificación indicativa. Esta obligaba al sector público y trataba de dirigir al privado a través de métodos indirectos, especialmente políticas de créditos y fiscales que utilizaban la acción concertada entre empresas públicas y privadas y ministerios competentes para conseguir los objetivos

de producción y desarrollo. Se organizaron tres planes de desarrollo que indujeron un gran crecimiento económico. A estos años se los conoce como *segundo franquismo o desarrollismo* (Alsina Oliva, 1987). El II Plan de Desarrollo Económico y Social (Ley 1/1969, de 11 de febrero, *BOE*, n.º 37, de 12.02.1969) señalaba en su artículo 6 como uno de sus objetivos «la ordenación de todos los recursos posibles disponibles» e incluía un Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM), cuya elaboración fue encomendada a la Dirección General de Minas, y que finalmente quedó incluido dentro del Plan Nacional de Minería del Ministerio de Industria, de alcance más amplio.

El PNIM tenía como objetivo el inventario de los recursos mineros españoles. Al no disponer nuestro país, en esos momentos, de datos estadísticos homogéneos y fiables sobre todos los yacimientos mineros, había que empezar prácticamente de cero. Gracias a las sugerencias de un grupo de jóvenes ingenieros de minas de la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras (ENADIMSA), que tenían una sólida formación geológica y metalogenética (José Sierra, Joaquín Burkhalter y Antonio Ortiz), se consideró que la mejor solución era expresar el inventario en una cartografía metalogenética. Estos mapas deberían servir de base para el trazado de los programas sectoriales de investigación. El

presupuesto asignado al proyecto PNIM fue de 74,4 Mpts. (Ministerio de Industria-Dirección General de Minas, 1969), que equivaldrían a unos 11,9 M€ de 2023, a ejecutar en 24 meses. ENADIMSA fue seleccionada por el IGME como empresa contratista principal. También colaboraron la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid y las universidades de Madrid, Barcelona y Granada.

Los objetivos que se plantearon fueron i) ofrecer una síntesis de los conocimientos actuales sobre los indicios y yacimientos minerales españoles; ii) estudiar los yacimientos minerales en su conjunto y definir los rasgos metalogenéticos comunes; y iii) establecer unas nuevas tipologías adecuadas a los avances alcanzados (*Mapa metalogenético*, 1972).

La ejecución del proyecto se desarrolló en varias fases. En primer lugar, se elaboró un estudio económico en el que se definieron cuáles eran, en ese momento, las sustancias prioritarias para la economía española, realizado por el IGME, a excepción del uranio (que lo estudió la JEN) y los combustibles sólidos e hidrocarburos, que los estudió la Dirección General de Energía y Combustibles. En segundo lugar, había que establecer una síntesis geológica básica, que sirviera de fondo y contextualización de los mapas. Se decidió que la escala más adecuada era la 1:200 000, que correspondía a la base topográfica disponible del Servicio Geográfico del Ejército. Además, las precisiones de los datos geológicos disponibles no permitían un mayor detalle. Para realizar las síntesis geológicas se incorporaron mapas coherentes y uniformes, dibujados a la misma escala. Se organizó un equipo de síntesis geológica, en el que colaboraron las facultades y departamentos de Geología de las universidades españolas.

Sobre esa síntesis geológica se superpusieron los indicios minerales mediante símbolos que mostraban el tamaño, la morfología, la mena, el quimismo de la mena y ganga, la roca encajante, el proceso genético, datos económicos y la edad. Una breve memoria anexa incluía las referencias bibliográficas y un listado de indicios con las principales características. Para la documentación bibliográfica, la base principal de trabajo, se referenciaron unos 2000 artículos que se clasificaron por provincias y sustancias. Las princi-

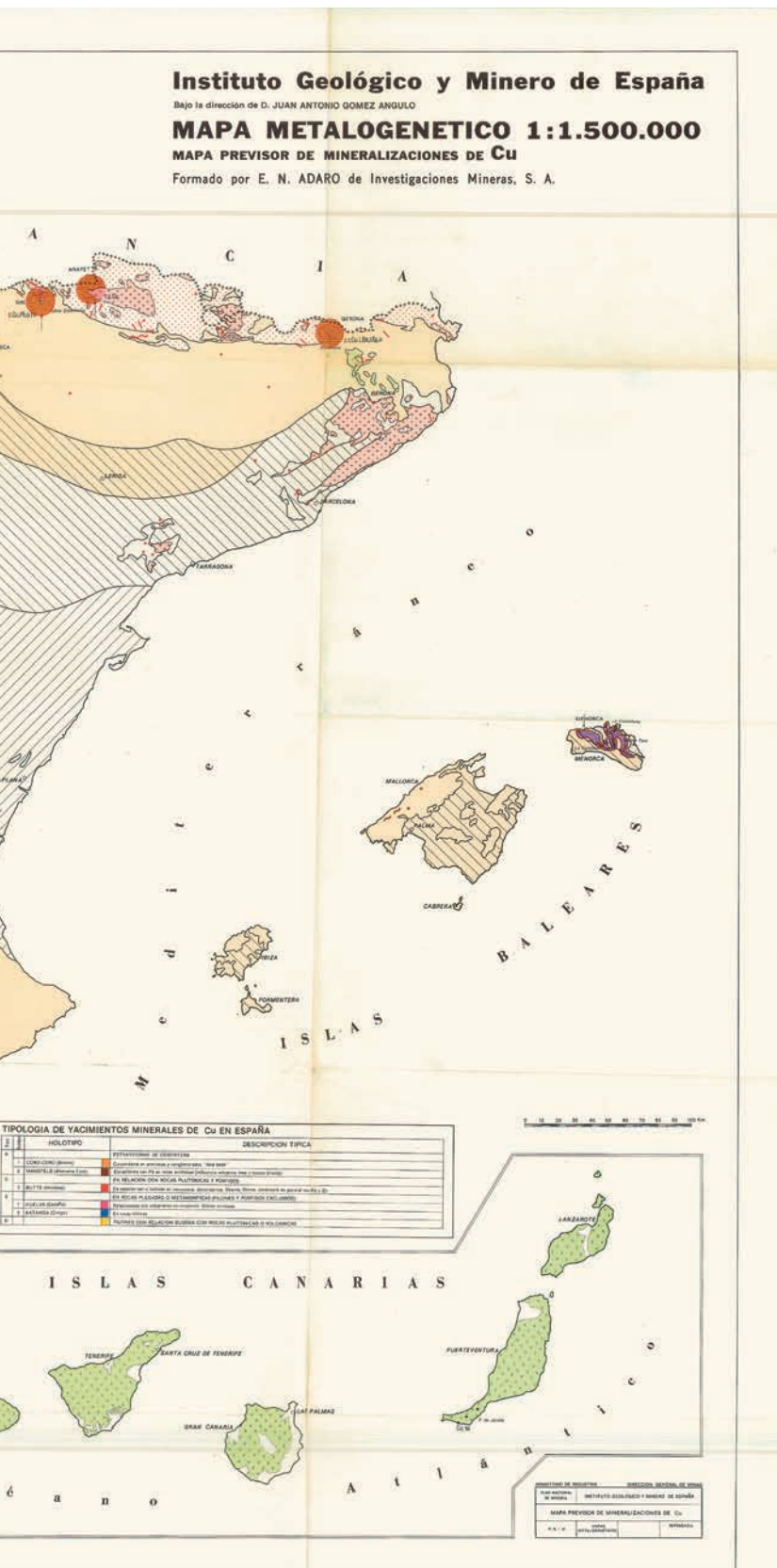
pales fuentes de información, además de la experiencia de los directores de los equipos, fueron los datos legales de las Secciones de Minas y las colaboraciones de los expertos locales en cada región. La base de trabajo eran los mapas topográficos a escala 1:50 000, sobre los que se situaron los indicios, a partir de las referencias documentales, y, ocasionalmente, se visitaron en el campo.

Debido a los cortos plazos de realización del proyecto, en los dos años de trabajo no se pudieron realizar campañas sistemáticas de campo para reconocer los indicios, por lo que la mayoría de estos fueron definidos a partir de referencias bibliográficas y de expedientes de las jefaturas provinciales de Minas.

Como base de sistematización de la información sobre cada indicio minero se diseñaron unas fichas-cuestionario. En total, se cumplimentaron 8325 fichas estructuradas en varios apartados: uno primero con los datos generales del indicio, incluyendo las coordenadas de situación; el segundo correspondía a los datos metalogenéticos; otro apartado hacía referencia a los permisos de investigación o concesiones de explotación, y en el último apartado se recogían los datos generales comunes a un grupo de yacimientos análogos. Lamentablemente, en la práctica muchos campos quedaron vacíos en la mayoría de las fichas, si bien hay que indicar que se diseñaron con la idea de que estos campos fueran rellenados *a posteriori*. La colección de fichas se conserva en el Centro de Documentación del IGME, y en la actualidad sigue siendo un recurso de investigación muy valioso.

El fundamento en que se basaba el mapa metalogenético era el de establecer las relaciones entre las mineralizaciones y su contexto geológico, para definir los metalotectos y así conferir a esta carta un carácter previsor, entendiéndose por metalotecto cualquier rasgo geológico ligado a la tectónica, a la litología, a la sedimentología, etc., que haya podido condicionar la presencia de una concentración mineral de determinadas características en un determinado lugar.

Se realizaron 87 mapas metalogenéticos | fig. 1 |, que cubrieron el total de la España peninsular y Baleares, quedando excluidas la provincia del Sahara, Ceuta y Melilla, por tener estos territorios un régimen minero especial. Los mapas de las islas Canarias no se llegaron a realizar porque



incluían los yacimientos españoles y una bibliografía. Desde el punto de vista conceptual, esta segunda serie cartográfica se debe considerar como una cartografía más elaborada que la anterior, con un carácter predictivo | fig. 2 |.

En conclusión, la edición de estas dos series cartográficas debe ser considerada como un hito en la historia del IGME. Este trabajo logró sintetizar en una única cartografía todo el conocimiento geológico y minero que existía en ese momento sobre España. El trabajo fue rápido, tres años de ejecución, con lo que se logró una gran homogeneidad en los criterios de la toma de datos. Resultó ser una obra fundamental para el conocimiento global de la metalogenia y la distribución de yacimientos en España y una herramienta útil para la definición y selección de áreas favorables, que más tarde fueron objeto de planes sectoriales de investigación de las sustancias declaradas. España contó, a partir de entonces con una infraestructura de conocimiento minero de gran calidad, que permitió planificar la exploración minera de los siguientes años. La metodología de trabajo inaugurada con este proyecto sentó las bases de una forma de trabajar, que ha marcado la labor desarrollada por el IGME hasta la actualidad.

BIBLIOGRAFÍA

- ALSINA OLIVA, R.M. (1987). Estrategia de desarrollo en España 1964-1975, planes y realidad. *Cuadernos de Economía*, 15(44), 337-370.
- BOIXEREU, E., & OLIVEIRA, D. de. (2017). Los mapas de recursos minerales de la península Ibérica: unos mapas de mucho interés. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural* [2.ª época], 14, 155-174.

- [Mapa metalogénico] *Programa Nacional de Investigación Minera. Mapa metalogénico.* (1972). Ministerio de Industria, Dirección General de Minas; Instituto Geológico y Minero de España.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA-DIRECCIÓN GENERAL DE MINAS (1969). *Proyecto para elaborar el Programa Nacional de Investigación Minera P. N. I. M.* Ministerio de Industria
- SIERRA LÓPEZ, J. (1971). Los mapas metalogénicos de España. *Industria Minera*, 121, 5-27.

Figura 2. Mapa metalogénico a escala 1:1 500 000. Mapa predictor de las mineralizaciones de cobre (IGME, 1971).

5. LOS INICIOS
DE LA INVESTIGACIÓN
DE LOS RECURSOS
GEOTÉRMICOS EN ESPAÑA:
EL PAPEL DEL IGME



Ya en los primeros trabajos de investigación realizados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) se muestra claramente la inquietud científica de su personal en relación con los estudios geotérmicos. Como ejemplo se puede citar que en los años veinte del pasado siglo, con motivo de la realización de un sondeo de más de 1200 m de profundidad en materiales evaporíticos, se llevase a cabo un detallado estudio del grado geotérmico observado en el sondeo. Con numerosos registros a lo largo de la perforación, el gradiente medio observado fue de 1 °C cada 30,55 m.

Sin duda alguna, con respecto a esta materia, destacan dos trabajos realizados a finales de los años cuarenta del siglo XX, relativos a la Montaña de Fuego (Lanzarote) | fig. 1 |, en los que se estudia la posibilidad de aprovechamiento del calor medido en zonas muy concretas de la superficie de la isla, y que ilustran claramente el interés del IGME en la utilización de esta fuente energética (IGME, 1948). Por su parte, Romero Ortiz (1951) realizó el análisis detallado de la erupción del volcán Nambroque (isla de La Palma) y las referencias al gradiente geotérmico, así como una reseña del volcanismo histórico de la isla, con la descripción de algunas de las erupciones.

En el inicio de la década de los setenta del siglo XX se desarrollan en España varios estudios sobre recursos geo-

térmicos. Se trataba de trabajos esporádicos de carácter más bien local. Así, las universidades de Granada y Barcelona trabajaban en áreas de las Béticas y de Cataluña, y el extinto Instituto Nacional de Industria (INI) estudió zonas volcánicas peninsulares (Gerona, Almería, Murcia, Granada y Ciudad Real) en busca de recursos geotérmicos. En esa misma época, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad Complutense de Madrid investigaban en Canarias (fundamentalmente en Lanzarote) posibles yacimientos geotérmicos (Abad Fernández, 1976). Es preciso recordar que en 1971 se producía la erupción del Teneguía (La Palma), lo que añadía mayor interés sobre estos temas. Fechada en 1970, una breve nota de la Comisión Nacional de Geología relativa a los recursos geotérmicos en España contiene un mapa de zonas de interés geotérmico y cita un proyecto iniciado en 1968 sobre investigación geotérmica de las islas Canarias, del que no se ha podido localizar ninguna otra información. Es por todo ello que, en esta primera mitad de la década de los setenta, aparecen en España las primeras publicaciones que hacen referencia a la energía geotérmica y su posible aprovechamiento.

Pero un hecho trascendental para todo el sector energético se produjo en octubre de 1973: el conflicto árabe-israelí fue el detonante de la primera crisis de la energía. A partir

Delegación del Instituto
Geológico.

Estudio de la Montaña
de Fuego.

Detalles.

Las Palmas de Gran Canaria Octubre de 1949.

El Ayudante, El Organismo Delegado,

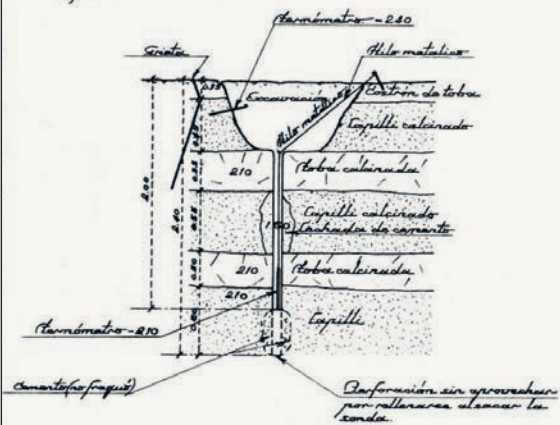
M. J. J. J.

T. J. J.

V.B.

M. J. J. J.

Figura 1



(Numeros en rojo = temperaturas obtenidas)

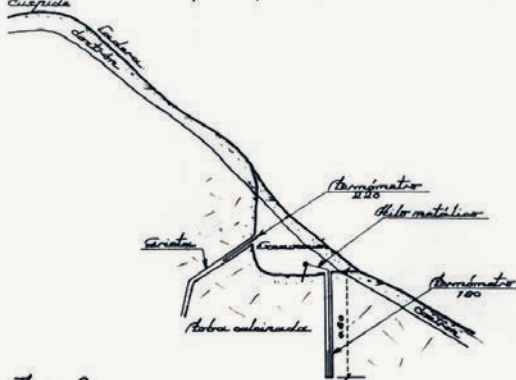


Figura 2

Escala = 1:50

Figura 1. Portadilla y detalle de una de las figuras del «Estudio de la Montaña de Fuego» realizado por la Delegación del Instituto Geológico en Las Palmas de Gran Canaria en 1949. Centro de Documentación del IGME.

de ese momento, los precios de los combustibles perdieron la estabilidad y empezaron a sufrir subidas importantes a medida que se sucedían las sucesivas etapas de crisis en los precios del crudo.

Resulta llamativo que el IGME, con fondos del Plan Nacional de Investigación Minera y con la asistencia técnica de la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A. (ENADIMSA), llevase a cabo el primer estudio sistemático de investigación geotérmica, el «Inventario general de manifestaciones geotérmicas en el territorio nacional», incluso antes de que España dispusiese de su primer Plan Energético Nacional (PEN), que vio la luz en 1975, año en el que precisamente finalizó el citado inventario. Sin lugar a dudas, el inventario del 75 constituye la verdadera base de los estudios geotérmicos posteriores. No solo aporta la primera evaluación del potencial geotérmico en España, sino que establece una metodología de investigación (que posteriormente fue claramente mejorada), permitiendo la formación de equipos técnicos que la desarrollaron y planteando las prioridades de investigación de áreas de interés. Es preciso destacar que en este trabajo intervinieron dos auténticos pioneros de la geotermia en España: Jerónimo Abad Fernández, desde su puesto en el IGME, y Fernando Pendás Fernández, desde ENADIMSA. Igualmente cabe reseñar la autoría de uno de los primeros textos en español sobre geotermia (Díaz de Berricano & Pendás, 1974), precisamente en estas fechas en que este tercer pionero de la geotermia en España, Díaz de Berricano, nos ha abandonado, como anteriormente lo habían hecho los dos anteriores, rindiéndoles con estas líneas el merecido homenaje.

El trabajo del inventario se centró en estudios de reconocimiento geológico regional y en estudios hidroquímicos de las surgencias termales, y se completó con un estudio de gradientes geotérmicos obtenido a partir del tratamiento de los datos de sondeos de hidrocarburos. Como síntesis del trabajo llevado a cabo, se elaboró el mapa de las áreas con mayores posibilidades de existencia de recursos geotérmicos, en el que estaban indicadas las temperaturas estimadas, así como las profundidades previsibles de los posibles almacenes geotérmicos. El inventario del 75 constituyó la primera fase del reconocimiento a nivel nacional de los

recursos geotérmicos disponibles en España, que comprendía: i) el inventario de puntos de anomalía geotérmica; ii) la delimitación de zonas geotérmicas; y iii) la investigación y evaluación de recursos geotérmicos en las zonas seleccionadas.

Conforme a esta planificación de actividades, el IGME llevó a cabo en los años siguientes estudios de delimitación de zonas, así como la investigación y evaluación de los recursos geotérmicos en diferentes áreas, comenzando por las cordilleras Béticas en la cuenca de Mula, en las islas Canarias en Lanzarote, y continuando por diferentes zonas del territorio español. En zonas como la depresión del Vallés, la cuenca de Madrid y ciertas áreas de las cordilleras Béticas, consideradas de gran interés, se llevaron a cabo las principales investigaciones. En estos trabajos del IGME participaron activamente varias empresas y numerosos técnicos. Cabe destacar como responsables de los equipos a José Sánchez Guzmán por parte de ENADIMSA, José Albert Beltrán en la Compañía General de Sondeos (CGS) y José María Mena Inglés por parte de Ibérica de Especialidades Geotécnicas (IBERGESA). El desarrollo de estos estudios del IGME en zonas de interés, permitió mejorar las técnicas de prospección y reconocimiento, lo que contribuyó a la mayor precisión de los estudios y a formar equipos técnicos especializados en estos recursos.

La participación en congresos, simposios y jornadas durante esta etapa pone de manifiesto el esfuerzo investigador liderado por el IGME, entre los que se puede destacar el Seminario Internacional de Energía Geotérmica, que se celebró en 1975 en Madrid en el marco del XXX Curso de Hidrogeología que organizaban el IGME y la Escuela de Minas de Madrid, y que contó con la participación de expertos internacionales. En octubre de 1976 se organizó en Las Palmas de Gran Canaria el I Simposium Internacional sobre Aprovechamiento de la Energía, en el que se constató el gran interés por los posibles recursos geotérmicos de Lanzarote. Las investigaciones previas del CSIC (fundamentalmente a través del Instituto Lucas Mallada), las conclusiones del inventario del 75, así como la realización de una campaña de geofísica marina llevada a cabo por el IGME, fueron claves para decidir la perforación del sondeo

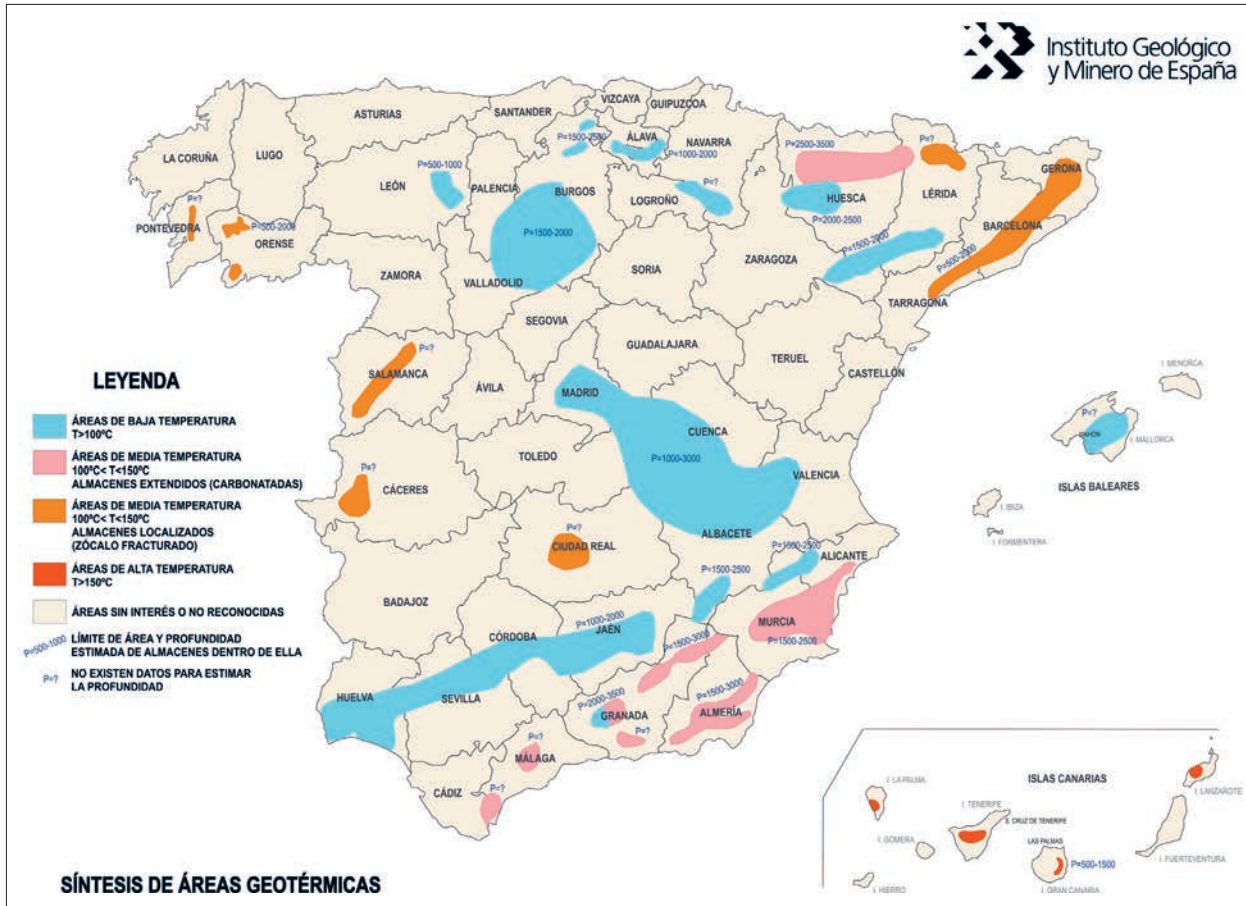


Figura 2. Mapa de síntesis de áreas geotérmicas en España. Fuente: IGME.

geotérmico de Lanzarote, que fue financiado por el INI, el Centro de Estudios de la Energía (actualmente Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE) y el IGME, y perforado en 1977.

Con el inicio en 1979 del II PEN, se abordó un Plan Nacional de Investigación de Otras Fuentes Energéticas que contemplaba, además de la investigación de rocas bituminosas y el aprovechamiento energético de residuos sólidos, un Plan Nacional de Investigación Geotérmica que planteó para las áreas de interés definidas en el «Inventario» de 1975, un programa detallado de exploración, así como de investigación tecnológica y el desarrollo de plantas de demostración. Por ello, a partir de 1980 la geotermia recibe un fuerte impulso por parte de la Administración en una doble dirección. De una parte, la asignación al IGME de una dotación presupuestaria significativa para la investigación de los recursos geotérmicos (abarcando todo el territorio del país pero centrando las investigaciones en áreas de Canarias, Cataluña, Cordilleras Béticas, Madrid y Galicia) | fig. 2 |; y de otra, una labor complementaria que la Dirección General de Minas encarga a ENADIMSA para la evaluación de yacimientos y puesta en explotación de los recursos (concentrando sus esfuerzos en zonas de Madrid, Burgos, Murcia, Canarias y Cataluña), permitiendo delimitar con gran detalle las áreas de interés geotérmico con estimación de profundidades y características de los almacenes.

A partir de 1985 la actividad investigadora va decreciendo de forma significativa. En 1986 se publica el I Plan de Energías Renovables, en el que la geotermia se contempla

como alternativa de interés. Precisamente durante la gestación del Plan, la geotermia llega a ser considerada como una de las energías renovables con mayor potencialidad. Sin embargo, eran otras las prioridades que ya se habían decidido previamente. La entrada de España en la Comunidad Económica Europea permitió nuevas vías para la financiación de proyectos geotérmicos abordables por distintas entidades, a partir de la valiosa información que el IGME había ido elaborando en los años precedentes. Algunas participan en este acceso a nuevos recursos energéticos y promueven varios proyectos, fundamentalmente de demostración.

Los resultados de los diferentes proyectos de investigación que el IGME llevó a cabo durante los años setenta y ochenta del siglo XX fundamentalmente han sido objeto de consulta obligada para todos aquellos que se han adentrado en el mundo de la geotermia en España desde hace dos décadas y permiten albergar un futuro más que esperanzador para esta fuente de energía autóctona y renovable.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD FERNÁNDEZ, J. (1976). Posibilidades de la energía geotérmica en España. *Energía*, 6, 21-23

DÍAZ DE BERRICANO, I., & PENDÁS, F. (1974). *Los recursos geotérmicos*. ENADIMSA.

IGME (1948). *Estudio de la Montaña de Fuego de Lanzarote*. Siste-

ma de Información Documental del Instituto Geológico y Minero de España, código 64181. Disponible en http://info.igme.es/SidPDF/166000/796/166796_0000001.pdf

ROMERO ORTIZ, J. (1951). La erupción del Nambroque en la Isla de la Palma (informe preliminar). *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 63, 1-164.

6. EL PLAN DE SELECCIÓN
Y CARACTERIZACIÓN
DE ESTRUCTURAS FAVORABLES
PARA ALMACENAMIENTO
GEOLÓGICO DE CO₂
EN ESPAÑA

Desde el inicio del siglo XXI la comunidad científica busca soluciones para mitigar el cambio climático que se viene observando desde las últimas décadas del siglo XX. Una de las soluciones más respaldadas es el almacenamiento geológico del CO₂ antropogénico que se libera a la atmósfera procedente de los procesos industriales (Bachu, 2001). El conocimiento del subsuelo y la tecnología adquiridas por la industria del gas y el petróleo en sus programas de exploración y desarrollo durante los últimos cien años permiten establecer las condiciones más favorables para almacenamiento geológico de CO₂, siendo este posible en yacimientos de gas o petróleo depletados, acuíferos salinos profundos, cavernas salinas o capas de carbón. La importancia de esta tecnología contra el cambio climático se materializó en la Unión Europea (UE) a través de los VI y VII programas marco, promocionando numerosos proyectos para el estudio y evaluación de su viabilidad tanto técnica como económica en función de las emisiones generadas. Para ello, uno de los primeros pasos fue conocer la capacidad de almacenamiento de CO₂ de los distintos países de la UE y los países limítrofes a través del conocimiento geológico preexistente, participando activamente los institutos geológicos de los países que, por entonces, formaban parte de la Unión Europea, entre ellos el Instituto Geológico y Minero de España

(IGME). Estos proyectos se enfocaron fundamentalmente a la búsqueda de almacenes geológicos en acuíferos salinos profundos por su viabilidad técnica, económica y su presencia en todo el territorio. Al mismo tiempo, la UE propuso un marco legal para el desarrollo del almacenamiento geológico a través de la Directiva 2009/31/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 de abril de 2009, que se traspuso a la legislación española a través de la Ley 40/2010 del 29 de diciembre, de almacenamiento geológico de dióxido de carbono (BOE, n.º 317, de 30.12.2010).

El IGME formó parte de estos primeros pasos europeos con su conocimiento del territorio español y de las posibles unidades geológicas que pudieran contener almacenes de interés, lo que se culminó en el año 2009 cuando el IGME desarrolló un programa concreto de búsqueda de estructuras geológicas en el territorio nacional y la estimación de sus capacidades en el denominado *Plan de selección y caracterización de áreas y estructuras favorables para el almacenamiento geológico de CO₂ en España* (ALGECO2).

El Plan ALGECO2, financiado por el Instituto para la Reestructuración de la Minería del Carbón y el Desarrollo Alternativo de las Comarcas Mineras, dependiente del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, se realizó en dos fases. En la primera (2009-2010), se obtuvo la

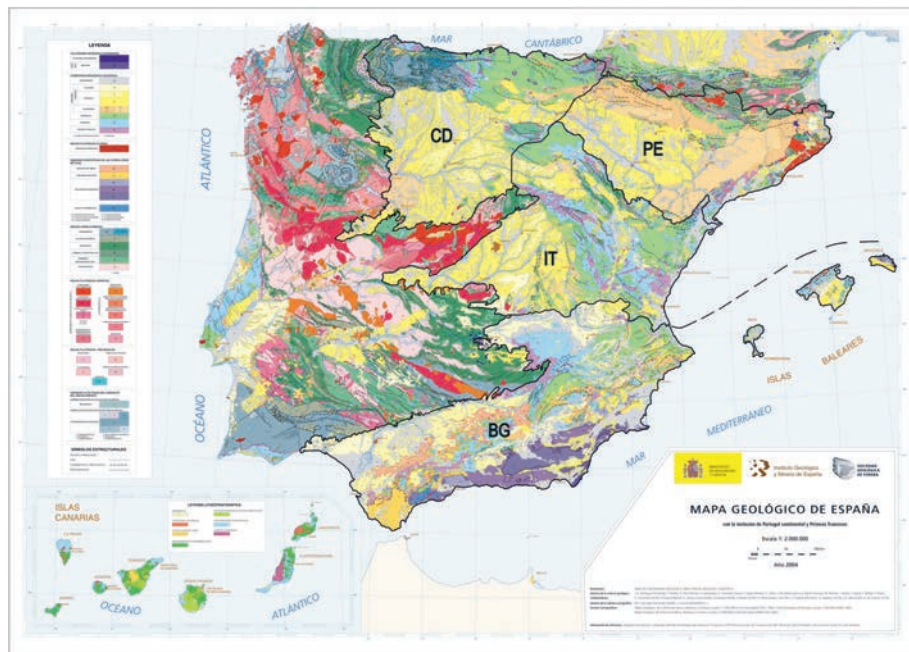


Figura 1. Mapa de los grandes dominios geológicos en los que se estructuraron los trabajos de la primera fase del Plan ALGECO2 (Lobón *et al.*, 2010).
 CD: Cuenca Vascocantábrica-Duero;
 PE: Pirineo-Ebro;
 IT: Ibérica-Tajo;
 BG: Béticas-Guadalquivir.

selección y caracterización inicial de las áreas y estructuras más favorables para el almacenamiento geológico de CO₂ en las principales cuencas sedimentarias españolas (Lobón *et al.*, 2010). En la segunda fase (2012-2014), se estudiaron en detalle algunas de las estructuras favorables, se realizó la modelización dinámica de algunas de ellas, se estudiaron posibles estructuras en el margen continental y, finalmente, se crearon distintas herramientas para difundir y divulgar los resultados obtenidos en las dos fases (Suárez & Martínez, 2015).

La primera fase del Plan ALGECO2 se abordó a través de once subproyectos, ocho de los cuales tenían como objetivo definir a escala regional y de detalle (a escala de estructura geológica) las características y posibilidades de almacenamiento geológico en los cuatro grandes dominios geológicos metasedimentarios de España: Pirineo-Ebro, cuenca Vascocantábrica-Duero, Ibérica-Tajo y Béticas-Guadalquivir | fig. 1|. Como resultado de estos ocho proyectos, más uno específico de geofísica, que se centraba en estructuras ya conocidas durante la investigación petrolera,

se obtuvo: i) la definición de formaciones almacén-sello a ambas escalas; ii) la construcción de mapas de isobatas e isopacas a escala 1:400 000; iii) la elaboración de modelos de funcionamiento hidrogeológico a nivel de dominio y de estructura; iv) la caracterización y delimitación de unas 70 áreas con 103 estructuras; v) su modelización geológica 3D; y vi) el cálculo de capacidad de almacenamiento geológico de CO₂ de cada una de ellas. Otro de los subproyectos tenía como finalidad apoyar a los otros nueve recopilando datos petrofísicos de las rocas almacén y sello a partir del estudio de detalle de sondeos de pequeña profundidad y determinando el comportamiento físico-químico de la interacción roca, salmuera y CO₂, simulando las condiciones de enterramiento en un autoclave. El último de los subproyectos consistió en jerarquizar y valorizar las 55 estructuras geológicas mayores según la aplicación de criterios de favorabilidad y fiabilidad.

La segunda fase del Plan ALGECO2 se diferenció en dos subproyectos muy distintos. El primero se centró en mejorar el conocimiento existente de nueve de las 103 estruc-

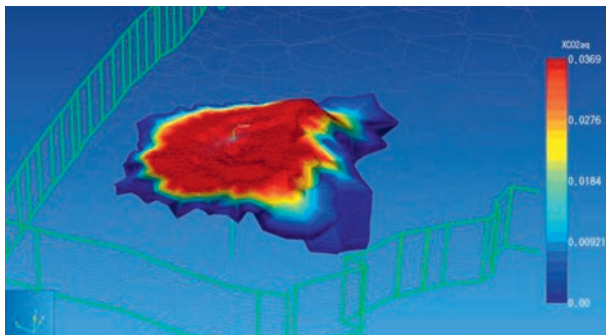


Figura 2. Fracción máxica de CO₂ disuelto en la fase acuosa al finalizar los veinte años de inyección en el almacén de la estructura de Villameriel (Suárez & Martínez, 2015).

turas descritas en la primera fase, corroborando los datos obtenidos de favorabilidad y fiabilidad, creando modelos geológicos 3D más robustos y con datos petrofísicos más detallados. Además, y por primera vez en el IGME, se realizaba la modelización dinámica de dos de estos almacenes, con el fin de establecer el comportamiento del CO₂ a lo largo del periodo de inyección y posinyección, de tal forma, que se obtuvieran valores de capacidad de almacenamiento más veraces | fig. 2 |. Además, se realizó también el estudio en detalle y modelización geológica 3D de estructuras en los márgenes marinos continentales, tres estructuras en el mar Cantábrico y otras tres en el margen del mar Mediterráneo noroccidental.

El segundo de los proyectos se centró en la creación de aplicaciones y productos de información del subsuelo en España que recogieran los trabajos realizados durante el proyecto y toda la información del subsuelo que se había generado durante los últimos cincuenta años de investigación, fundamentalmente asociada a exploración de hidrocarburos y a la búsqueda de emplazamientos seguros de residuos radiactivos. Así, se creó un portal donde toda la información del subsuelo generada por el plan puede ser visualizada y utilizada por el público en general, se editaron atlas de cada una de las estructuras, así como un *Mapa de almacenes geológicos potenciales de CO₂ en España* (<http://info.igme.es/almacenesco2/>).

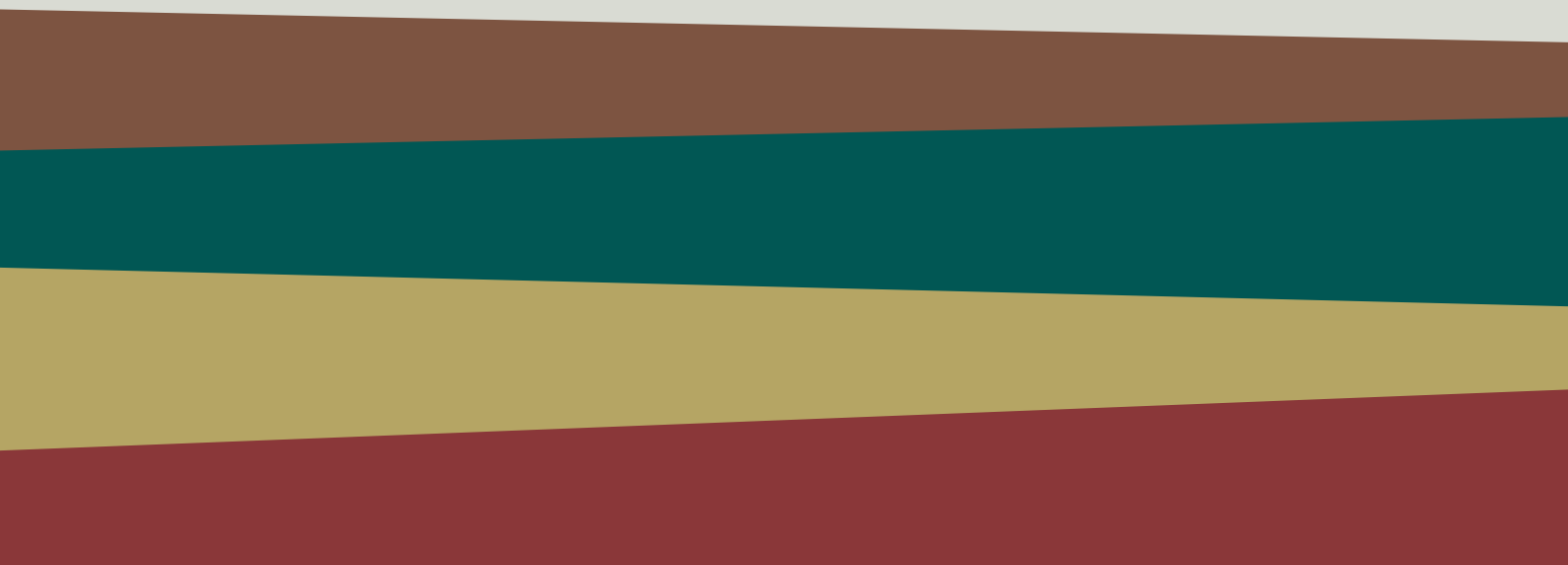
El Plan ALGECO₂ significó para el IGME una modernización en la búsqueda y caracterización de almacenes geológicos, tanto en el uso de herramientas de modelización geológica como en la integración de diferente información del subsuelo. Los trabajos actuales que se siguen realizando, tanto en proyectos nacionales como europeos, en la definición de estructuras de almacenamiento para la gestión de energía, es decir, para almacenamiento de CO₂, H₂ o aire comprimido e incluso reservorios térmicos, utilizan dicha información y copian la metodología aplicada. Actualmente, los proyectos de investigación de almacenamiento geológico de CO₂ buscan mejorar el conocimiento petrofísico de los reservorios, su seguridad ante fugas o riesgos geológicos y, además, evaluar la viabilidad tecnoeconómica en relación con los centros de emisión y sus características.

En el futuro, los acuerdos de París y los compromisos que se establecieron para la reducción de emisiones obligan a ciertas industrias (petroquímicas, cementeras, entre otras) a la búsqueda de emplazamientos, por lo que el IGME, tanto por su relación con la Ley 40/2010 de Almacenamiento Geológico de CO₂ como por su conocimiento del subsuelo, seguirá involucrado en la caracterización y evaluación de almacenes geológicos en las condiciones más seguras.

BIBLIOGRAFÍA

- BACHU, S. (2001). Geological sequestration of anthropogenic carbon dioxide: applicability and current issues. En L. C. Gehard, W. E. Harrison & G. M. Hanson (Eds.), *Geological perspectives of global climate change* (pp. 285-303). American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/St47737C16>
- LOBÓN, J. L., REGUERA, M. I., MARTÍN, J., REY-MORAL, C., & BERREZUETA, E. (2010). *Plan de selección y caracterización de áreas y estructuras favorables para el almacenamiento geológico de CO₂ en España* [Resumen ejecutivo]. Sistema de Información Documental, Instituto Geológico y Minero de España. https://info.igme.es/SidPDF/149000/047/149047_0000001.pdf
- SUÁREZ, I., & MARTÍNEZ, R. (2015). *Plan de selección y evaluación de estructuras geológicas para almacenamiento de CO₂ en España. Resumen ejecutivo*. Sistema de Información Documental, Instituto Geológico y Minero de España.

7. EL INVENTARIO
ESPAÑOL
DE LUGARES DE
INTERÉS GEOLÓGICO



La geoconservación, incluyendo el estudio del patrimonio geológico, es una de las disciplinas más recientemente incorporadas al ámbito de la geología. Es una aproximación a los recursos geológicos, entendiendo también como tales aquellos afloramientos, yacimientos, estructuras, morfologías y los elementos de tipo mueble (rocas, minerales, fósiles y meteoritos) que presentan un valor científico, didáctico o turístico. Un paso imprescindible para la gestión de este patrimonio son los inventarios de lugares de interés geológico (LIG) realizados con una metodología estandarizada que permita su valoración y su cartografía.

El Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) es uno de los inventarios oficiales incluidos en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, y su desarrollo legislativo (BOE, n.º 299, de 14.12.2007; n.º 112, de 11.05.2011). El Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017 (Real Decreto 1274/2011, BOE, n.º 236, de 30.09.2011) encomendó al IGME el desarrollo de la metodología del IELIG y coordinar las actividades de inventario junto con las comunidades autónomas, en cumplimiento del objetivo 2.8 «Incrementar los conocimientos sobre geodiversidad y patrimonio geológico y aumentar su protección». Las comunidades autónomas que, por el momento, han contribuido al IELIG con sus inventarios oficiales son Andalucía,

Cataluña, País Vasco, Aragón y Región de Murcia, mientras que otras, como Canarias y La Rioja, también han contribuido, pero sin oficializar su inventario.

El IGME fue la primera institución pública en España que incluyó expresamente en sus estatutos esta nueva disciplina, reforzando los trabajos pioneros iniciados en la década de los setenta del siglo XX (Real Decreto 1953/2000, de 1 de diciembre, BOE, n.º 289, de 02.12.2000). Este inventario nacional, en parte, es heredero del pionero Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico que el IGME promovió entre 1978 y 1989, realizado por Emilio Elizaga y su equipo de colaboradores. El IELIG es un inventario de patrimonio geológico sistemático de reconocimiento avanzado (García-Cortés *et al.*, 2019), que está diseñado metodológicamente para cubrir todo el territorio español e identificar los LIG de relevancia nacional e internacional de cada uno de los dominios geológicos del país. Los LIG se seleccionan recurriendo a encuestas a expertos, conocedores de todas las disciplinas de la geología, y para cada dominio geológico español.

En el periodo 2000-2007 se realizó la primera revisión metodológica del IELIG con un triple objetivo: 1.º adaptarlo al actual desarrollo de las ciencias geológicas; 2.º responder a las obligaciones del IGME en la legislación y las políticas de conservación del patrimonio geológico y la geodiversidad

en España que se promulgaron en 2007, y 3.º) hacerlo más comprensible y aprovechable para las Administraciones responsables de la conservación, gestión y uso, con acceso abierto desde la web del IGME. Con el fin de validar la metodología, se realizó el proyecto piloto entre 2009-2011 (García-Cortés *et al.*, 2013).

El contenido del IELIG son los lugares o LIG que, por su carácter único o representativo, para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos españoles, incluyendo los procesos que los han

modelado, los climas del pasado y su evolución paleobiológica. El inventario tiene una información cartográfica digital, con geometría de polígonos o puntos, y una base de datos asociada. El sistema gestor de la base de datos relacional que utiliza para almacenar y gestionar la base de datos es Microsoft SQL Server. A fecha de 2023, contiene información de 4150 LIG, que incluye los 252 *global geosites* de España y otros LIG de relevancia local en fase de valoración. Se pueden consultar todos los LIG, salvo algunos de interés principal paleontológico o mineralógico, que por



EMILIO ELÍZAGA MUÑOZ

(1945-1992)

Geólogo del IGME desde su incorporación en 1974 y hasta su fallecimiento. Trabajó en la elaboración y supervisión de cartografías geológicas (MAGNA). Sus especialidades fueron la estratigrafía y la sedimentología, conocimiento este que también aplicó a la peligrosidad por inundaciones. Fue el principal impulsor y fundador de la Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio (SEGAOT). Fue el pionero en el IGME en promover el estudio del patrimonio geológico español, dando comienzo al Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico (INPIG), destacando los inventarios realizados en Galicia y en la cordillera Cantábrica entre 1978-1989, con numerosos colaboradores. Dada su personalidad innovadora, produjo y dirigió dos documentales sobre patrimonio y puntos de interés geológico, siendo también un pionero de la divulgación.

ÁNGEL GARCÍA CORTÉS

(1957-)

Doctor Ingeniero de Minas, ha sido profesor titular de la Escuela Superior de Ingenieros de Minas (UPM) y científico titular del IGME, así como director de departamento. Entre otras especialidades, y siguiendo con el testigo de Emilio Elízaga, fue el principal promotor y coautor del IELIG. Con su equipo y hasta su jubilación en 2021, situó al IGME en la vanguardia del patrimonio geológico a nivel nacional e internacional. Ha sido coordinador del Proyecto Global Geosites (2000-2008), y gracias a su tesón, España ha sido uno de los pocos países en finalizarlo y en incluir los contextos de relevancia internacional en su legislación (anexo VIII de la Ley 42/2007). Proponente y primer presidente de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España en 1994 y miembro del Comité Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad (2011-2017). Creó el Área de Patrimonio Geológico y Minero del IGME (BOE, n.º 219, de 12.09.2007) y fue su jefe hasta 2017. Presidente y secretario del Comité Nacional Español de Geoparques (2016-2020).

En 1991, Emilio y Ángel participaron en la elaboración y firma de la Declaración Internacional de los Derechos de la Memoria de la Tierra, conocida como *Declaración de Digne*, un hito clave de la historia de la geoconservación a nivel mundial.

Figura 1. Izquierda, Emilio Elízaga (autor: Jaime Palacio. Fuente: Archivo IGME). Derecha, Ángel García Cortés (Fuente: archivo Juana Vegas, 2015).

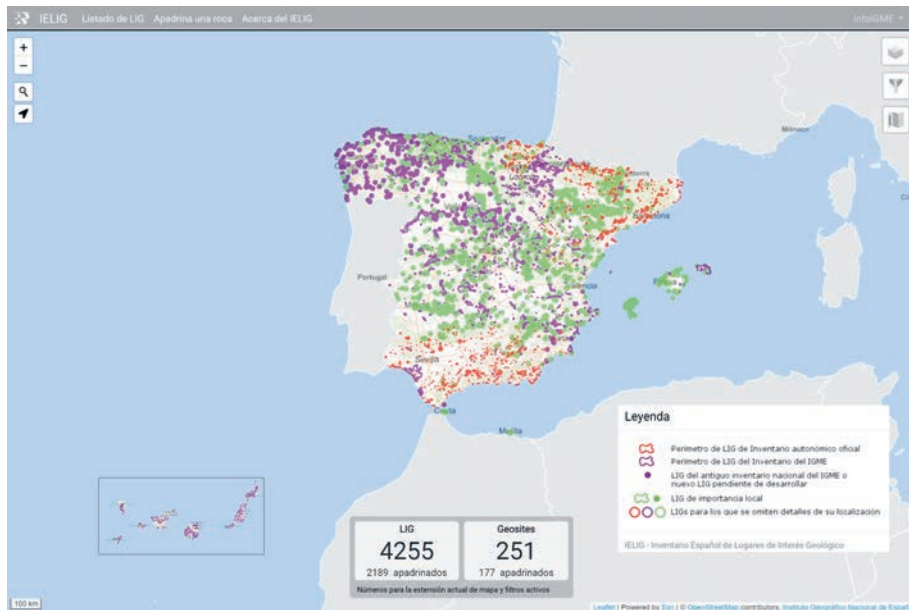


Figura 2. Visor web del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG: <http://info.igme.es/ielig/>).

motivos de conservación y protección no se ofrece su ubicación exacta, ni sus datos | fig. 2 |. Todos los LIG se pueden apadrinar gratuitamente mediante el programa de ciencia ciudadana Apadrina una Roca, que ayuda a la custodia de este patrimonio geológico.

La mayor proyección internacional ha sido el convenio específico firmado con el Servicio Geológico Colombiano (SGC), «Asesoramiento para el diseño y desarrollo de un programa de actuaciones sobre inventario, geoconservación, divulgación y normatividad del patrimonio geológico y paleontológico de Colombia» (2015-2016), donde se desarrolló la adaptación metodológica del IELIG al territorio de Colombia. También se asesoró en la redacción y en las distintas fases para la aprobación del Decreto 1353, de 2018, para el Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación y se creó el Sistema Nacional del Patrimonio Geológico y Paleontológico (SNPGP) de Colombia.

En conclusión, el IELIG es una herramienta fundamental para la conservación del patrimonio geológico en España y es un referente internacional por su metodología, aplicaciones y sistema de colaboración entre diferentes instituciones.

BIBLIOGRAFÍA

- GARCÍA-CORTÉS, Á., CARCAVILLA, L., VEGAS, J., & DÍAZ-MARTÍNEZ, E. (2013). Algunos resultados del inventario de lugares de interés geológico de la cordillera Ibérica. En J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz-Martínez, & C. Marchán (Eds.), *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo* (pp. 379-388). Instituto Geológico y Minero de España.
- GARCÍA-CORTÉS, Á., VEGAS, J., CARCAVILLA, L., & DÍAZ-MARTÍNEZ, E. (2019). *Bases conceptuales y metodología del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) / Conceptual base and methodology of the Spanish Inventory of Sites of Geological Interest (IELIG)*. Instituto Geológico y Minero de España. <https://bit.ly/3HdYliQ> (castellano) y <https://bit.ly/3vhztfX> (inglés).

8. EL ATLAS
GEOQUÍMICO
DE ESPAÑA*



En los años setenta y ochenta, tuvo lugar una fase de fuerte demanda de recursos minerales que propició un *boom* de su exploración. Ello motivó que los gobiernos europeos intentaran incentivar programas de prospección geoquímica sistemática y multielemental, habida cuenta de los avances tecnológicos en el terreno analítico y del procesamiento informático de datos geoquímicos, tanto estadístico como gráfico.

En ese periodo, también se tomó conciencia globalmente de los riesgos que acechaban a nuestros ecosistemas, por el desarrollo industrial y los vertidos incontrolados al medio, el aumento de la población y las variaciones en los hábitats, así como las consecuencias ambientales derivadas por el elevado consumo de energía para uso doméstico y transporte. Se hizo patente la necesidad de herramientas que permitieran el conocimiento, valoración y control de los niveles de contenidos geoquímicos de la superficie del globo y de su monitoreo en el tiempo, así como de buscar una transnacionalidad que favoreciera la comparación e integración de datos en un marco plu-

rinacional. El grupo de expertos del Forum of the European Geological Surveys (FOREGS) elaboró un informe al respecto (Plant *et al.*, 1997) donde se concluía la imposibilidad de la deseada geoquímica global y de comparaciones e integraciones de datos a la escala europea, dadas las enormes diferencias existentes entre las metodologías seguidas por los programas geoquímicos de los institutos geológicos europeos.

La aportación definitiva al objetivo de la cartografía geoquímica global fue la formalización en 1988 del proyecto, promovido por el International Geological Correlation Program (IGCP) y la International Association of Geochemistry (IAGC), A Global Geochemical Database for Environmental Resources and Resources Management. Además de proponer la creación de una base global de conocimiento geoquímico de baja densidad, daba una serie de directrices para ese fin y, asimismo, unas recomendaciones válidas también para las cartografías geoquímicas regionales y nacionales de los diferentes países (muestreo estandarizado; el sedimento de corriente como muestra fundamental, siendo otros tipos también deseables; continuidad de datos a través de distintos paisajes; datos de todos los elementos

* Proyecto financiado por el Mecanismo Financiero del Espacio Económico Europeo (EEA Grants-ES0007).

con significado geológico, ambiental o económico; límites de detección tan bajos como posible; contenidos totales, contenidos parciales deseables; control de calidad, sobre todo en las fases de toma de muestras, preparación y análisis). La primera aportación concreta a dicho proyecto fue la Base de Datos Global para Europa, elaborada por FOREGS, cuyo Atlas Geoquímico de Europa derivado fue editado en 2005-2006 (Salminen *et al.*, 2005) y supuso la aportación de datos geoquímicos de calidad para el conocimiento de las líneas de base geoquímicas de Europa.

Entre los años 2007 y 2012, el IGME realizó el proyecto del Atlas Geoquímico de España (Locutura *et al.*, 2012). El objetivo principal de este proyecto fue la elaboración de una base de conocimiento geoquímico de los materiales superficiales (sedimentos de corriente y suelos) del territorio nacional, que permitiera abordar, con la información necesaria, los problemas que, tanto para los ecosistemas como para la salud pública, se derivan de la contaminación y degradación de los suelos.

En un periodo cercano a cuatro años, se recogieron, en todo el territorio español, muestras de materiales superficiales de varios tipos, para dos fines diferentes, uno para análisis de contenidos de elementos químicos inorgánicos en varios medios y otro para contenidos de componentes orgánicos en suelos residuales. En el primer caso, los materiales fueron los sedimentos de corriente (14 164 muestras) en cuencas de drenaje inferiores a 100 km² | fig. 1 |, con muestreo compuesto a lo largo de 100 m-150 m de cauce; los suelos residuales (13 505 muestras del suelo superior, 0 cm-20 cm y 7682 del inferior, 20 cm-40 cm), asimismo en forma compuesta con cinco incrementos según una cruz con brazo de 20 m, y finalmente, los sedimentos de inundación en cauces de hasta 6000 km² y a dos profundidades, techo y base, en 334 puntos de muestreo. En la fase de preparación se siguieron los estándares del Atlas de Europa en todo cuanto atañe a los materiales utilizados y la manipulación de las muestras en los procesos de secado, homogeneización y tamizado de las muestras de suelos y sedimentos, y, en según qué casos, molienda en molino de ágata. Asimismo, incluyó la preparación de réplicas de las muestras para archivo y control de calidad.

Se analizaron 64 elementos químicos inorgánicos, por las técnicas multielementales de ICPAES, ICPMS con extracciones totales (extracción tetrácida) y parciales (extracción por agua regia), y activación neutrónica (INAA). Entre ellos figuran todos los elementos significativos y los potencialmente peligrosos para los ecosistemas. Los análisis químicos multielementales inorgánicos se realizaron en un único laboratorio especializado en este tipo de análisis, como es Activation Laboratories Ltd. (Canadá). La determinación de dos variables físicoquímicas, como pH y TOC, se efectuaron en su totalidad, en los laboratorios IGME. En un grupo de muestras reducido se analizaron componentes orgánicos (200 muestras en malla laxa, en todo el territorio, para pesticidas) y 232 muestras en núcleos con densidad industrial y de población, para determinación de dioxinas y furanos, PCB, PAH, VOC y compuestos fenólicos. Estas determinaciones, delicadas en concentraciones muy bajas, se hicieron en los laboratorios de la empresa SGS.

Se realizó un control de calidad permanente desde la fase inicial del proyecto hasta la última, ya de interpretación. En una fase muy inicial tuvo lugar un curso de formación del personal de los equipos de muestreo, en gabinete y sobre el terreno, haciendo ejercicios prácticos de tomas de distintos tipos de muestra, bajo la observación de prospectores cualificados del IGME. Durante toda la fase de muestreo los equipos de prospección fueron supervisados y controlados por los prospectores supervisores del IGME. En la fase de análisis químico, la garantía de calidad de los análisis deriva asimismo de los estándares y métodos anteriormente seguidos. El control de la exactitud de los datos se hizo por introducción de 17 blancos y patrones internacionales en cada lote de 100 muestras (representación y visualización en diagramas Q-Chart). La precisión se valoró mediante la preparación y análisis de réplicas de análisis (valoración interna de laboratorio), o por la toma de muestras duplicadas de campo, y preparación de réplicas de las originales y las duplicadas (6 % de réplicas de suelo y sedimentos).

En el Atlas se describe en forma detallada la metodología seguida, los resultados, los parámetros estadísticos y tablas de correlación binaria, datos básicos para estimar líneas de base geoquímicas. Asimismo, incluye los cerca

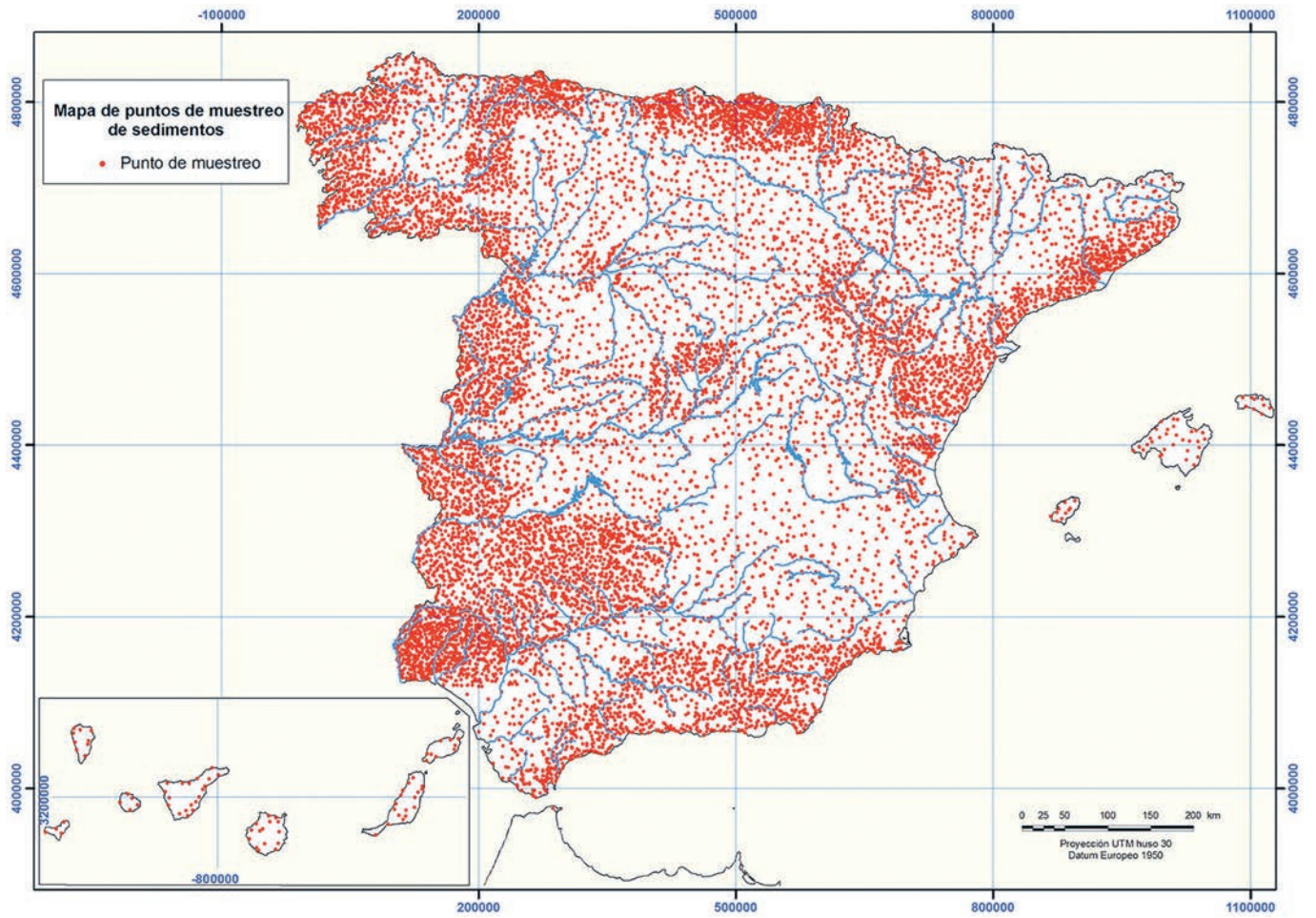


Figura 1. Mapa de situación de muestras de sedimentos.
En Locutura *et al.* (2012).

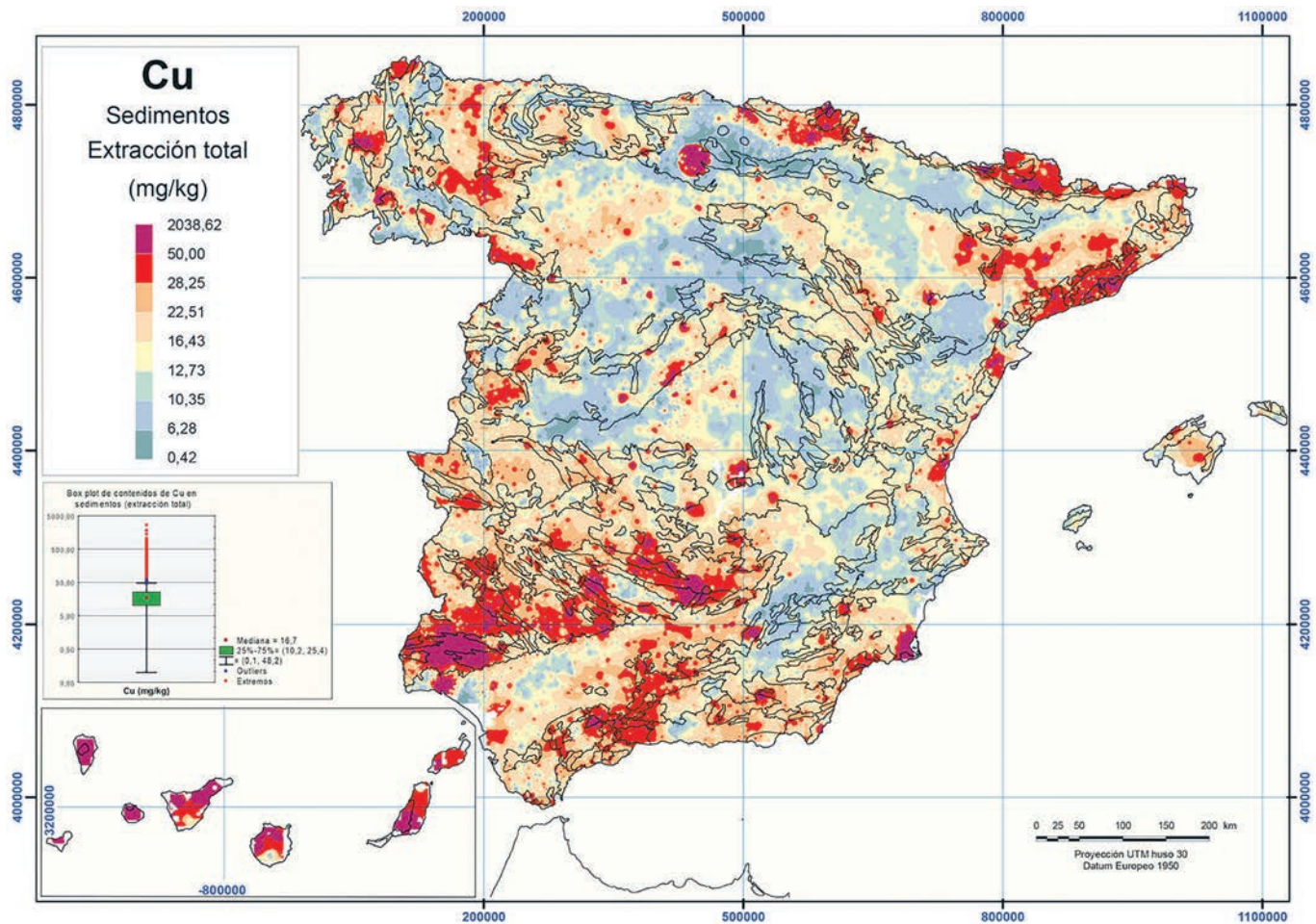


Figura 2. Mapa de isocontenidos de cobre en sedimentos.
En Locutura et al. (2012).

de 600 mapas correspondientes a las distribuciones de variables geoquímicas sobre diversos soportes (base geológica, red hidrográfica, topografía) así como los mapas de distribuciones de factores *score* de los análisis multivariantes AFP (análisis factorial con extracción de componentes principales). Los mapas de distribución se han efectuado con representaciones por círculos o puntos de colores o, más frecuentemente, en representaciones de contornos | fig. 2 | tras interpolaciones por el método ID², inverso de la distancia al cuadrado (Locutura *et al.*, 2012). La infraestructura geoquímica creada cumple con los requerimientos básicos derivados de las recomendaciones del proyecto IGCP 259 (IUGS-UNESCO). Cumpliendo con estos requisitos, el *Atlas geoquímico de España* tiene algunos rasgos suplementarios dignos de resaltar. Entre los atlas europeos nacionales es uno de los que ofrece una mayor gama de tipos de muestras o de tipos de análisis. Ofrece alta resolución, fruto de la gran densidad de muestreo (densidad media de sedimentos y suelos, 1 muestra/35-40 km²). Esta permite discernir, por sus firmas geoquímicas, los cuerpos intrusivos graníticos de pequeña extensión, las anomalías debidas a contaminaciones urbanas o industriales por Pb, como la de Madrid o Barcelona. Se distinguen asimismo firmas de tipo metalogénico, relacionadas posiblemente con estructuras intrusivas subaflorantes. Los mapas ternarios, asimismo con buena resolución, reflejan bien

las principales unidades geológicas regionales de España, que presentan importantes diferencias geoquímicas entre ellas. Finalmente, presenta una información sobre contaminantes por compuestos orgánicos difíciles de encontrar en obras de este tipo.

BIBLIOGRAFÍA

- LOCUTURA, J., BEL-LAN, A., GARCÍA CORTÉS, A., & MARTÍNEZ ROMERO, S. (2012). *Atlas geoquímico de España*. Instituto Geológico y Minero de España.
- PLANT, J. A., KLAVER, G., LOCUTURA, J., SALMINEN, R., VRANA, K., & FORDYCE, F. (1997). The Forum of the European Geological Surveys (FOREGS). Geochemistry task group inventory 1994-1996 report. A contribution to IUGS Continental geochemical base-
- lines. *Journal of Geochemical Exploration*, 59(2), 121-146.
- SALMINEN, R., BATISTA, M. J., BIDOVEC, B., DIMITRIADES, A., DEVIVO, B., DE VOS, W., DURIS, M., GILUCIS, A., GREGOROUSKENE, V., HALAMIC, J., HEITZMANN, A., LIMA, A., KLAVER, G., KLEIN, P., LIS, J., LOCUTURA, J., MARSINA, K., MARUZKA, A., O'CONNOR, P., OLSON, S. A., OTTESEN, R. T., ... TARVAINEN, T. (2005). *Geochemical Atlas of Europe part I. Background, information, methodology and maps*. Geological Survey of Finland.

9. LA EXPLORACIÓN
DE RECURSOS
MINERALES
SUBMARINOS



Los recursos minerales submarinos son muy variados, si bien los más comunes son los depósitos de fosfatos, las costras de ferromanganeso ricas en cobalto, los nódulos polimetálicos y los sulfuros polimetálicos en las aguas profundas, y los placeres marinos en las playas y aguas someras | fig. 1 |. El siglo XXI ha supuesto un gran avance para el conocimiento y la gestión de los recursos minerales de los fondos marinos. Los desarrollos tecnológicos ligados a la industria petrolera y también la militar permitieron acceder a zonas profundas del océano y de su subsuelo, la toma de muestras e imágenes, el descubrimiento de nuevos tipos de depósitos minerales y, en definitiva, ampliar el conocimiento geológico de mares y océanos. Desde el punto de vista legal fue clave la puesta en marcha en 1994 de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA, <https://www.isa.org.jm/>), organización internacional asociada a las Naciones Unidas, pero autónoma, establecida en virtud de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (1982) y la aplicación de la parte XI de dicha convención, y que regula las actividades de exploración y explotación de los recursos minerales marinos fuera de los límites de las jurisdicciones nacionales. La ISA ha establecido desde entonces las regulaciones para la exploración de nódulos polimetálicos (2000), sulfuros polimetálicos (2010) y costras de ferromanganeso ricas en co-

balto (2012) en aguas patrimonio común de la humanidad, donde en 2023 exploraban 22 contratistas internacionales. Actualmente se encuentra abierto el debate internacional sobre la explotación sostenible de los recursos minerales submarinos, que pueden ser una fuente importante para el aprovisionamiento de materias primas críticas y estratégicas para la industria, la transición energética y el desarrollo sostenible. Pero la exploración y explotación de minerales submarinos también representa un gran reto tecnológico, medioambiental y regulatorio que la humanidad debe afrontar.

En este contexto, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) ha tenido un papel muy activo en las últimas décadas, desarrollando proyectos de investigación e infraestructura, y contribuyendo al conocimiento de los recursos minerales de los fondos marinos de España y de otras regiones del planeta. Todos estos trabajos fueron financiados por proyectos del IGME, del plan estatal de I+D+i y de programas europeos e internacionales.

Los años finales del siglo XX e inicios del siglo XXI estuvieron marcados por los estudios geológicos en el golfo de Cádiz y el mar de Alborán. Se descubrieron un gran número de estructuras ligadas a la migración y emisión en el fondo marino de fluidos ricos en hidrocarburos, como son los volcanes de fango o los *pockmarks*, así como campos de



Figura 1. Ejemplos de minerales submarinos explorados por el IGME. A) Sección de nódulo de ferromanganeso del Golfo de Cádiz. B) Imagen del ROV-Luso tomada a 2800 m de profundidad que muestra chimeneas hidrotermales de sulfuros en Moytirra (dorsal mesoatlántica). C) Sección de costra de ferromanganeso rica en cobalto del Mar de Scotia (Antártida). D) Placeres de minerales pesados en las costas de las Rías Baixas (Galicia).

chimeneas carbonatadas o de nódulos de ferromanganeso ligados a ecosistemas extremófilos, que han servido para modelizar estos sistemas de mineralización en otras regiones del globo, como el golfo de México, el mar del Sur de China, el margen atlántico de Argentina o los mares antárticos (Somoza *et al.*, 2003; Medialdea *et al.*, 2009; González *et al.*, 2012; Rincón-Tomás *et al.*, 2019).

Entre los estudios del IGME en el margen continental de Galicia y mar Cantábrico, destaca el realizado en el banco de Galicia, donde se descubrieron extensas áreas cubiertas por pavimentos de fosforitas y costras de ferromanganeso formadas desde el Oligoceno, y campos de nódulos polimetálicos ricos en cobalto, con contenidos de dicho elemento entre los más elevados del mundo. Fruto de esa exploración son las primeras cartografías de alta resolución del banco de Galicia, integrando sus minerales y ecosistemas bentónicos de arrecifes de corales de aguas frías (González *et al.*, 2016).

Los estudios geológicos realizados desde 2009 para las propuestas de ampliación de la plataforma continental de España en las islas Canarias ante Naciones Unidas han lle-

vado a la exploración y el descubrimiento de extensos depósitos de costras de ferromanganeso ricas en cobalto en sus montes submarinos (Marino *et al.*, 2017). La investigación a bordo de buques oceanográficos como el Sarmiento de Gamboa, dotados con sistemas tecnológicos de última generación como son los vehículos operados remotamente (ROV) o las sondas multiparamétricas, ha revelado datos y paisajes inaccesibles hace solo algunos años: desde la formación de sistemas hidrotermales tras la erupción submarina en 2011-2012 del volcán Tagoro en la isla de El Hierro a los «jardines» de corales y esponjas que crecen sobre costras de ferromanganeso y fosforitas del monte submarino Tropic o el «embrión» de un nuevo sistema volcánico-hidrotermal formándose a 5000 m de profundidad al oeste de La Palma (Medialdea *et al.*, 2017; González *et al.*, 2023). Se ha observado y descifrado como nacen y evolucionan las islas oceánicas y como se forman sus depósitos minerales a lo largo de millones de años. Los estudios de muy alta resolución en los laboratorios de microscopía electrónica, de ablación láser mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente o de espectroscopia Ra-

man han mostrado por primera vez la escala temporal y los procesos de formación de minerales submarinos y de concentración de elementos estratégicos y críticos asociados a esos minerales. Y estos estudios en los montes submarinos de Canarias revelan historias del océano que se remontan al Cretácico Superior, cuando esta parte del Atlántico estaba aún en sus albores.

El IGME lidera desde 2018 el consorcio de EuroGeo-Surveys que ha desarrollado por primera vez el estudio geológico y la cartografía metalogenética de los depósitos minerales en los mares europeos (González *et al.*, 2023). Se han explorado en 2019 los sistemas hidrotermales submarinos de las islas Shetland del Sur, en la Antártida, y también las chimeneas de sulfuros de Moytirra, el único sistema hidrotermal activo conocido en la dorsal medioatlántica entre las islas Azores e Islandia (Somoza *et al.*, 2021). Fru-

to de la cooperación internacional, el IGME ha participado en expediciones e investigaciones sobre minerales submarinos en zonas tan distantes como las llanuras abisales del océano Pacífico occidental, el alto submarino de Rio Grande, en el Atlántico sur o la dorsal de Cocos-Nazca, en el Pacífico oriental. Además, se están abriendo nuevas líneas de trabajo para caracterizar los geohábitats submarinos, y establecer protocolos de monitorización y protección del medioambiente de cara a cualquier acción futura de extracción de minerales submarinos.

El IGME se posiciona hoy en día como un centro de vanguardia y referencia para el estudio multidisciplinar de los recursos minerales submarinos, sus interrelaciones con los ecosistemas y el medioambiente marino, y para dar una respuesta adecuada a la gestión sostenible de los recursos geológicos marinos y las demandas de la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- GONZÁLEZ, F. J., MEDIALDEA, T., SCHIELLERUP, H., ZANANIRI, I., FERREIRA, P., SOMOZA, L., MONTEYS, X., ALCORN, T., MARINO, E., LOBATO, A. B., ZALBA-BALDA, Í., KUHN, T., NYBERG, J., MALYUK, B., MAGALHÃES, V., HEIN, J. R., & CHERKASHOV, G. (2023). MINDeSEA: Exploring seabed mineral deposits in European seas, metallogeny and geological potential for strategic and critical raw materials. *Geological Society, London, Special Publications*, 526(1), 289-317. <https://doi.org/10.1144/SP526-2022-150>
- GONZÁLEZ, F. J., SOMOZA, L., HEIN, J. R., MEDIALDEA, T., LEÓN, R., URGORRI, V., REYES, J., & MARTÍN-RUBÍ, J. A. (2016). Phosphorites, Co-rich Mn nodules, and Fe-Mn crusts from Galicia Bank, NE Atlantic: Reflections of Cenozoic tectonics and paleoceanography. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 17, 346-374. <https://doi.org/10.1002/2015GC005861>
- GONZÁLEZ, F. J., SOMOZA, L., LEÓN, R., MEDIALDEA, T., TORRES, T. de, ORTIZ, J. E., LUNAR, R., MARTINEZ-FRIAS, J., & MERINERO, R. (2012). Ferromanganese nodules and micro-hardgrounds associated with the Cadiz contourite channel (NE Atlantic): Palaeoenvironmental records of fluid venting and bottom currents. *Chemical Geology*, 310, 56-78. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.03.030>
- MARINO, E., GONZÁLEZ, F. J., SOMOZA, L., LUNAR, R., ORTEGA, L., VAZQUEZ, J. T., REYES, J., & BELLIDO, E. (2017). Strategic and rare elements in Cretaceous-Cenozoic cobalt-rich ferromanganese crusts from seamounts in the Canary Island Seamount Province (north-eastern tropical Atlantic). *Ore Geology Reviews*, 87, 41-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.005>
- MEDIALDEA, T., SOMOZA, L., GONZÁLEZ, F. J., VÁZQUEZ, J. T., DE IGNACIO, C., SUMINO, H., SÁNCHEZ-GUILLAMÓN, O., ORIHASHI, Y., LEÓN, R., & PALOMINO, D. (2017). Evidence of a modern deep-water magmatic hydrothermal system in the Canary Basin (eastern central Atlantic Ocean). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18(8), 3138-3164. <https://doi.org/10.1002/2017GC006889>
- MEDIALDEA, T., SOMOZA, L., PINHEIRO, L. M., FERNANDEZ-PUGA, M. C., VÁZQUEZ, J. T., LEÓN, R., IVANOV, M. K., MAGALHAES, V., DIAZ-DEL-RIO, V., & VEGAS, R. (2009). Tectonics and mud volcano development in the Gulf of Cadiz. *Marine Geology*, 261, 48-63. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.10.007>
- SOMOZA, L., DIAZ-DEL-RIO, V., LEÓN, R., IVANOV, M., FERNANDEZ-PUGA, M. C., GARDNER, J. M., HERNANDEZ-MOLINA, F. J., PINHEIRO, L. M., RODERO, J., LOBATO, A., MAESTRO, A., VAZQUEZ, J. T., MEDIALDEA, T., & FERNANDEZ-SALAS, L. M. (2003). Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cadiz mud volcano area: Acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution seismic data. *Marine Geology*, 195, 153-176. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00686-2](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00686-2)
- SOMOZA, L., MEDIALDEA, T., GONZÁLEZ, F. J., MACHANCOSES, S., CANDON, J. A., CID, C., CALADO, A., AFONSO, A., PINTO RIBEIRO, L., BLASCO, I., ALBUQUERQUE, M., ASENSIO-RAMOS, M., BETTENCOURT, R., IGNACIO, C. de, LÓPEZ-PAMO, E., RAMOS, B., RINCÓN-TOMÁS, B., SANTOFIMIA, E., SOUTO, M., TOJEIRA, I., VIEGAS, C., & MADUREIRA, P. (2021). High-resolution multibeam bathymetry of the northern Mid-Atlantic Ridge at 45°46' N: The Moytirra hydrothermal field. *Journal of Maps*, 17(2), 184-196. <https://doi.org/10.1080/17445647.2021.1898485>
- STAWIARSKI, B., OTTO, S., THIEL, V., GRÄWE, U., LOICK-WILDE, N., WITTENBORN, A. K., SCHLOEMER, S., WÄGE, J., REHDER, G., LABRENZ, M., WASMUND, N., & SCHMALE, O. (2019). Controls on zooplankton methane production in the Central Baltic Sea. *Biogeosciences*, 16(1), 1-16. <https://doi.org/10.5194/bg-16-1-2019>

10. RECURSOS GEOLÓGICOS
Y CANTERAS HISTÓRICAS,
UNA CONTRIBUCIÓN
A LA INVESTIGACIÓN
DEL PATRIMONIO
ARQUITECTÓNICO ESPAÑOL



ENRIQUE ÁLVAREZ ARECES¹
JORGE FERNÁNDEZ SUÁREZ¹
JAVIER MARTÍNEZ MARTÍNEZ¹
JOSÉ MANUEL BALTUILLE MARTÍN²
MARÍA TERESA LÓPEZ LÓPEZ¹

¹ Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC
² Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC (1978-2022)

El patrimonio arquitectónico en España es uno de los más extensos, variados e importantes a nivel internacional, constituye uno de sus grandes atractivos culturales y configura una herencia de valor histórico incalculable, que se debe proteger, estudiar y conservar. La arquitectura es el resultado del esfuerzo conjunto de multitud de disciplinas vinculadas a la construcción, ofreciendo un valioso patrimonio que permite una visión panorámica de las diferentes etapas artísticas, culturales y políticas que han tenido influencia en el desarrollo de nuestro país a lo largo de los siglos. Desde la arquitectura megalítica hasta las construcciones contemporáneas actuales, la búsqueda del recurso (material pétreo) ha creado explotaciones a cielo abierto o subterráneas, resultando un conjunto de huecos y frentes que son el reflejo de una actividad extractiva que ha tenido lugar desde esas primeras civilizaciones hasta nuestros días, y por tanto, una secuencia histórica que debemos conocer e interpretar, estableciendo las lógicas relaciones entre los espacios de cantera y el proyecto constructivo para el que fueron creadas y explotadas.

Desde la década de los setenta del pasado siglo, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) colaboró con el sector de la piedra natural mediante la realización de los catálogos de granitos, mármoles y pizarras de España, convirtiéndose en un instrumento destacado para divulgar y potenciar comercialmente el sector. Posteriormente, en los años noventa se inició una línea de investigación orientada al estudio minero de la piedra natural como elemento constitutivo del patrimonio monumental, así como la localización, caracterización y preservación de las canteras históricas y áreas extractivas asociadas, iniciándose en el año 2014 un proyecto con perspectiva nacional, el Inventario

Nacional de Canteras Históricas asociadas al Patrimonio Arquitectónico (INCHaPA). En este contexto, se trabajó en el patrimonio arquitectónico de Extremadura (2014-2018) y Andalucía (2019-2022) (Álvarez Areces *et al.*, 2018), estudiando un total de 546 y 675 elementos patrimoniales, y localizando 570 y 798 canteras o áreas extractivas históricas, respectivamente. Los trabajos realizados hasta el momento suponen, aproximadamente, un 25 % del territorio de España, y se prevé en el futuro continuar en otras regiones con la finalidad de completar un inventario que aporte una información interesante, no solo desde el punto de vista geológico, sino también histórico, arquitectónico, tecnológico, socioeconómico, etc. | figs. 1 y 2 |.

Para la localización de las áreas históricas de extracción, se desarrolló y puso en práctica una metodología sistemática, basada en la recopilación y análisis de fuentes documentales (de carácter histórico, arquitectónico, geológico, etc.), la prospección geológica del territorio, el estudio petrológico de los materiales utilizados en la construcción del patrimonio y su correlación con los materiales muestreados en la cantera (Baltuille Martín *et al.*, 2016; Fernández Suárez *et al.*, 2020).

La información obtenida se integra en la Base de Datos del Inventario Nacional de Canteras Históricas Asociadas al Patrimonio Arquitectónico (BDINCHaPA), que será consultable próximamente. En ella se incluirán, georreferenciados, los datos referentes a las canteras y áreas histórico-extractivas relacionadas con el patrimonio histórico-arquitectónico, el conjunto de esta información constituirá una importante contribución a la investigación del patrimonio arquitectónico y al conocimiento geológico en relación



Figura 1. Canteras históricas en Extremadura. A) Cantera Los Jarales (Fregenal de la Sierra, Badajoz). B) Cantera en Mata de Alcántara (Cáceres). C) Área extractiva Virgen del Puerto (Plasencia, Cáceres). D) Cantera en Trujillo (Cáceres). Archivo fotográfico del proyecto INCHaPA, IGME, CSIC.



Figura 2. Canteras históricas en Andalucía. A) Canteras del Tesoro y de las Cuatro Cuevas (Almería). B) Cantera de Vadolosyesos (Antequera, Málaga). C) Área extractiva asociada al asentamiento romano de Turóbriga (Aroche, Huelva). D) Los Canterones (Estepa, Sevilla). Archivo fotográfico del proyecto INCHaPA, IGME, CSIC.

con la explotación de recursos en el pasado, destacando los siguientes aspectos.

CANTERAS HISTÓRICAS COMO CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICO-CONSTRUCTIVA

La localización de las canteras históricas asociadas a la construcción de un conjunto edificado aporta una gran información acerca del proceso constructivo (selección y obtención del material, transporte, acopio, puesta en obra y acabado) y su producción, permitiendo establecer las relaciones existentes entre la construcción y el medio físico en el que se encuentra, y aportando un importante conjunto de datos en relación con la planificación, trabajos y estrategias desde la cantera a la obra. El estudio del patrimonio arquitectónico desde esta perspectiva ha de ser multidisciplinar, con la necesaria participación de otras disciplinas como la arqueología, historia, arquitectura, etc., que permitan establecer alianzas y avanzar en el conocimiento de las actividades enunciadas.

CANTERAS HISTÓRICAS COMO RECURSO PARA FUTURAS INTERVENCIONES

Por otro lado, localizar el recurso empleado en la construcción de un edificio garantiza tener acceso a la roca original empleada históricamente. Este aspecto, alcanza gran interés en el caso de ser necesaria una intervención, pues permitirá conocer las características petrofísicas y durabilidad del material original, testear y evaluar la eficacia de tratamientos conservativos sobre material inalterado, y garantiza la disponibilidad del recurso en caso de necesidad (reintegraciones, sustituciones, aplacados, etc.). El conocimiento y la caracterización de las rocas en las canteras permiten la anticipación mediante estudios científicos de los procesos de deterioro que afectan a los materiales que conforman los monumentos, siendo un aspecto fundamental a la hora de establecer estrategias para una conservación preventiva.

CANTERAS HISTÓRICAS COMO ESPACIO A CARACTERIZAR Y PROTEGER

Los trabajos realizados en el marco del proyecto de investigación INCHaPA en esta última década han evidenciado que los espacios de canteras históricas presentan por sí mismos un gran valor científico-técnico por el conjunto de información que atesoran. En ocasiones su desconocimiento o la proximidad a núcleos de población hacen que estén amenazados por desarrollos urbanísticos, que en algunos casos ya han afectado negativamente a su conservación. Por este motivo, urge el desarrollo de un marco de protección de estos espacios, que permita disponer de volumen de roca en caso de una intervención necesaria en el patrimonio, preservando las características, rasgos y evidencias de esa explotación histórica para su conocimiento, estudio y divulgación.

Integrar las canteras históricas y la participación de la geología en el estudio del patrimonio arquitectónico, entendiendo el edificio y la cantera como un conjunto en la edificación histórica, enriquecerá en los próximos años el estudio del patrimonio, su análisis y conocimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ ARECES, E., FERNÁNDEZ SUÁREZ, J., MARTÍNEZ MARTÍNEZ, J., BALUILLÉ MARTÍN, J. M., VÁZQUEZ MORA, M., MARTÍNEZ GIRÓN, A. A., & ORCHÉ AMARÉ, P. (2021). Primeros resultados del Inventario de Canteras Históricas de Piedra Natural asociadas al Patrimonio Arquitectónico de Andalucía. *Geo-Temas*, 18, 864-869.

BALUILLÉ MARTÍN, J. M., ÁLVAREZ ARECES, E., & FERNÁNDEZ SUÁREZ, J. (2016). Spanish inventory of historic quarries used in architectural heritage (INCHAPA). En *5th International Conference Youth in Conservation of Cultural Heritage. Book of abstracts* (p. 25).

The Museo Reina Sofía's Department of Conservation-Restoration; The YOCOCU (YOUTH IN CONSERVATION OF CULTURAL HERITAGE) ASSOCIATION; THE INSTITUTE OF GEOSCIENCES (CSIC-UCM).

FERNÁNDEZ SUÁREZ, J., ÁLVAREZ ARECES, E., MARTÍNEZ MARTÍNEZ, J., & BALUILLÉ MARTÍN, J. M., (2020). The INCHAPA project: Methodology for the study of historic quarries associated with the architectural heritage. En R. Álvarez García & A. Ordoñez Alonso (Eds.), *Recursos minerales y medioambiente: una herencia que gestionar y un futuro que construir. Libro jubilar del profesor Jorge Loredó* (pp. 141-151). Universidad de Oviedo.



TIERRA
DINÁMICA:
PELIGROS
GEOLÓGICOS
Y CAMBIOS
CLIMÁTICOS



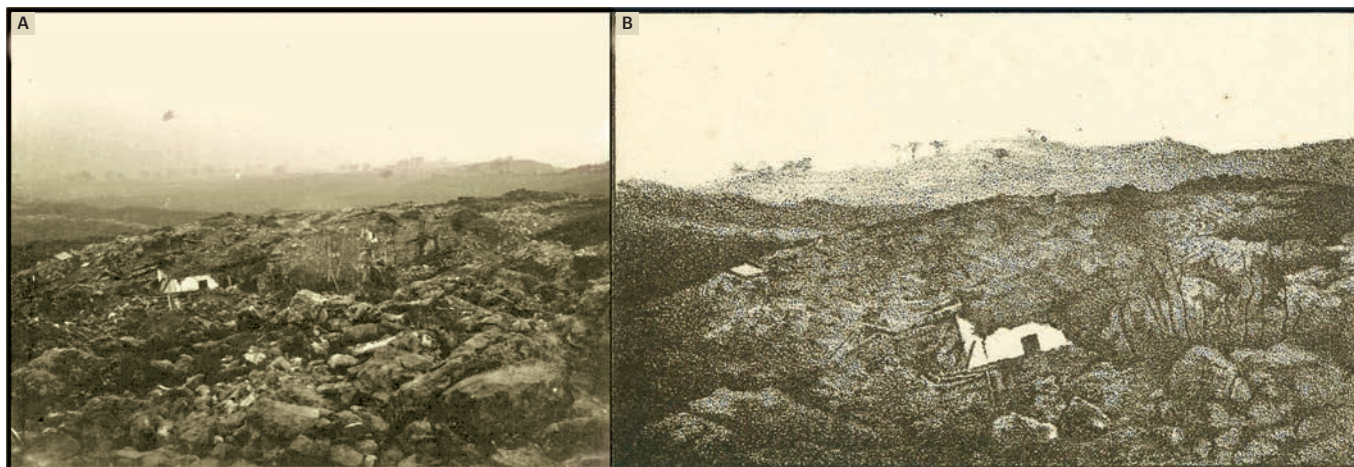
1. EL SISMÓGRAFO
NO ES SUFICIENTE:
LOS EFECTOS GEOLÓGICOS
Y ARQUEOLÓGICOS
DE LOS TERREMOTOS

Algo que ahora nos parece tan obvio, como que los terremotos los producen las fallas, no lo era cuando se fundó la Comisión antecedente del IGME en 1849. En esa época aún no se conocía la causa-efecto de los terremotos, algo que no llegaría hasta el terremoto destructivo de Mino-Owari (Japón) del 28 de octubre de 1891 (Mw 7,5). Este terremoto fue generado por una falla, en la parte central de la isla de Honshu, con una ruptura superficial de 3 m de salto en superficie. Por primera vez se propusieron las fallas como la causa responsable del disparo de los terremotos.

Hoy en día es familiar la escala de intensidades sísmicas de Mercalli, la cual tampoco existía antes de la fundación del IGME, aunque sí existía la escala de intensidades sísmicas Rossi-Forell desde mediados del siglo XIX. El terremoto que condujo a la creación de la escala de Mercalli fue el terremoto de Andalucía de 1884 (actualmente, terremoto de Arenas del Rey, EMS-98 = IX-X, Mw = 6,5-6,7). El propio Mercalli visitó la zona macrosísmica tras el terremoto publicando su primera versión de la escala de intensidades en 1902. Mercalli publicó previamente un trabajo sobre el terremoto de Arenas del Rey en 1886 en el que, utilizando las orientaciones de las deformaciones producidas por las ondas sísmicas en los edificios, localizó el epicentro sobre un

mapa. Aunque este epicentro se proyectaba sobre la ruptura superficial de la falla de Zafarraya (Granada), responsable del terremoto, aún no se asumía que las fallas generaban los terremotos. Un trabajo muy interesante sobre los efectos que tuvo el terremoto sobre el terreno lo constituye el informe que hizo Domingo de Orueta y Duarte, alumno por entonces de la Escuela de Minas de Madrid, y que posteriormente fue director del IGME entre 1925 y enero de 1926 (Orueta y Duarte, 1885). La originalidad de este informe es la gran cantidad de fotografías que incluyó para la época. Tanto es así, que el terremoto de Arenas del Rey de 1884 está considerado como el nacimiento del fotoperiodismo en España | fig. 1 |.

Todos estos informes sirven para localizar la zona macrosísmica y determinar el lugar donde se produjeron los mayores daños, es decir, de mayor intensidad sísmica o zona epicentral, como la conocemos actualmente. Uno de estos ejemplos es el informe elaborado por la Comisión Española para el Estudio de los Terremotos de Andalucía liderada por Fernández de Castro (Comisión, 1885). La Comisión del Mapa Geológico de España publicó también en su *Boletín*, seis años más tarde, un estudio encargado por la Academia de Ciencias de París sobre el área del terremoto



de 1884 (Fouqué, 1890). Este informe describe la geología de la zona, sin incluir los efectos geológicos del terremoto. Por este motivo, el informe original de Orueta cobra una especial importancia al incluir información sobre los efectos geológicos de los terremotos (deslizamientos, colapsos y fenómenos de licuefacción del terreno, etc.), siendo un trabajo adelantado a su tiempo. Posteriormente, en 1908, se edita el pionero informe Lawson sobre los efectos del terremoto de San Francisco de 1906, en el que se incluyen efectos geológicos del terremoto, así como la cartografía de la ruptura superficial de la falla de San Francisco junto con los datos procedentes de los primeros sismógrafos mecánicos (Lawson *et al.*, 1908). De nuevo, y tras el terremoto de Acambay (México) de 1912, el Instituto Geológico de México publica en 1913 un informe realizado por un geólogo y un geofísico (Urbina & Camacho, 1913). Será el último en su género e incluía también los rudimentarios sismogramas de la época. El objetivo de estos informes era la localización de la zona epicentral. Sin embargo, con la distribución masiva y puesta en marcha de los sismógrafos y redes sísmicas desde el primer cuarto del siglo XX, la información de campo, de carácter cualitativo, cae progresivamente en el olvido a favor de los datos cuantitativos procedentes de

Figura 1. Deslizamiento de El Guaro, generado por el terremoto de Arenas del Rey de 1884. A) Fotografía incluida en el informe de Orueta de 1885. B) Grabado a plumilla realizado por Taramelly y Mercalli (1886).



Figura 2. Efectos del terremoto de Lorca de 2011 sobre el patrimonio cultural: campanario del Convento de las Clarisas. Foto de los autores.

los sismógrafos. A pesar de ello, el tiempo ha demostrado que abandonar los informes de campo fue un error, ya que actualmente los efectos geológicos de los terremotos contribuyen de forma importante a valorar los daños que se producen en entornos urbanos, incluyendo al patrimonio histórico. Tales efectos, que no han quedado registrados o analizados por espacio de algo más cien años, serían hoy muy valiosos durante la gestión de la emergencia durante crisis sísmicas urbanas.

El último gran terremoto de magnitud superior a 6 Mw en España fue el de 1884. Sin embargo, el 11 de mayo de 2011 se produjo un terremoto de magnitud 5,1 Mw, mucho menor que el de Arenas del Rey, pero con una intensidad importante (VII grados EMS-98). Esta intensidad se produjo al ser un terremoto de foco superficial (<4,6 km de profundidad) en las cercanías de la localidad de Lorca (5,5 km al NE). El IGME desplazó un equipo en menos de 24 horas a la zona epicentral para documentar sobre el terreno, tanto los efectos geológicos del terremoto como sus efectos arquitectónicos, emulando los trabajos pioneros de Orueta, Lawson, y Urbina y Camacho de siglos anteriores | fig. 2 |. Ciento veintisiete años después del terremoto de Arenas del Rey, el IGME retomaba su labor de registro de efectos geológicos

de los terremotos en colaboración con diferentes universidades. Una semana después del terremoto se publicó en la web del IGME un informe sobre estos efectos geológicos. Las trayectorias de deformación calculadas mediante el estudio de las deformaciones en edificios fueron utilizadas por los arquitectos, tanto para el diseño del apuntalamiento de edificios patrimoniales como para su posterior restauración. Es en 2012 cuando el *Boletín Geológico y Minero* publica una monografía dedicada a este terremoto, coeditada con el Instituto del Patrimonio Cultural de España y el Ayuntamiento de Lorca (Rodríguez Pascua *et al.*, 2012). En ella se proporciona una visión holística del terremoto, incluyendo trabajos relativos a la física del evento, la sismicidad histórica, la geología, los efectos geológicos y arquitectónicos, así como las afecciones sobre el rico patrimonio cultural de Lorca.

La eliminación de los efectos geológicos de los terremotos en la escala de intensidades oficial de la Unión Europea (EMS-98) hizo que la comunidad geológica internacional desarrollara la escala de efectos ambientales de los terremotos (ESI-07). Esta escala, a diferencia de la EMS-98, incluye información que no depende de la densidad de población de la zona afectada por el sismo ni los daños en edificaciones ni la tipología de las construcciones. La escala ESI-07 describe escenarios sísmicos basados en daños sobre el terreno y la naturaleza, independientes de los entornos urbanos o épocas históricas en que se produzcan. De esta manera multiplica los puntos de información macrosísmica fuera de entornos urbanos y se elaboran mapas de intensidades (isosistas) más realistas, acordes y cercanos a las fuentes sismogénicas. En consonancia con esta línea de investigación, el IGME edita el primer *Catálogo de los Efectos Geológicos de los Terremotos en España* en 2014, siendo el primero de su género a nivel internacional.

Este catálogo incluye datos procedentes de la geología (paleosismología), la arqueosismología y la historia, incluyendo los periodos preinstrumental e instrumental. En la segunda edición del catálogo ya se incluyen todos los terremotos históricos con mapas de simulación de aceleraciones que reproducirían los escenarios sísmicos que produjeron estos terremotos, basados en el programa Shake-Map del USGS (Silva & Rodríguez Pascua, 2019). Estos mapas son



de gran relevancia para el diseño de planes de emergencia por riesgo sísmico, identificando los puntos conflictivos y magnificando el tamaño de la intervención si se produjese un terremoto similar en épocas venideras.

Una de las líneas de investigación desarrolladas por el IGME en colaboración con diferentes universidades (USAL, UAM, UPM y UAH) ha sido la arqueosismología. El hecho de que el terremoto de Arenas del Rey de 1884 sea el único terremoto histórico en España con ruptura superficial, condujo a recurrir a otras fuentes de datos como la arqueología. La arqueosismología consiste en describir e interpretar los efectos de los terremotos que han afectado a antiguas construcciones o yacimientos. Gracias a esta técnica, en España se han identificado grandes terremotos no registrados, como los que afectaron a las ciudades de Baelo Claudia y Complutum durante época romana | fig. 3A |. Este último, ubicado en la actual Alcalá de Henares (Madrid), destruyó la antigua Complutum en el siglo IV e. c. Otro ejemplo es el hallazgo de pruebas arqueosismológicas en la ciudad califal de Medina Azahara, afectada por un terremoto que contribuyó a su temprano abandono en el siglo XI e. c. A nivel internacional, el IGME también ha trabajado en otros yacimientos patrimonio mundial de la UNESCO como es Machupicchu (Perú), y Teotihuacán (México). La ciudad inca fue afectada por dos terremotos durante su construc-



Figura 3. A) Efectos de los procesos de licuefacción sísmica en una cisterna de mortero hidráulico generados por el terremoto de Complutum del s. IV e. c. B) Estalagmita desplazada por el movimiento cosísmico de una falla. Cueva de Cacahuamilpa (México). Fotos de los autores.

ción, de los que no se tenía constancia. Toda esta información no solo aporta datos sobre «terremotos antiguos» solo documentados por datos arqueológicos, sino que estos «terremotos perdidos» sirven para mejorar la historia sísmica de nuestro país. Esta información puede, además, ser aplicada para la prevención de los daños generados por futuros terremotos en nuestro patrimonio cultural.

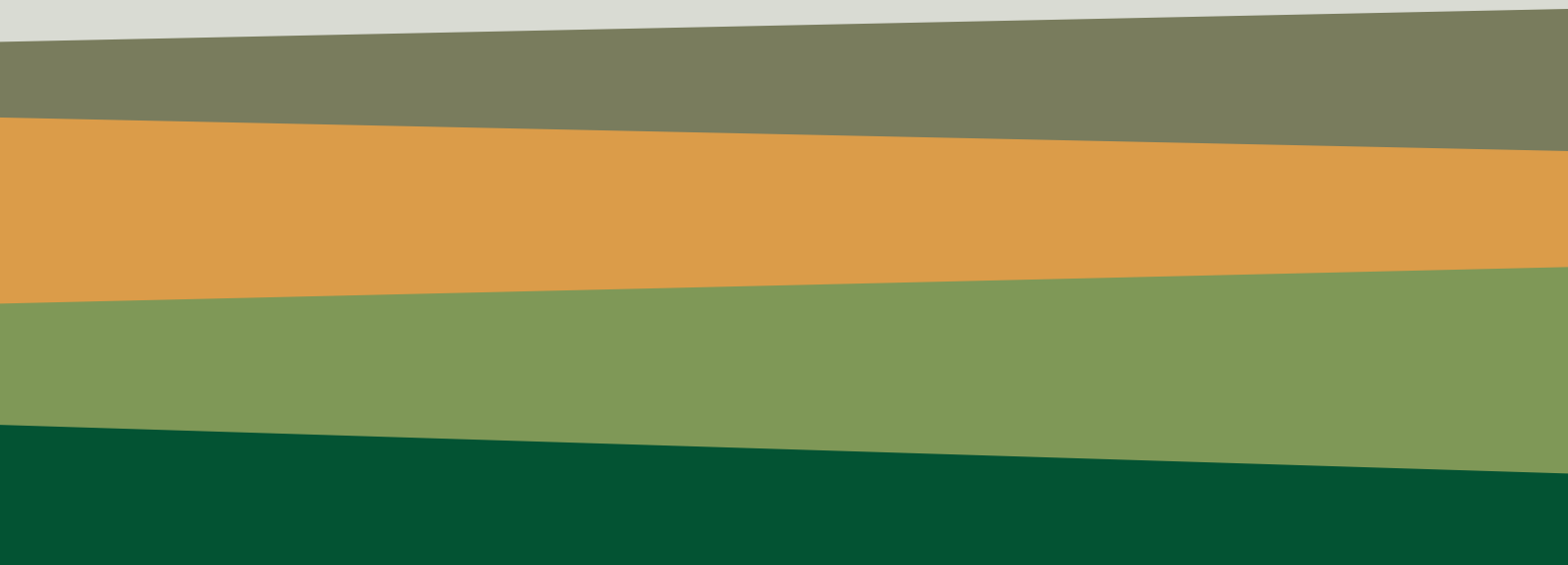
Finalmente, los trabajos desarrollados por investigadores del IGME son pioneros en el estudio de las cuevas como fuentes de datos de grandes terremotos pasados, la espeleosismología, donde se registran grandes terremotos en las estalactitas y estalagmitas, condicionando la rica decoración travertínica y dando información sobre aceleraciones sísmicas | fig. 3B |.

Por todo esto, el estudio de los terremotos vuelve a recuperar la visión geológica del fenómeno sísmico, sin detrimento de los datos instrumentales. Esta información se está aplicando en la generación de escenarios sísmicos para la realización de simulacros de terremotos en colaboración con la Unidad Militar de Emergencias.

BIBLIOGRAFÍA

- COMISIÓN PARA EL ESTUDIO DE LOS TERREMOTOS DE ANDALUCÍA. (1885). *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 12, 1-105.
- FOUQUÉ, F. (1890). Estudios relativos al terremoto ocurrido en Andalucía el 25 de diciembre de 1884 y la constitución geológica del suelo conmovido por las sacudidas. Introducción. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 16, 305-308.
- LAWSON, A. C., LEUSCHNER, A. O., GILBERT, G. K., DAVIDSON, G., REID, H. F., BURKHALTER, C., BRANNER, J. C., & CAMPBELL, W. W. (1908). *The California Earthquake of April 18, 1906: Report of the State Earthquake Investigation Commission in two volumes and atlas*. The Carnegie Institution of Washington.
- ORUETA Y DUARTE, D. (1885). *Informe sobre los terremotos ocurridos en el sud de España en diciembre de 1884 y Enero de 1885*. Málaga. Tipografía y Litografía de Fausto Muñoz.
- RODRÍGUEZ-PASCUA, M. A., PÉREZ LÓPEZ, R., & CIRUJANO, C. (Eds.). (2012). El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011 [Número especial]. *Boletín Geológico y Minero*, 123(4).
- SILVA, P. G., & RODRÍGUEZ-PASCUA, M. A. (Eds.). (2019). *Catálogo de los efectos geológicos de los terremotos de España* (2.ª ed. rev. y amp.). Instituto Geológico y Minero de España.
- TARAMELLI, T., & MERCALLI, G. (1886). I terremotti andalusi cominciati il 25 dicembre 1884. *Atti Reale Accademia dei Lincei*, 3(4), 116-222.
- URBINA, F., & CAMACHO, H. (1913). La zona megaseísmica Acambay-Tixmadege, estado de México, movida el 19 de noviembre de 1912. *Boletín del Instituto Geológico de México*, 32, 1-125.

2. DEL TARQUÍN
DE LAS RIADAS
A LOS MAPAS
PREVISORES
DE INUNDACIONES



Las inundaciones, entendidas en sentido amplio (fluviales, marinas, lacustres), pero sobre todo las producidas por desbordamiento de los ríos en crecidas y avenidas (riadas), han sido objeto de estudio por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) desde su creación en 1849 hasta la actualidad. Pero no ha sido una tarea continua en el tiempo, puesto que hay diferentes periodos de producción documental sobre las inundaciones, marcados por hitos o momentos en los que se producen cambios en los enfoques de los estudios o por la irrupción de nuevas metodologías, datos y técnicas.

LAS INUNDACIONES EN LAS DESCRIPCIONES FÍSICAS Y GEOLÓGICAS DE LAS PROVINCIAS ESPAÑOLAS (1849-1900)

El *Real Decreto, de 12 de julio de 1849, creando una comisión para formar la carta geológica del terreno de Madrid, y reunir y coordinar los datos para la general del reino* (*Gaceta de Madrid*, n.º 5424, de 20.07.1849), ya cita, entre las funciones y cometidos de la comisión, la descripción de los fenómenos naturales y, entre ellos, las inundaciones. En sus memorias anuales (1850-1855) se recogieron noticias sobre inunda-

ciones (caudal, áreas anegadas), sus efectos geológicos (erosión, transporte y sedimentación) y los daños socioeconómicos asociados. Sin embargo, la primera colección sistemática de documentos que recoge algunos de los principales eventos de inundación son las memorias de las descripciones físicas y geológicas de las provincias españolas. Estas, a su vez, parten de algunas descripciones parciales ya publicadas en las memorias anuales y en la *Revista Minera* (Madrid, Segovia), y se estructuran siguiendo el precedente de la provincia de Madrid, obra de Casiano de Prado y publicada por la Junta General de Estadística en 1864.

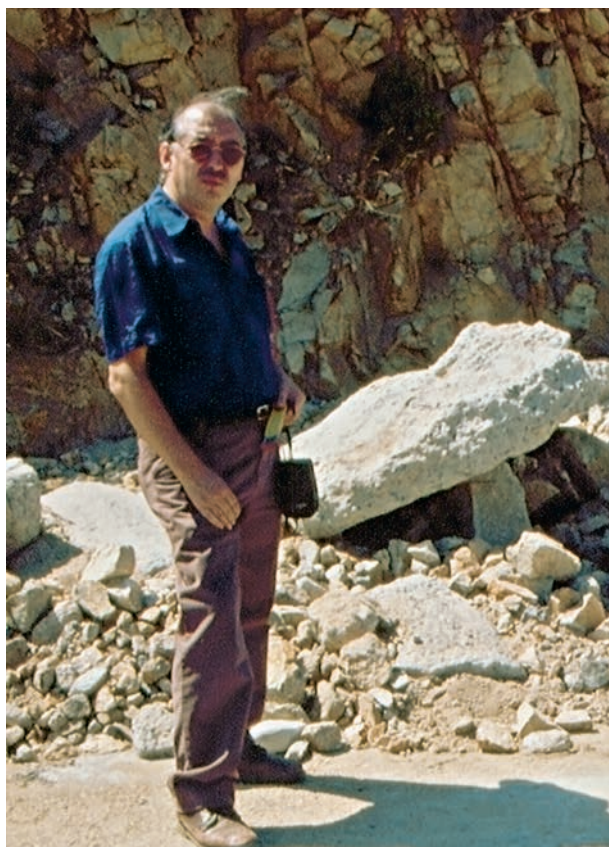
De esta forma, a lo largo de las tres últimas décadas del siglo XIX se sucedieron las descripciones y listados de las principales inundaciones históricas de cada provincia española y, lo que resulta más novedoso, se incluye la cuantificación de su capacidad de erosión, transporte (medido en peso entre caudal) y sedimentación del tarquín (fangos y lodos de depósito de limos y arcillas en la llanura de inundación; ver detalles en Díez & Laín, 1998).

Un hito al final de este periodo lo constituye la publicación en el año 1900 del libro *Las aguas de España y Portugal*, de Horacio Bentabol. Esta obra contiene varios capítulos y apartados dedicados a las inundaciones, sus efectos y una estimación económica de lo que suponen anualmente para las actividades agrícolas.

LOS MAPAS PREVENTIVOS EN MUNICIPIOS Y COMARCAS (1983-1992)

Durante gran parte del siglo xx, los estudios sobre inundaciones realizados por el IGME fueron trabajos puntuales realizados tras eventos catastróficos. A inicios de la década de 1980 se produjeron en España dos grandes catástrofes que derivaron en una reorientación de los estudios de inundaciones: la «pantanada» en la provincia de Valencia por la rotura de la presa de Tous (1982) y las riadas en el País Vasco, que afectaron a todas sus cuencas cantábricas y, especialmente, al valle del Nervión, causando graves pérdidas en Bilbao (1983). El IGME empezó entonces a analizar problemáticas y generar mapas preventivos para delimitar sectores del territorio que pueden ser anegados y su peli-

grosidad. Todo ello se expresaba en forma de periodos de retorno, calados y velocidades de flujo, carga sólida y otros fenómenos geológicos asociados (movimientos del terreno, erosión y sedimentación en las márgenes y lecho, sufusión, expansividad de arcillas, karstificación acelerada, etc.). Así surgieron los denominados *mapas previsores de los riesgos por inundación*, cuya elaboración y publicación se haría extensiva a numerosos núcleos urbanos de Andalucía, Comunidad Valenciana, Murcia y Canarias, entre otras comunidades autónomas | figs. 1 y 2 |. También se elaboraron mapas de peligros geológicos a escala comarcal, provincial y autonómicos, a diferentes escalas, e incluyendo la peligrosidad (o inundabilidad) de esos territorios. Para ello se combinaban metodologías histórico-estadísticas, hidrológico-hidráulicas y geológico-geomorfológicas (Díez & Lain, 1998).



FRANCISCO JAVIER AYALA CARCEDO

(1948-2004)

En el resurgimiento de los estudios de inundaciones en el IGME-ITGE en el último cuarto del siglo xx, intervinieron numerosos técnicos y científicos, como José M.^a Pernía, Juan José Durán, Joaquín del Val, Joaquín Mulas, Daniel Baretino o Luis Laín, pero, sin duda alguna, destaca la labor del ingeniero de minas burgalés Francisco Javier Ayala Carcedo. A lo largo de tres décadas promovió, dirigió, realizó y supervisó decenas de estudios y cartografías sobre peligrosidad de inundaciones en España; elaboró múltiples inventarios, catálogos, bases de datos y recopilaciones de daños y efectos socioeconómicos en colaboración con otras administraciones de protección civil, ordenación del territorio o sistemas de aseguramiento; y coordinó y editó obras de referencia que siguen teniendo vigencia veinte años después de su fallecimiento. La prolija producción científico-técnica de Paco Ayala (Sendino Lara, 2007) y su singular personalidad marcaron un antes y un después en la investigación sobre inundaciones, no solo en el IGME, sino en España e Iberoamérica, dejando una honda huella en la comunidad científico-técnica.

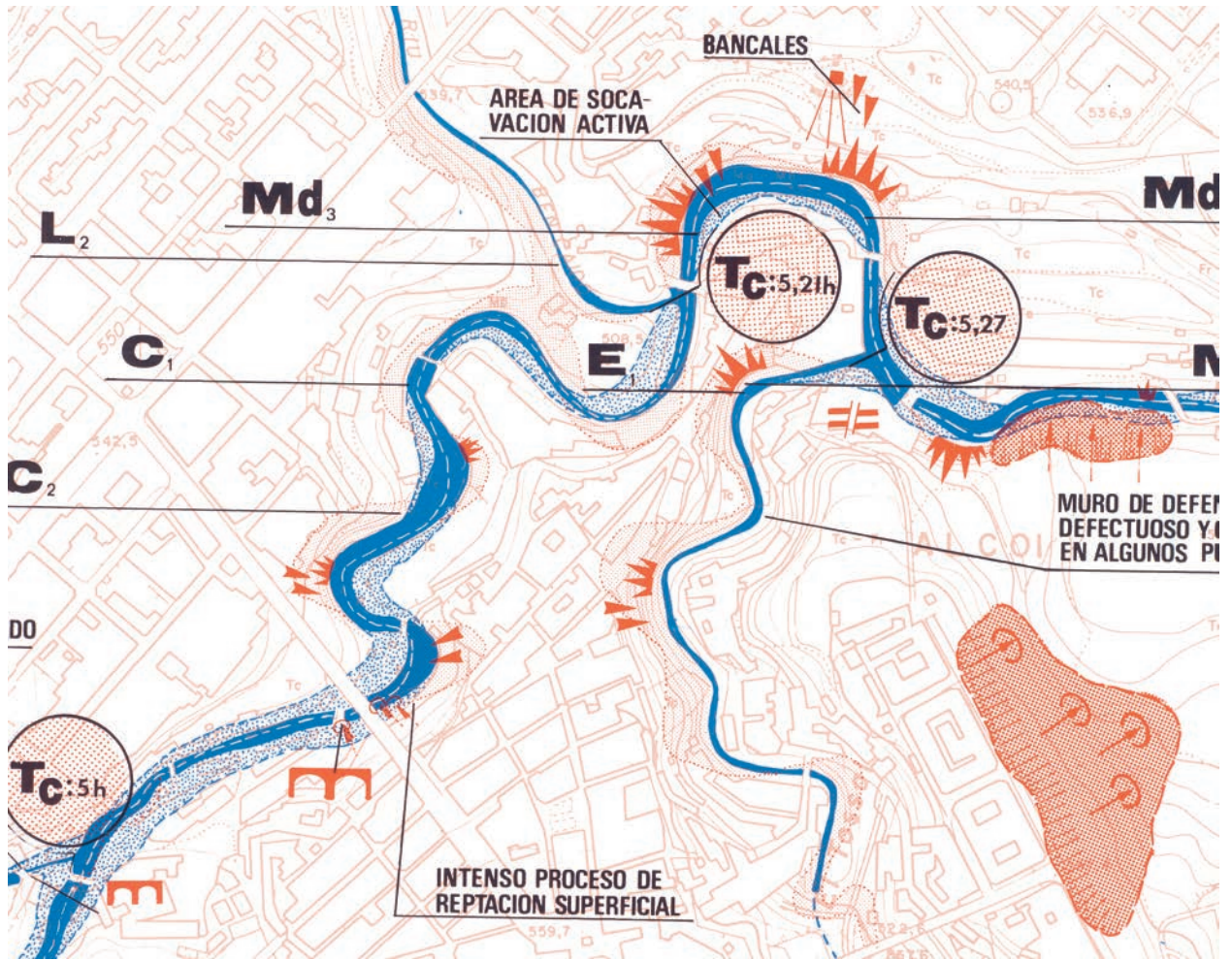


Figura 1. Fragmento de un mapa de peligrosidad por avenidas e inundaciones de la localidad de Alcoy (Alicante), incluyendo otros elementos de la peligrosidad (tiempos de concentración o fenómenos geológicos asociados, como los movimientos del terreno). Ver detalles y leyenda en la obra original, referida en Díez & Laín (1997).

LOS ÚLTIMOS PLANES Y PROYECTOS CARTOGRÁFICOS SOBRE INUNDACIONES EN EL IGME

A inicios del siglo XXI se intentó de poner en marcha un plan sistemático de producción cartográfica denominado *Plan de Riesgos Geológicos* (PRIGEO, 2004-2009). Se elaboraron guías metodológicas para la elaboración de las cartografías de peligrosidad (incluyendo las inundaciones) y se realizaron estudios piloto en determinadas comarcas

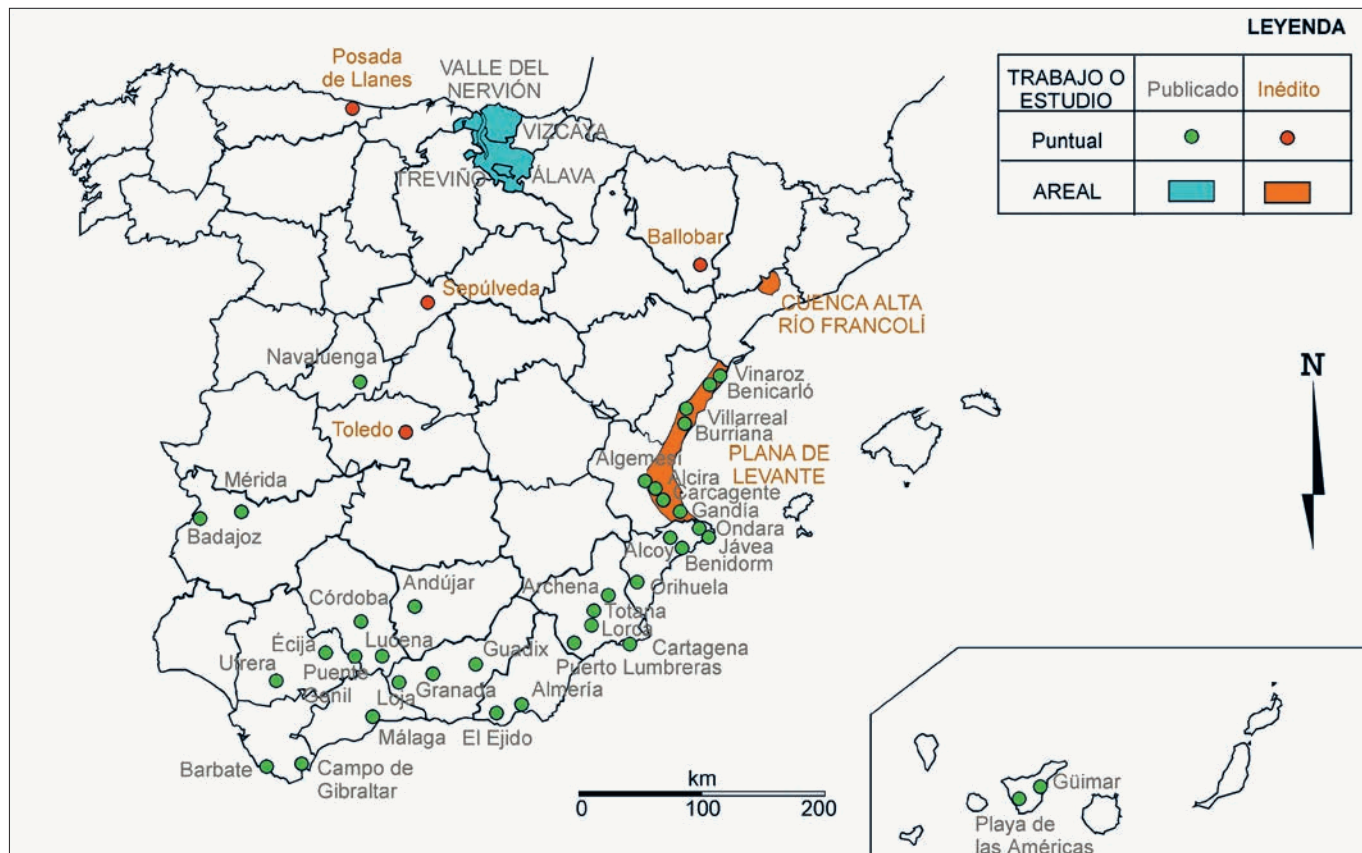


Figura 2. Distribución geográfica de los estudios de inundaciones realizados por el IGME en localidades, comarcas, provincias y comunidades autónomas entre 1983 y 2006; tanto puntuales como areales, y publicados o inéditos. Según Llorente et al. (2006).

(Tajo-Tajuña) y municipios (Panticosa, Albuñol, Villafranca del Bierzo) para ensayar las metodologías y poner a punto las técnicas y formatos (Llorente *et al.*, 2006). Sin embargo, la crisis económica de 2008 impidió el desarrollo del PRIGEO. No obstante, la *Guía metodológica para la elaboración de mapas de peligrosidad de inundaciones* (publicada en castellano; Díez Herrero *et al.*, 2008 y en inglés, 2009) sirvió de base de la guía metodológica del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables y ha sido profusamente utilizada como referente metodológico por diferentes instituciones en España e Iberoamérica.

La producción cartográfica de mapas de peligrosidad por inundaciones a principios del siglo XXI se ciñe a trabajos realizados en el marco de convenios con comunidades autónomas (Murcia, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana), diputaciones provinciales (Granada, Ávila) y entidades del ámbito asegurador (Consortio de Compensación de Seguros).

Entre estos estudios destaca, por utilizar una metodología innovadora que permitió producir cartografías de riesgo social, el desarrollo del Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones de Castilla-La Mancha (PRICAM, 2005-2007). El uso de la evaluación multicriterio con más de una treintena de variables de la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, y la integración del riesgo mediante álgebra de mapas en sistemas de información geográfica, supusieron un referente en la elaboración de los planes autonómicos de protección civil.

Los proyectos GeoMEP (2010-14 y 2019-23) sobre evaluación de impacto económico por riesgos geológicos para

el Consorcio de Compensación de Seguros, representan un hito en la aplicación práctica de métodos de estudio cuantitativos, evaluando por primera vez la solvencia financiera del sistema de indemnizaciones (2010-2014). Poco después, el IGME realizó el primer estudio de riesgo por inundaciones derivadas de tsunamis, que abarca todas las costas españolas (2010-2023) usando los mejores datos, herramientas y técnicas disponibles (Llorente *et al.*, 2020).

BIBLIOGRAFÍA

- DÍEZ, A., & LAÍN, L. (1998). Aportaciones de los estudios del ITGE a la prevención del riesgo de inundaciones en España. En *Aportaciones a la V Reunión Nacional de Geomorfología (Granada, 1998)* (pp. 603-612). Universitat de Barcelona; Sociedad Española de Geomorfología y Universidad de Granada.
- DÍEZ-HERRERO, A., LAIN-HUERTA, L., & LLORENTE-ISIDRO, M. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Instituto Geológico y Minero de España.
- LLORENTE, M., DÍEZ, A., & LAÍN, L. (2006). La experiencia del IGME en cartografía de peligrosidad de avenidas torrenciales e inundaciones: de Casiano de Prado a PRIGEO. En A. Díez, L. Laín, & M. Llorente (Eds.), *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación* (pp. 41-63). Instituto Geológico y Minero de España.
- LLORENTE, M., FERNÁNDEZ, M., GONZÁLEZ, A., GARCÍA, J., CANTAVELLA, J. V., MACÍAS, J., VÁZQUEZ, J. T., SÁNCHEZ, C., PAREDES, C., LEÓN, R. F. (2020). Estudio de impacto de tsunamis en las costas españolas. En I. López, J. Melgarejo, & P. Fernández (Coords.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 684-700). Universidad de Alicante.
- SENDINO LARA, M. C. (2007). *Francisco Javier Ayala Carcedo (1948-2004): producción científica y análisis bibliométrico de sus publicaciones*. Instituto Geológico y Minero de España.

3. HACIA
UNA CIENCIA
INTEGRAL
DEL RIESGO DE
INUNDACIÓN



El estudio de las inundaciones en el IGME, además de una marcada faceta técnica aplicada, ha tenido desde el principio un enfoque claramente investigador y científico. Asimismo, no se ha dejado de lado la difusión de este conocimiento a los diferentes actores de la sociedad (otros técnicos, gestores y público infantil, juvenil y familiar). Por ello, el uso del método científico y de técnicas avanzadas ha sido permanentemente el objetivo primordial; así como también lo ha sido el trabajo interdisciplinar y la colaboración con otras instituciones del ámbito académico y técnico, la participación en proyectos de investigación competitivos, convenios y encomiendas del ámbito nacional e internacional, la formación de personal investigador y la colaboración académica en grados, posgrados, prácticas y trabajos fin de estudios, y la divulgación científica dirigida a diferentes colectivos y rangos de edad.

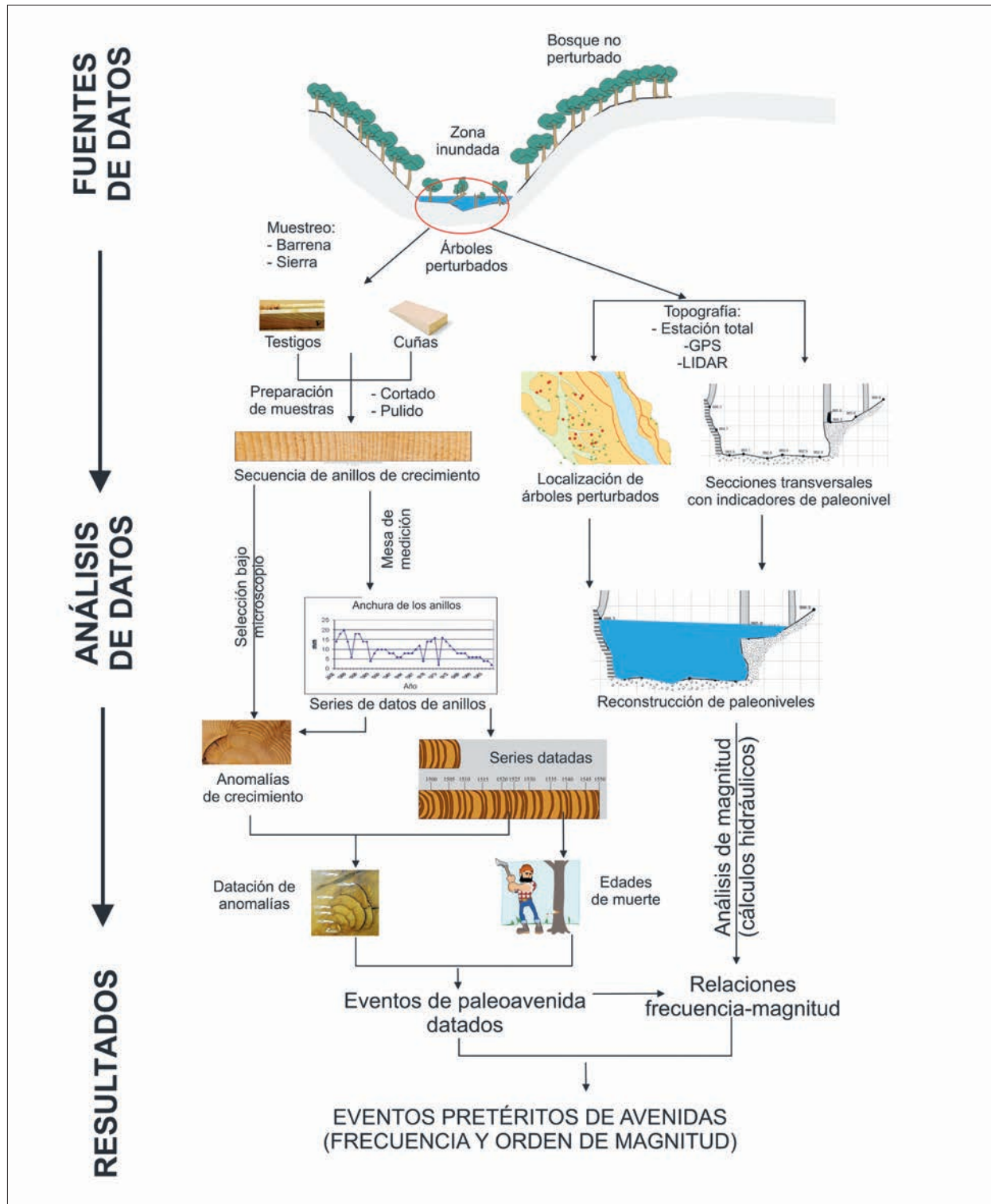
PALEOHIDROLOGÍA DE INUNDACIONES (1997-ACTUALIDAD) Y RIADAS POR ROTURA DE BALSAS MINERAS (1999-2005)

Si bien existen antecedentes de participación y desarrollo de proyectos y trabajos de investigación en materia de inundaciones a lo largo del último cuarto del siglo XX, es a

partir del año 1997 cuando se produce la eclosión de la participación del personal del IGME en proyectos competitivos nacionales e internacionales. Entre ellos destacan, por su carácter pionero e innovador, los proyectos PaleoTagus y SPHERE, en los que el IGME desarrolló, junto con otros centros del CSIC, las primeras bases de datos paleohidrológicas de España (y unas de las primeras del mundo). A partir de estas bases de datos se derivaron algunos de los artículos científicos en revistas internacionales más citados en materia de inundaciones (Benito *et al.*, 2003), y se abrió con ello una línea de investigación sobre la que se sigue trabajando en la actualidad aplicando estas herramientas al resto del territorio nacional (PaleoRiada; www.inundacion.es/paleoinundacion/).

Asimismo, el IGME fue pionero en la introducción en España y Europa del uso de fuentes de datos botánicas, dendrocronología y liquenometría | fig. 1 |, para el estudio de la paleohidrología, materializado a través de varios proyectos de investigación (Dendro-Avenidas, IDEA-GesPPNN, MAS Dendro-Avenidas) y la codirección de tres tesis doctorales, que han sentado las bases para su incorporación al análisis de la peligrosidad y el riesgo de inundaciones (Díez-Herrero *et al.*, 2013).

Igualmente, tras la rotura de una balsa de residuos mineros en Aznalcóllar en 1998, otra de las líneas de investi-



gación científica con una clara aplicación técnica ha sido el análisis de peligrosidad y riesgo por avenidas e inundaciones asociadas a la rotura o inadecuada operación de presas de lodos mineros. El desarrollo de proyectos europeos, como e-EcoRisk, derivó igualmente en una producción científica sobre este tema que ha tenido un alto impacto en la comunidad internacional (Rico *et al.*, 2008).

LA CUENCA PILOTO EXPERIMENTAL
DE VENERO CLARO PARA
LA PREDICCIÓN (2005)
Y LA EDUCACIÓN EN EL RIESGO
(2007-ACTUALIDAD)

Otro desastre por avenidas torrenciales, la riada de Venero Claro (Ávila) en diciembre de 1997, focalizó buena parte de las investigaciones científicas del IGME. A lo largo de más de una década, se procedió a la monitorización de esta cuenca de montaña de la sierra de Gredos mediante instrumental hidrometeorológico, lo que permitió usarla como zona piloto experimental en numerosos estudios meteorológicos, hidrológicos, hidráulicos, paleohidrológicos, geomorfológicos y de análisis de riesgos.

A raíz de estos estudios y aprovechando la celebración regular de campamentos infantiles estivales por la Fundación Ávila, en la zona se puso en marcha un novedoso programa de educación en el riesgo de inundaciones, con actividades prácticas (juegos, talleres, manejo de aparatos). Desde 2013, cada año participan más de medio millar de preadolescentes, aumentando su conocimiento, percepción del riesgo, resiliencia y capacidades de autoprotección ante las inundaciones (Díez-Herrero *et al.*, 2021a).

Aunque la actividad de divulgación científica por antonomasia en el ámbito de los riesgos geológicos en general,

y de las inundaciones en particular, es la excursión titulada «A todo riesgo: convivir con los desastres geológicos cotidianos», que el IGME viene organizando en el entorno periurbano de la ciudad de Segovia desde 2007, en el marco de la Semana de la Ciencia. Esta actividad se ha convertido en la decana y referente de la divulgación sobre riesgos naturales en España (Díez-Herrero *et al.*, 2021b).

ANÁLISIS INTEGRAL Y LA GESTIÓN
DEL RIESGO EN EL PATRIMONIO
(2008-ACTUALIDAD)

En el último cuarto de siglo, y especialmente durante la última década y media, las investigaciones del IGME en materia de inundaciones han puesto su foco en el análisis integral del riesgo. Esto es, la cuantificación no solo de la peligrosidad (como se venía haciendo), sino también la exposición (social y económica) y la vulnerabilidad (con funciones magnitud-daño) con expertos de otras disciplinas socioeconómicas; incluso el estudio de medidas de mitigación del riesgo y sus relaciones coste-beneficio. En esta línea de trabajo se han hecho estudios de alto detalle espacial y temático; por ejemplo, centrados en una única edificación (edificio Sabatini, Fábrica de Armas de Toledo), pequeñas localidades como Pajares de Pedraza y Navalunga | fig. 2 |, ámbitos comarcales (infraestructuras de transporte y cultivos de regadío entre Toro y Zamora) y autonómico (bienes de interés cultural en Castilla y León).

Estos análisis integrales del riesgo por inundaciones enlazan con otra faceta u objeto de estudio del IGME en las últimas décadas: las relaciones entre las inundaciones y el patrimonio, tanto cultural (arqueológico, monumental, etnográfico) como natural (geológico y biológico). Así, se han desarrollado trabajos pioneros a nivel internacional focalizados en paleohidrología de inundaciones aplicada a monumentos (puerta del Vado de Toledo, Real Casa de Moneda de Segovia, teatro romano de Guadix-Granada, monasterio de Santa María de Huerta-Soria, etc.), a lugares de interés geológico (rastros fósiles de gusano ordovícico de Cabañeros, fósiles cuaternarios de la Caldera de Taburiente...) y en los

◀ Figura 1. Esquema metodológico del empleo de las fuentes de datos y técnicas dendrogeomorfológicas para el estudio de la frecuencia y magnitud de las avenidas torrenciales y las inundaciones asociadas.

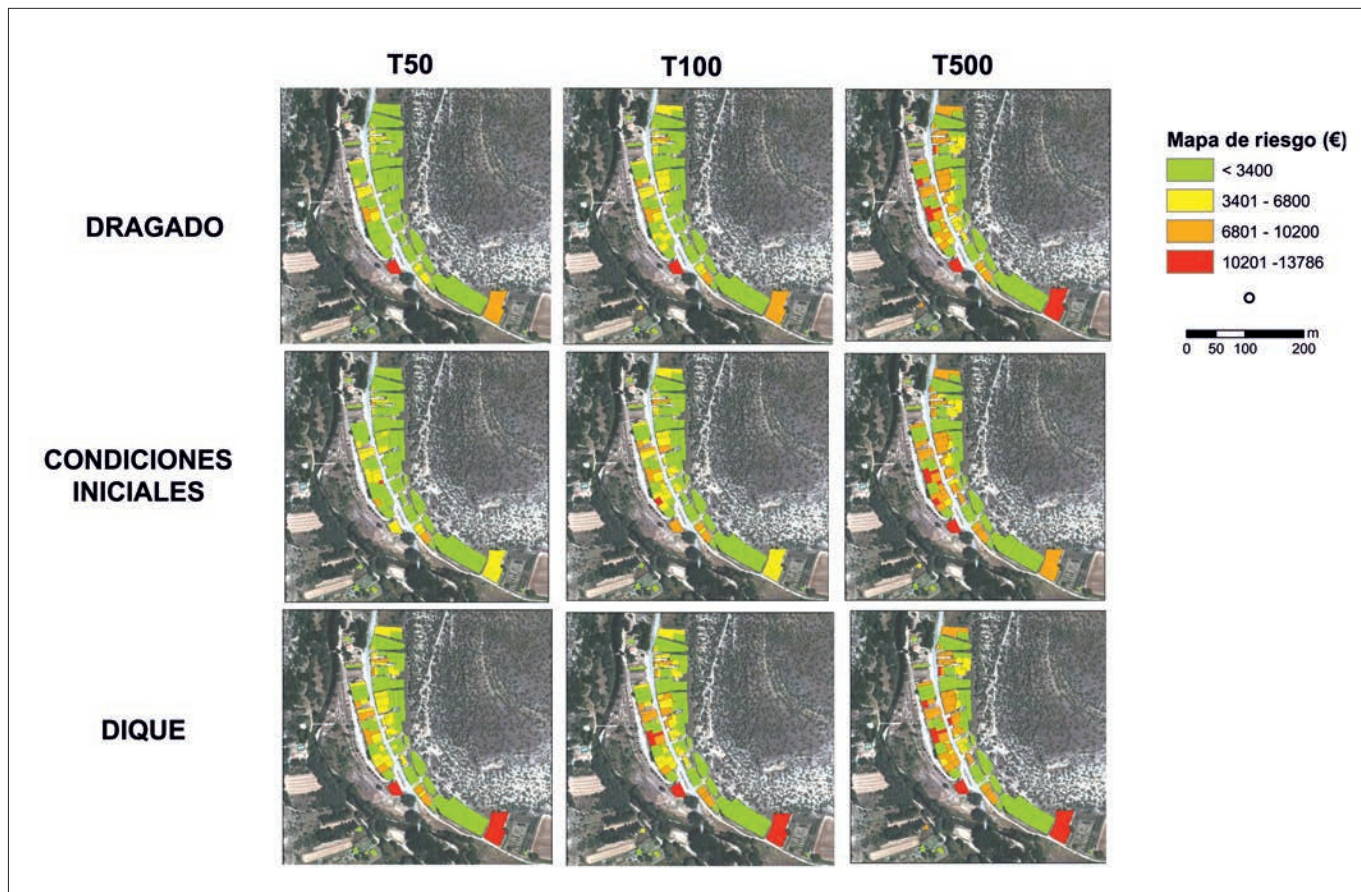


Figura 2. Mapas de riesgo económico por inundaciones (en euros) en las parcelas catastrales urbanas de la localidad de Pajares de Pedraza (Arahuetes, Segovia), para diferentes periodos de retorno (50, 100 y 500 años) y situaciones (condiciones iniciales, tras dragado del cauce o tras construcción de un dique). Según Olcina-Cantos y Díez-Herrero (2022).

planes de conservación preventiva, planes de salvaguarda y protocolos de actuación en emergencias, en colaboración con las entidades de gestión patrimonial (UGRECyL, IPCE, OAPN, etc.) y de las fuerzas y cuerpos de seguridad (UME, Guardia Civil-SEPRONA, guardería forestal y medioambiental, etc.).

Finalmente se ha dado un paso más, en colaboración con equipos de sociólogos y psicólogos ambientales, desarrollando planes y programas de comunicación del riesgo de inundación (Navaluenga, Venero Claro y Zamora), con participación pública y dinámicas de grupo innovadoras. Se ha analizado además el efecto de este tipo de actuaciones en la mejora de la percepción del riesgo y la preparación ante futuros eventos de inundación.

REGRESO AL PASADO PARA PROYECTAR EL FUTURO: LA INVESTIGACIÓN EN MORFODINÁMICA SEDIMENTARIA Y CARGA LEÑOSA (2010-ACTUALIDAD)

Como si de un *déjà vu* se tratase, en los últimos años, las investigaciones sobre inundaciones en el IGME han vuelto a los orígenes de los estudios del siglo XIX, analizando el papel de la carga sólida en las avenidas y crecidas fluviales. Primero con los estudios sobre la carga leñosa en los ríos, su reclutamiento y captación en las cuencas, su hidrodinámica en los cauces y su rol en la peligrosidad durante las inundaciones. Después, a través del estudio geomorfológico de los ríos para conocer su estado morfosedimentario (incisión o acreción) y así posibilitar la gestión de las proble-

máticas asociadas al transporte de sedimento. Para ello se ha puesto en marcha una red científica coordinada inicialmente por el IGME (REDCEMOS: Red Científica Española sobre Morfodinámica fluvial y Observatorio de Sedimentos en ríos), además de ambiciosos proyectos de investigación sobre técnicas de monitorización del sedimento (Tarquín) y de la carga leñosa.

BIBLIOGRAFÍA

- BENITO, G., DíEZ-HERRERO, A., & FERNÁNDEZ DE VILLALTA, M. (2003). Magnitude and frequency of flooding in the Tagus Basin (Central Spain) over the Last Millenium. *Climatic Change*, 58(1-2), 171-192. <https://doi.org/10.1023/A:1023417102053>
- DÍEZ-HERRERO, A., BALLESTEROS-CÁNOVAS, J. A., BODOQUE, J. M., & RUIZ-VILLANUEVA, V. (2013). A review of dendrogeomorphological research applied to flood risk analysis in Spain. *Geomorphology*, 196, 211-220.
- DÍEZ-HERRERO, A., GARCÍA PEIROTÉN, E., MARTÍN MORENO, C., SACRISTÁN ARROYO, N., & VICENTE RODADO, M. F. (2021b). *A todo riesgo. Convivir con los desastres geológicos cotidianos*. Instituto Geológico y Minero de España.
- DÍEZ HERRERO, A., HERNÁNDEZ RUIZ, M., CARRERA TORRES, C., DÍEZ MARCELO, P., BODOQUE, J. M., GARCÍA PEIROTÉN, E., MARTÍN-MORENO, C., SACRISTÁN ARROYO, N., VICENTE RODADO, M. F., GONZÁLEZ ÁLVARO, S., DÍEZ HERRERO, A., GUTIÉRREZ PÉREZ, I., & VEGAS SALAMANCA, J. (2021a). Soluciones basadas en la educación en el riesgo dirigida a la población infantil. En A. Thomsen, J. Farinós, & E. Perero (Coords.), *Soluciones ante los riesgos climáticos en ríos y costas* (pp. 88-97). Fundación Conama.
- OLCINA-CANTOS, J., & DÍEZ-HERRERO, A. (2022). Technical Evolution of Flood Maps Through Spanish Experience in the European Framework. *The Cartographic Journal*, 59(1), 55-68. <https://doi.org/10.1080/00087041.2021.1930678>
- RICO, M., BENITO, G., SALGUEIRO, A.R., DÍEZ-HERRERO, A., & PEREIRA, H.G. (2008). Reported tailings dam failures. A review of the European incidents in the worldwide context. *Journal of Hazardous Materials*, 152(2), 846-852. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.050>

4. EL ESTUDIO
DE LOS
DESLIZAMIENTOS
EN EL IGME



Los movimientos de ladera, englobados generalmente bajo el término de deslizamientos, son uno de los procesos geodinámicos más extendidos y frecuentes en España, y como peligros geológicos causan grandes pérdidas económicas directas e indirectas. El IGME ha sido una institución pionera en el estudio sistemático y de forma organizada de los movimientos de ladera en España, dando respuesta bajo distintas líneas de trabajo y actuaciones a las necesidades sociales y científico-técnicas derivadas de esta problemática extendida por gran parte del territorio, desde las zonas montañosas hasta las cuencas de los grandes ríos, pasando por las costas acantiladas.

Es a partir de mediados de los años ochenta del pasado siglo cuando el IGME comienza a abordar, de forma sistemática, el estudio de los deslizamientos y otros movimientos del terreno. Se trató de una de las principales actividades de la, entonces, recién constituida Área de Ingeniería Geoambiental, en gran parte impulsada por el desarrollo en los años posteriores a la transición democrática de las obras públicas y de las grandes cortas mineras a cielo abierto, donde las laderas y los taludes juegan un papel definitivo en el diseño, construcción y explotación. En estos años se produce un avance sustancial de los métodos numéricos para el análisis de estabilidad, facilitando enormemente los cálculos. Por otro lado, los movimientos de ladera empiezan a considerarse como un riesgo potencial importante en España, surgiendo la necesidad de realizar estudios preventivos en las zonas del territorio más afectadas.

Durante cuarenta años los trabajos y actividades del IGME han abarcado los más diversos ámbitos y escalas, extendiéndose prácticamente por toda la geografía española peninsular e insular y proporcionando información

documental y cartográfica necesaria para hacer frente a las demandas de la sociedad. Al mismo tiempo, se ha perseguido también el conocimiento científico de las tipologías, mecanismos y características de los movimientos de ladera, y su desarrollo e impacto en España, cumpliendo así con la misión del IGME como organismo público de investigación de referencia en ciencias de la Tierra. Solo desde el conocimiento de los procesos y de los factores que los condicionan se pueden abordar las tareas de prevención y mitigación frente a estos riesgos, finalidad última perseguida. El IGME ha desarrollado una doble actividad, tanto en el campo de los deslizamientos como en otros riesgos geológicos, realizando por un lado estudios y proyectos para generar infraestructura de conocimiento del territorio y abordar problemáticas locales y, por otro, desarrollando líneas de investigación propias, en muchas ocasiones con trabajos pioneros a nivel internacional.

A continuación, junto a unas breves pinceladas sobre los trabajos realizados y los avances logrados a lo largo de estas cuatro décadas, se mencionan algunos de los proyectos más importantes llevados a cabo, teniendo que omitir muchos otros de indudable interés por limitaciones de espacio.

Los primeros trabajos del IGME se iniciaron a mediados de los ochenta del pasado siglo con los denominados *estudios de riesgos puntuales*, atendiendo a las solicitudes de las administraciones públicas ante los problemas causados por deslizamientos y desprendimientos rocosos que afectaban a poblaciones o su entorno. También fueron pioneros los estudios sistemáticos de estabilidad de escombreras mineras y de taludes en cortas de carbón, debido a la gran demanda tras las crisis energéticas de la década de los setenta.



Figura 1. Izquierda, vista de la cabecera del deslizamiento de Benamejé, Córdoba (1989) afectando a viviendas y calles de la población. Fotografía: M. Ferrer. Derecha, avalancha rocosa en la serra de Tramuntana, Mallorca (2008), que cortó la principal carretera de la región durante casi cuatro meses. Fotografía: R.M. Mateos.

Los estudios de riesgos, de los que se han realizado más de un centenar, han sido una seña de identidad del IGME, manteniéndose hasta el presente.

Los trabajos cartográficos comenzaron con el *Mapa de movimientos del terreno de España* (1987), a escala 1:1 000 000, que por primera vez mostraba la extensión, distribución y tipología de los movimientos de ladera, reflejando la susceptibilidad del territorio. Junto con la información del pionero y ya clásico estudio del IGME «Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España» (IGME, 1987), se preparó la primera publicación internacional sobre el tema (Ayala & Ferrer, 1989).

El primer inventario nacional de deslizamientos se publicó en el *Catálogo nacional de riesgos geológicos* (González de Vallejo *et al.*, 1988), germen de los inventarios y bases de datos posteriores. Cabe destacar los inventarios históricos realizados en 1993 (en el marco de un proyecto europeo) y en 2000-2003, más completo y ya implementado en una base de datos (proyecto del IGME-CCS), que dieron lugar a los mapas nacionales de inventario y susceptibilidad por movimientos de ladera por municipios, a escala 1:1 000 000. Posteriormente, con la incorporación de información adicional se establece la Base de Datos de Movimientos del Terreno (BDMOVES, 2015), de permanente actualización (<https://info.igme.es/BDMoves/>).

La cartografía regional y provincial a pequeña escala de inventario y susceptibilidad por movimientos de ladera

se inicia en 1989 con el mapa y memoria del valle del Guadalquivir, realizándose posteriormente para otras zonas de España propensas a los deslizamientos, como las provincias de Murcia (1995) y Granada (2007). A media escala, pueden citarse los mapas de movimientos de ladera del Pirineo central (1994) y de la región de Murcia (2004-2012), en cuya preparación se incorporó ya el uso de sistemas de información geográfica (SIG). Desde principios de los noventa, se incluyen los movimientos de ladera, mediante su representación cartográfica y clasificación, en la colección de mapas geotécnicos y de riesgos de ciudades, a escalas 1:25 000 y 1:5000.

Los primeros trabajos más destacables de investigación geológica-geotécnica de deslizamientos específicos fueron los de Alcoy (Alicante, 1984), Los Olivares (Granada, 1986), Villahermosa del Río (Castellón, 1988) y Benamejé (Córdoba, 1991), que afectaron gravemente a poblaciones, carreteras y cauces fluviales | figs. 1 y 2 (para 2, véanse *infra* pp. 298-299) |. Estos trabajos supusieron los inicios del IGME en la investigación de grandes movimientos activos, con la realización de trabajos de campo, sondeos, ensayos *in situ*, ensayos de laboratorio y aplicación de técnicas geofísicas. Entre otros casos más recientes estudiados destacan algunos de Mallorca, como los deslizamientos históricamente recurrentes de Fornalutx (2006), o los desprendimientos de la sierra de Tramontana como consecuencia del temporal de lluvias ocurrido en 2008-2009 | fig. 1 |.

A partir de 1993 comienzan las actividades internacionales, con la participación en varios proyectos de investigación sobre deslizamientos de la Comisión Europea, en los que por primera vez participa el IGME (MEFISST, 1993-1995, donde se estudian los deslizamientos de las zonas de Monachil, en Granada, y Alcoy, en Alicante; TIGRA, 1996-1997; TEMRAP, 1998-1999). También, en 1996-1998, se colaboró en un proyecto pionero de la Agencia Espacial Europea sobre la aplicación de técnicas SAR para el control de deslizamientos, iniciando así el empleo de las técnicas de observación remota que en años posteriores se potenciaron de forma importante. En el marco del primero de los proyectos citados se llevó a cabo el primer inventario nacional de deslizamientos históricos anteriores a 1950.

También durante la década de los noventa se lideraron proyectos internacionales en Argentina (PASMA, 1995-98), financiados por el Banco Mundial, y en varios países de Centroamérica (Guatemala, Nicaragua y Honduras, 1999-2000), financiados por la AECID, consistentes en realización de normativas y de cartografías inventario y de susceptibilidad por deslizamientos. Posteriormente se realizaron estudios y mapas de movimientos de ladera a nivel nacional en El Salvador con fines de prevención y ordenación del territorio, igualmente financiados por el Banco Mundial (2001-03).

En los años 2000, el IGME potencia su papel investigador liderando por primera vez proyectos del Plan Nacional I+D sobre los grandes deslizamientos prehistóricos de Tenerife (GRANDETEN I y II, 2005-2010), y se participa en nuevos proyectos pioneros de la Comisión Europea (GALAHAD, 2005-2008), sobre la aplicación de técnicas de observación remota para el estudio, predicción y prevención de los movimientos del terreno, comenzando así una línea continua de trabajo que se desarrollaría de forma notable en los años siguientes con la participación en proyectos europeos (proyectos DORIS, 2010-2013; GEO-CRADDLE, 2016-2018; PROTHEGO, 2015-2018; SAFETY, 2016-2018; U-GEOHAZ, 2018-2019; RISKCOAST 2019-2022). Un ejemplo reciente de aplicación de estas herramientas ha sido la investigación de grandes paleodeslizamientos reactivados en la zona minera del valle de Laciana (León, 2019-2022), que ha permitido la toma sistemática de datos de campo, el

control y análisis de los movimientos superficiales y la preparación de los modelos digitales de las laderas.

Entre las múltiples actividades realizadas, que por razones de espacio no es posible incluir, cabe destacar el desarrollo de metodologías y normativas cartográficas, los estudios de vulnerabilidad y riesgo, las tesis doctorales desarrolladas mediante financiación propia o externa, numerosas publicaciones cartográficas y de libros, manuales y artículos, participación en grupos de trabajo nacionales y europeos, impartición de conferencias y cursos, formación de becarios, etc., actividades que dan valor y contribuyen a situar al IGME en la vanguardia del conocimiento aplicado y la investigación básica en movimientos de ladera. Desde la perspectiva actual, el recorrido del IGME durante los últimos cuarenta años en el campo de los deslizamientos puede decirse que ha sido excepcional, ya que, partiendo prácticamente de cero, ha llegado a ser la institución de referencia en España, y el referente español en Europa y países hispanoamericanos.

En la actualidad el IGME cuenta con una dilatada experiencia en el conocimiento de los procesos de movimientos de ladera y sus consecuencias e impactos socioeconómicos, con investigadores del más alto nivel y con los medios necesarios tanto para abordar cualquier tipo de proyecto de investigación en esta temática como para proporcionar asesoramiento científico-técnico a las administraciones públicas. Para finalizar este breve resumen de las últimas cuatro décadas del IGME en el campo de los deslizamientos, sin duda debe destacarse la labor de las y los científicos y técnicos, que han sido los protagonistas y el motor de esta brillante trayectoria.

BIBLIOGRAFÍA

AYALA, F. & FERRER, M. (1989). Extent and economic significance of landslides in Spain (1989). En E. E. Brabb, & B. L. Harrod (Eds.) *Landslides, Extent and Economic Significance* (pp. 169-178). Balkema.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I., FERRER GIJÓN, M., AYALA CARCEDO, F. J., & BELTRÁN DE HEREDIA ARTADI, F. (1988). *Catálogo nacional de riesgos geológicos*. Instituto Geológico y Minero de España.
IGME (1987). *Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España*. Instituto Geológico y Minero de España.



Figura 2. Vista del deslizamiento de Villahermosa del Río, Castellón (1988), taponando el cauce fluvial a su pie y embalsando el río. Se observa la carretera destruida por los escarpes de rotura. Fotografía: M. Ferrer.



5. ENTRE VOLCANES:
DESDE LAS ANTILLAS
A FILIPINAS PASANDO
POR CANARIAS



La historia del IGME, desde su creación en 1849 como la Comisión de la Carta Geológica de Madrid y General del Reino hasta la actualidad, ha estado ligada de una u otra manera con los volcanes, bien a través de estudios geológicos, de aprovechamiento geotérmico, de la realización de cartografía o incluso del seguimiento de la actividad volcánica. Ya en la segunda mitad del siglo XIX, los ingenieros de minas José Centeno García y Enrique Abella y Casariego realizaron un gran esfuerzo en la exploración de Filipinas, lo que incluía entre sus investigaciones aquellas relacionadas con los volcanes de la zona (Rábano, 2020). Si bien no fueron parte del personal de la Comisión del Mapa Geológico de España (el precursor del actual IGME), sí lo fue Enrique d'Almonte que los acompañaba como cartógrafo y dibujante. Su aportación a la Comisión respecto a los estudios en los volcanes de Filipinas fue muy relevante, por lo que se incluye aquí una mención a estos trabajos.

Entrando en el siglo XX, el 11 de julio de 1949 llegaron a la isla de La Palma los ingenieros de montes José Romero Ortiz y Wenceslao del Castillo, miembros del Instituto Geológico y Minero de España, comisionados para hacer un seguimiento del desarrollo y proceso de la erupción que había comenzado el 24 de junio, día de San Juan, estudiar sus características y los fenómenos a que pudiera dar lugar y rendir el oportuno trabajo informativo (Romero Ortiz *et al.*, 1951; Romero Ortiz & Bonelli Rubio, 1951).

Unos años más tarde, entre 1948 y 1949, pero esta vez ya desde la Delegación de Las Palmas, el ingeniero Tomás Cordón y López de Ocariz, realizó un estudio sobre las posibilidades de aprovechar el calor de la Montaña de Fuego de la isla de Lanzarote (Cordón y López de Ocariz, 1949). Estos estudios muestran el carácter pionero de muchos trabajos desarrollados en zonas volcánicas por el personal del IGME, pues a mediados del siglo XX ya se exploraban las posibilidades de una técnica que en la actualidad parece muy moderna.

Llegamos así hasta el siglo XXI, en el que la actividad del IGME en terrenos volcánicos ha ido cambiando y adaptándose a las nuevas técnicas y metodologías utilizadas en vulcanología, así como a los cambios en la manera de gestionar los procesos volcánicos en Protección Civil. Desde 2014, el IGME forma parte del Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos (CCES) del Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgo Volcánico en la comunidad autónoma de Canarias (PEVOLCA). Su función es la de asesorar al Comité Director del Plan y a las autoridades sobre el fenómeno volcánico.

El IGME ha desempeñado un papel fundamental en el seguimiento de la erupción de La Palma que se inició el 19 de septiembre de 2021, no solo asesorando a las autoridades a través del Comité Científico del PEVOLCA desde



Figura 1. Investigadores del IGME realizando un muestreo de piroclastos cerca del cono volcánico durante la erupción de La Palma. Archivo IGME.

la semana anterior al inicio de la erupción, y durante todo el proceso, sino proporcionando información veraz de forma rápida gracias a las redes sociales e internet, en un lenguaje claro y sencillo. En este sentido, fue fundamental la participación de numerosos investigadores y técnicos tanto en campo, tomando datos y realizando observaciones, como en gabinete analizando los datos y realizando cartografías diarias del avance de las coladas o de la extensión de los piroclastos, o en el laboratorio analizando las muestras de lavas y piroclastos recogidas por los equipos de campo | fig. 1 |. Una mención especial merecen los pilotos de drones y el personal de apoyo del Servicio de Trabajos Aéreos del IGME, todos especialistas en ciencias de la Tierra, cuyas imágenes diarias fueron fundamentales para los gestores de la emergencia y para el seguimiento de la actividad volcánica.

Además, se creó una página web (<https://info.igme.es/eventos/Erupcion-volcanica-la-palma>) donde centralizar toda la información que se iba generando, y a la que se añadía la aportada por el resto de instituciones intervinientes,

convirtiéndose así en un *hub* de información que todo el mundo podía consultar.

MISIONES INTERNACIONALES

Además de los estudios realizados en suelo español o en los antiguos territorios de influencia española por el personal del IGME como parte de sus funciones como organismo de referencia en ciencias de la Tierra, sus investigadores han participado también en misiones internacionales de asesoramiento en erupciones volcánicas en el marco del Mecanismo Europeo de Protección Civil.

En 2018, y tras la petición de activación del Mecanismo por parte del Gobierno de Guatemala debido a la erupción del volcán de Fuego, se formó un equipo internacional de asesoramiento. El papel del personal del IGME consistió en asesorar a las autoridades locales sobre el monitoreo de *lahares* y los sistemas de alerta temprana que ayudaran a proteger a la población en futuras erupciones.



Figura 2. Investigadora del IGME tomando datos de los depósitos de lahares del volcán de La Soufrière, en San Vicente y Las Granadinas (2021). Archivo IGME.

Tres años más tarde, en 2021, cinco meses antes de la erupción de La Palma, se produjo la erupción del volcán de La Soufrière en San Vicente y Las Granadinas [fig. 2]. Tras la solicitud del Gobierno del país de asesoramiento en geología, vulcanología, gestión de cenizas volcánicas y contaminación ambiental por cenizas, se organizó una misión internacional conjunta del Mecanismo Europeo de Protección Civil, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (UNEP/OCHA). La función principal del personal del IGME consistió en informar al resto del equipo sobre la situación volcánica diaria y la probabilidad de ocurrencia de los peligros y riesgos asociados, analizar la red de monitoreo y vigilancia de la actividad volcánica, así como los planes de emergencia para proponer mejoras si fuera necesario y, por último, comprobar los efectos e impactos de la actividad eruptiva en el medioambiente, los ecosistemas terrestres y marinos, y la actividad económica y social.

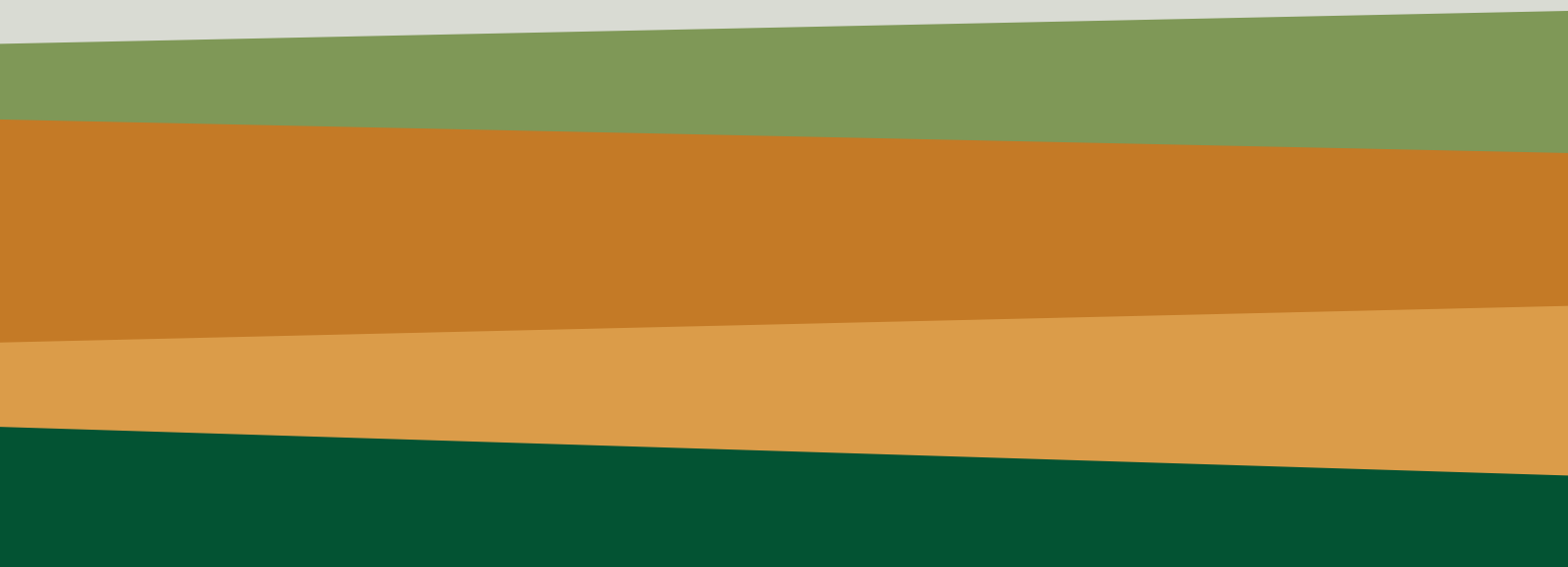
Todo este trabajo muestra el compromiso del IGME con la sociedad y con el estudio y prevención de los riesgos

ocasionados por los peligros geológicos que tanto afectan a los ciudadanos. El conocimiento de estos procesos es fundamental para ser una sociedad más resiliente frente a las consecuencias de los procesos naturales.

BIBLIOGRAFÍA

- CORDÓN Y LÓPEZ DE OCÁRIZ, T. (1949). *Informe sobre las posibilidades que hay de aprovechar el calor de la Montaña de Fuego de la isla de Lanzarote (Las Palmas)*. Instituto Geológico y Minero de España, Delegación de Las Palmas. http://info.igme.es/SidPDF/166000/797/166797_0000001.pdf
- RÁBANO, I. (2020). Encuentros y desencuentros con la metrópoli: la Inspección General de Minas de las Islas Filipinas y sus ingenieros. *Illes i Imperis*, 22, 107-124. <https://doi.org/10.31009/illesimperis.2020.i22.06>
- ROMERO ORTIZ, J., & BONELLI RUBIO, J.M. (1951). *La erupción del Nambroque (Junio-Agosto de 1949)*. Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica, Instituto Geográfico y Catastral.
- ROMERO ORTIZ, J., RECONDO, D., CASTILLO, W., VIDARTE, M., & FERNÁNDEZ, E. (1951). La erupción del Nambroque en la Isla de La Palma. Informe preliminar. *Boletín Geológico y Minero*, 63, 3-164.

6. LA VIGILANCIA
DE LOS PELIGROS
GEOLÓGICOS
DESDE EL ESPACIO



ROSA MARÍA MATEOS
MARTA BÉJAR-PIZARRO
GUADALUPE BRU
PABLO EZQUERRO
JUAN LÓPEZ-VINIELLES
CAROLINA GUARDIOLA-ALBERT
GERARDO HERRERA

Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC

La interferometría rádar satélite (InSAR) es una novedosa técnica que permite cuantificar desplazamientos del terreno con precisión milimétrica. La técnica se hizo muy conocida cuando se aplicó al terremoto de California de 1992 y, desde entonces, ha revolucionado el campo de la monitorización y el estudio de los peligros geológicos. Numerosos procesos que dejan una huella, a modo de deformación, sobre el terreno se pueden monitorizar y modelizar mediante InSAR. No solo los peligros geológicos: terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos, subsidencia, hundimientos del terreno, etc., sino también diferentes actividades y elementos antrópicos: labores mineras, vertederos, asentamientos diferenciales de estructuras e infraestructuras, etc.

La técnica se basa en los sistemas rádar de apertura sintética (SAR) acoplados al satélite, que dispone de un emisor de un pulso de microondas. Este pulso llega hasta la superficie del terreno —donde rebota— para retornar de nuevo al satélite (sensor) transformándose en una imagen SAR. La técnica se fundamenta en la comparación de la fase de dos imágenes SAR adquiridas sobre la misma escena en fechas distintas. Si durante dicho intervalo temporal se producen deformaciones de la superficie del terreno, estas se pueden localizar y cuantificar con precisión.

Estos sistemas de observación desde el espacio ofrecen innumerables ventajas frente a otras técnicas de monitorización, ya que permiten vigilar amplias extensiones de terreno a bajo coste, en zonas remotas o de difícil acceso, día y noche e independientemente de la situación atmosférica. También se pueden acoplar a otros dispositivos aéreos e incluso a plataformas terrestres (GB-SAR). Con el inicio del siglo XXI, las

técnicas InSAR han ido mejorando y su uso se ha extendido en el campo de la geología. Como resultado, la técnica proporciona mapas y series de deformación del terreno que representan una herramienta sin parangón. Todo ello permite identificar nuevos problemas, monitorizar y modelizar los ya conocidos, analizar la evolución previa y ofrecer una respuesta rápida y eficaz a los gestores del territorio y el urbanismo, así como a los servicios de protección civil | fig. 1 |.

EL PAPEL PIONERO DEL IGME

Las técnicas InSAR llegaron en el año 2003 al IGME a través del proyecto TERRAFIRMA del programa Global Monitoring for Environment and Security de la Unión Europea, en el que participaron 29 países. El equipo del IGME focalizó los trabajos en dos zonas de interés: el área metropolitana de Murcia, con graves problemas ligados a la subsidencia del terreno, y el valle de Tena (Huesca), con la presencia de deslizamientos activos. TERRAFIRMA fue el pistoletazo de salida para la consecución de un gran número de proyectos europeos en el IGME de aplicación de las técnicas InSAR a los peligros geológicos: GALAHAD, DORIS, LAMPRE, DOSMS, U-GEOHAZ, PROTHEGO, SAFETY, RISKCOAST, AGEO, EuroGEOSS, RASTOOL, RESERVOIR y GSEU. También se han liderado varios proyectos del Plan Nacional en la temática: AQUARISK y SARAI, así como numerosos convenios y contratos de investigación. La financiación externa recibida por el IGME para el desarrollo de esta línea de investigación supera ya los cuatro millones de euros. Se

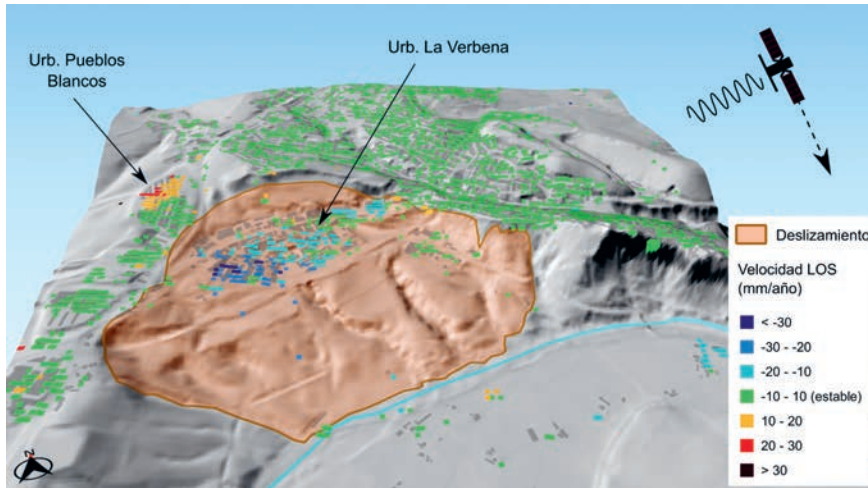


Figura 1. Puntos de medida de velocidad de desplazamiento del terreno (2011-2012) con respecto al satélite ENVISAT en Arcos de la Frontera (Cádiz). Se identificaron los procesos responsables de causar graves daños en edificaciones: la compactación de un relleno antrópico en la urbanización de Pueblos Blancos y la actividad de un deslizamiento en la urbanización de La Verbena. Modificado de Bru *et al.* (2017).

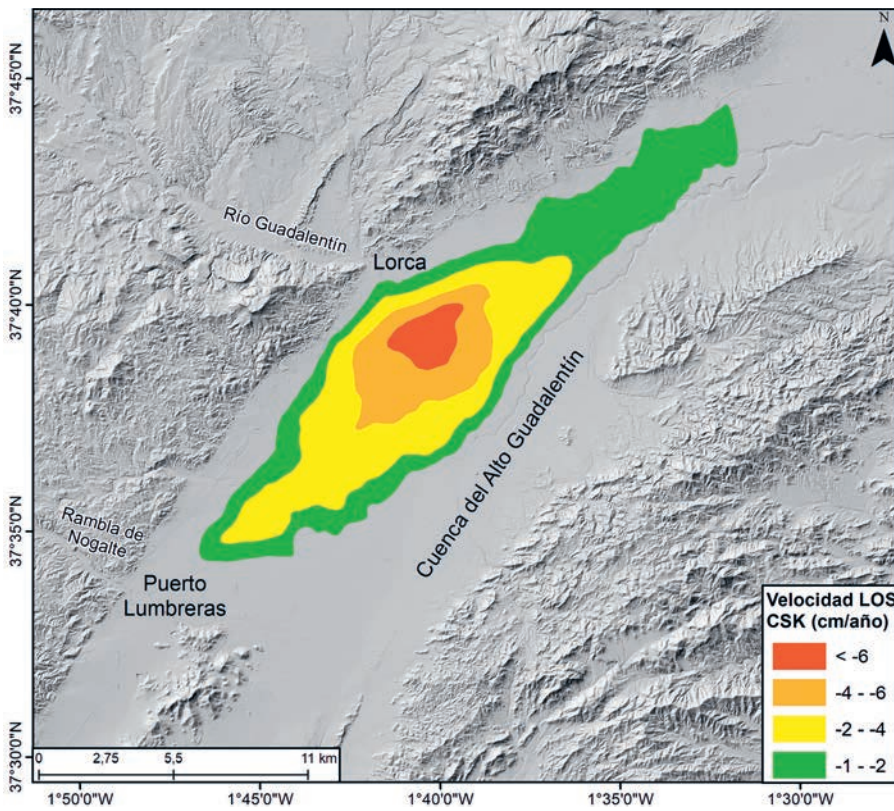


Figura 2. Subsistencia observada en la cuenca del Alto Guadalentín (Murcia) mediante el satélite COSMO-SkyMed para el periodo 2011-2016. Representa la zona con mayor tasa de hundimientos de Europa.

han dirigido y leído hasta el momento ocho tesis doctorales y se han publicado más de un centenar de artículos científicos en revistas SCI sobre las aplicaciones de estas tecnologías. Como hito relevante, cabe citar la creación en 2011 del Laboratorio Geohazards InSARLab, del IGME (<https://www.igme.es/insarlab/>), actualmente adscrito al grupo de investigación de Observación de la Tierra, Riesgos Geológicos y Cambio climático (OBTIER).

La colaboración con numerosas instituciones internacionales (destacando EuroGeoSurveys) y nacionales es muy intensa, lo que ha dado lugar a una veintena de estancias internacionales y nacionales. Cabe destacar la simbiosis del IGME con el Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC), organismo que ha contribuido notablemente a la formación de nuestro personal y con el que se ha ido de la mano en numerosos proyectos.

El abanico de peligros y procesos geológicos abordados por el IGME con las técnicas InSAR en las últimas dos décadas (2003-2024) ha sido muy amplio, así como las zonas de estudio españolas en las que se han aplicado. El siguiente cuadro resume esta versatilidad.

Tipo de proceso	Zonas de estudio con técnicas InSAR en España IGME, CSIC (2003-2024)
Subsidencia del terreno	Murcia; vega media y baja del río Segura (Murcia); cuenca del Guadalentín (Murcia); cuenca de Madrid; vega de Granada; Otura (Granada)
Terremotos	Lorca (2011), Granada (2021)
Deslizamientos	Valle de Tena (Huesca); serra de Tramuntana (Mallorca); Ibiza; Granada y costa de Granada, presa de Rules (Granada); Alpujarras (Granada); Arcos de la Frontera (Cádiz); islas Canarias
Volcanes	Erupción de La Palma (2021)
Labores mineras	Feixolín (León); Cobre de las Cruces (Sevilla); La Unión (Murcia)
Estructuras e infraestructuras	Puerto Barcelona; carretera Ma-10 (Mallorca)

Entre los innumerables trabajos, destaca la monitorización y modelación de la subsidencia de la cuenca del Guadalentín (Lorca, Murcia) inducida por la explotación intensiva del acuífero | fig. 2 | (Ezquerro *et al.*, 2017), que tiene el récord de presentar la mayor tasa de hundimientos de Europa por esta causa: 15 cm/año (Herrera *et al.*, 2021).

MIRANDO HACIA EL FUTURO

El programa Copernicus de la Unión Europea lanzó en 2022 el EGMS (European Ground Motion Service) basado en el análisis InSAR de las imágenes rádar obtenidas por los satélites Sentinel-1. Este programa representa una oportunidad sin precedentes para el estudio de los peligros geológicos y de todas aquellas actividades humanas que generan deformaciones en el terreno. El IGME ha incorporado el EGMS a su actividad cotidiana y participa en varios proyectos internacionales para implementar su uso y aplicaciones, incluyendo recientemente la aplicación de inteligencia artificial. Se abre así un panorama alentador para la geología en general y los riesgos geológicos en particular; una nueva visión desde el espacio de la dinámica de la Tierra.

BIBLIOGRAFÍA

- BRU, G., GONZÁLEZ, P. J., MATEOS, R.M., ROLDÁN, F. J., HERRERA, G., BÉJAR-PIZARRO, M., & FERNÁNDEZ, J. (2017). A-Dinsar monitoring of landslide and subsidence activity: A case of urban damage in Arcos de la Frontera, Spain. *Remote Sensing*, 9, 787. <https://doi.org/10.3390/rs9080787>
- EZQUERRO, P., TOMÁS, R., BÉJAR-PIZARRO, M., FERNÁNDEZ-MERODO, J. A., GUARDIOLA-ALBERT, C., STALLER, A., SÁNCHEZ-SOBRINO, J. A., & HERRERA, G. (2020). Improving multi-technique monitoring using Sentinel-1 and Cosmo-SkyMed data and upgrading groundwater model capabilities. *Science of the Total Environment*, 703, 134757. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134757>
- HERRERA, G., EZQUERRO, P., TOMÁS, R., BÉJAR-PIZARRO, M., LÓPEZ-VINIELLES, J., ROSSI, M., MATEOS, R. M., CARREÓN-FREYRE, D., LAMBERT, J., TEATINI, P., CABRAL-CANO, E., ERKENS, G., GALLOWAY, D., HUNG, W., KAKAR, N., SNEED, M., TOSI, L., WANG, H., & YE, S. (2021). Mapping the global threat of land subsidence. *Science*, 371, 34-36. <https://doi.org/10.1126/science.abb8549>

7. DEL ESTRATO
A LA MICROMUESTRA:
LA INTEGRACIÓN
DE ESCALAS
EN LOS ESTUDIOS
PALEOCLIMÁTICOS*

La paleoclimatología trata de reconstruir la evolución del clima a lo largo de la historia de la Tierra y los factores que lo determinan, y de manera especial, durante aquellos periodos o lugares en los que no existen datos instrumentales. Para ello utiliza las señales de los efectos del clima sobre los sistemas naturales. Estos indicadores (o *proxies*, en inglés) están contenidos en archivos de varios tipos (sedimentos, fósiles, hielo y anillos o bandas de crecimiento en flora y fauna). Los primeros estudios se remontan a la Antigüedad clásica y en Oriente cuando las rocas y los fósiles en ellas contenidos se consideraron como una indicación de las condiciones cambiantes de la Tierra. Estas primeras hipótesis permitieron un análisis de los cambios acontecidos a escala de millones de años. La necesidad de datos más precisos y de mayor resolución, para su uso en la predicción de los efectos del cambio climático actual, ha sido posible gracias a la aparición de nuevas técnicas analíticas y de datación, a enfoques pluridisciplinarios y a la cooperación en redes y equipos de investigación nacionales e internacionales (Past Global Changes, PAGES, 1991). Esto ha permitido el estudio de las interacciones entre la atmósfera, los océanos y los continentes desde las escalas orbitales a las milenarias y a las estacionales.

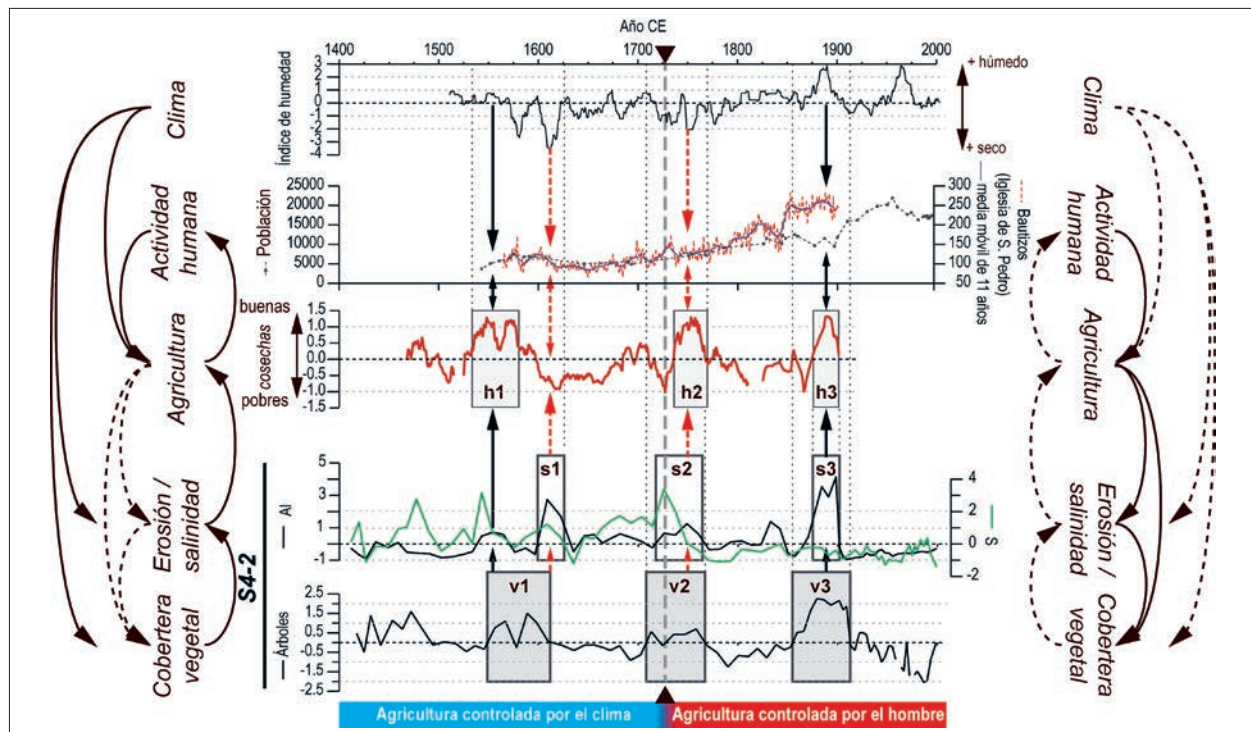
Las investigaciones paleoclimáticas en el IGME comenzaron en la segunda mitad del siglo XIX, destacando en ese aspecto el discurso de Casiano de Prado pronunciado en 1866 con motivo de su ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Prado, 1866); y continuaron a lo largo del siglo XX dentro de los Planes de Cartografía Geológica. Pero no es hasta inicios del siglo XXI

cuando se desarrollan estudios específicos sobre paleoclimatología. Así, a partir de 2002, equipos multidisciplinares liderados por el IGME y financiados por el Plan Nacional de I+D+i comenzaron a investigar registros paleoclimáticos con metodología *multiproxy*. Desde este momento, el IGME mostró un claro apoyo a esta área de conocimiento, adquiriendo equipamientos, adecuando laboratorios e incorporando especialistas. Durante estas dos décadas del siglo XXI, la investigación ha estado guiada por la certidumbre de que para poder diseñar medidas eficientes de mitigación y adaptación al cambio climático es necesario el conocimiento del clima pasado tanto como el actual. Por ello, se han realizado estudios paleoclimáticos, desde el análisis de los registros sedimentarios más recientes en tierra y mar al de los registros más antiguos, mediante la actividad propia del centro y la cooperación con equipos nacionales y extranjeros.

ARCHIVOS CUATERNARIOS DE ZONAS CONTINENTALES

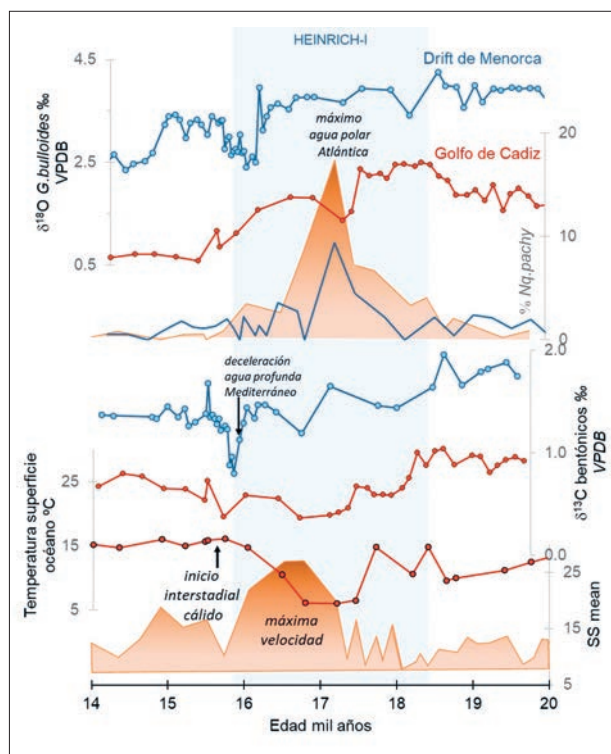
En el IGME, los estudios paleoclimáticos con una metodología *multiproxy* comenzaron en 2002 en el humedal fluvial que constituye el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel. En esta zona se ha estudiado la evolución del clima y sus relaciones con el medioambiente y el ciclo hidrológico, elaborando reconstrucciones de la aridez, temperatura, inundaciones y las interacciones entre clima-medioambiente-actividad humana, a escalas que varían de secular a anual, desde el Pleistoceno superior hasta la actualidad (Santisteban *et al.*, 2021). El amplio conjunto de indicadores y la buena resolución temporal de los datos, permite la comparación con series documentales estacionales y anuales, elaborar

* Contribución a los proyectos CTM2008-06399-CO4-02/MAR, PID2020-113664RB-I00 y PID2021-123917OB-I00 del Ministerio de Ciencia e Innovación.



▲ Figura 1. Reconstrucción de la interacción clima, medioambiente y actividad humana desde el siglo xv. Modificada de Santisteban et al. (2021).

◀ Figura 2. Intensificación de la MOW durante el evento climático polar Heinrich-1 a partir de la combinación de datos multiproxy. Modificada de Lebreiro et al. (2015).



series de muy alta resolución y observar cómo la evolución socioeconómica y tecnológica ha favorecido una mayor independencia de la actividad humana con respecto al clima al modificar sustancialmente los ciclos naturales | fig. 1 |.

A partir de la segunda década del siglo XXI, el IGME participa activamente con otros equipos nacionales e internacionales y los estudios paleoclimáticos se extienden a lagunas continentales (por ejemplo, laguna de Fuentillejo, laguna de Fuente de Piedra, lago de Enol, lago de Marboré, lagunas Reales) y costeras (tanto en la vertiente mediterránea como atlántica), ampliando las tipologías de humedal y zonas climáticas e incorporando los efectos de los cambios del nivel del mar desde el Último Máximo Glacial.

En el medio marino, los estudios sobre la variabilidad climática global a escala glacial-interglacial o milenaria, y particularmente localizados en el océano Atlántico, margen ibérico y mar Mediterráneo, arrancan en el IGME en 2005, con testigos del programa internacional IMAGES (alta tasa de sedimentación, alta resolución, aplicación de *multiproxies*). Un ejemplo de estos estudios muestra la intensificación del flujo superficial del agua mediterránea (MOW, Mediterranean Outflow Water) durante la última deglaciación en el evento polar extremo *stadial* Heinrich-1 (15,5-18,5 mil años). La variabilidad climática a escala milenaria se deduce de la velocidad de corriente (*proxysortable-silt*), el volumen de hielo polar y temperatura (isótopos de O), nutrientes y ventilación de las masas de agua oceánicas (isótopos de C), y temperatura del agua mediante funciones de transferencia de foraminíferos aplicada a análogos modernos (Lebreiro *et al.*, 2015) | fig. 2 |. Esto permite deducir que el colapso de las aguas profundas dentro del Mediterráneo y la expulsión del exceso de sal hacia el Atlántico contribuyeron a un aumento brusco de temperatura ($\Delta 10\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{ años}$) que desencadenó el siguiente *interstadial* cálido y frenó la circulación del Atlántico (AMOC), motor de distribución del calor en los océanos y en el planeta.

Un paso importante se produce a partir de 2009, cuando las investigadoras del IGME entran a participar en propuestas internacionales del Integrated Ocean Discovery Program, que reconstruyen la evolución climática de la MOW en los últimos 5 millones de años (Expedition-339, 2011) o la variabilidad climática milenaria de las aguas someras a profundas en el margen ibérico atlántico, retrocediendo a los últimos 13 millones de años (Expedition-397, 2022).

EL REGISTRO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS SERIES PREMIOCENAS

El estudio de las huellas dejadas por los cambios climáticos pasados en rocas sedimentarias y sus restos fósiles a dife-

rentes escalas temporales (de miles a millones de años) ha sido durante décadas uno de los objetivos de la actividad investigadora del IGME, a pesar de la dificultad de estudiar indicadores climáticos en el registro sedimentario antiguo, caracterizado muchas veces por ser discontinuo o alterado por procesos posdeposicionales. Esto ha permitido estudiar la impronta en las sucesiones estratigráficas de algunos hitos que ocurrieron en la historia del clima de la Tierra, como son los ciclos climáticos inducidos por variaciones en la órbita terrestre (Bádenas *et al.*, 2012) y los eventos hipertermales o de calentamiento climático abrupto. Entre estos últimos destacamos el estudio de algunos eventos del Jurásico (Toarciense inferior), Cretácico (Aptiense inferior y Albiense inferior) y Paleoceno-Eoceno (PTM, ELMO, MECO). Durante estos episodios las temperaturas medias fueron $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ más altas que las actuales y se produjeron cambios drásticos en los sistemas de depósito, sistemas oceánico y terrestre (elevación del nivel del mar, acidificación del agua, anoxia oceánica, extinciones en masa, cambios en la flora, etc.) y en los ciclos hidrológico y del carbono.

BIBLIOGRAFÍA

- BÁDENAS, B., AURELL, M., ARMENDÁRIZ, M., ROSALES, I., GARCÍA-RAMOS, J.C., & PIÑUELA, L. (2012). Sedimentary and chemostratigraphic records of climatic cycles in Lower Pliensbachian marl-limestone successions of Asturias (North Spain). *Sedimentary Geology*, 281, 119-138. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.08.010>
- LEBREIRO, S. M., ANTÓN, L., REGUEIRA, M. I., & MARZOCCHI, A. (2018). Paleocceanographic and climatic implications of a new Mediterranean Outflow branch in the southern Gulf of Cadiz. *Quaternary Science Reviews*, 197, 92-111. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.07.036>
- PRADO, C. de. (1866). [Enfriamiento del globo terráqueo en las épocas geológicas]. Discurso leído ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la recepción pública del Excmo. Señor D. Casiano de Prado. *Revista Minera*, 17, 275-294.
- SANTISTEBAN, J. I., CELIS, A., MEDIAVILLA, R., GIL-GARCÍA M.ª J., RUIZ-ZAPATA, B., & CASTAÑO, S. (2021). The transition from climate-driven to human-driven agriculture during the Little Ice Age in Central Spain: Documentary and fluvial records evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 526, 110153. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.110153>



UNA
INSTITUCIÓN
CON VOCACIÓN
INTERNACIONAL



1. ANTÁRTIDA:
CUATRO DÉCADAS
DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS
DEL IGME EN EL
CONTINENTE HELADO

El Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, firmado en Madrid en 1991 y comúnmente conocido como *Protocolo de Madrid*, designa a la Antártida como «reserva natural, consagrada a la paz y a la ciencia» (art. 2). La Antártida es un extenso continente de más de 13,6 millones de kilómetros cuadrados cubierto por un manto de hielo permanente con un espesor promedio de 2,3 km, aunque llega a alcanzar los 4,5 km, donde los afloramientos geológicos apenas suponen el 2 % de su superficie, y donde aún existen vastas áreas sin explorar de nuestro planeta. Su estudio representa uno de los grandes retos científicos de la actualidad, centrado en establecer el momento de su completo aislamiento que permitió el desarrollo de su casquete polar y los mecanismos que rigen su evolución pasada y futura, ya que la influencia global del continente antártico y su masa helada sobre la circulación oceánica, el clima y los cambios de nivel del mar es indiscutible.

La Antártida formaba hace unos 200 Ma parte de Gondwana, el supercontinente meridional con bosques tropicales caracterizado por temperaturas al menos 20 °C superiores a las actuales, y que se fragmentó durante el Mesozoico situándose en una posición polar desde el Cretácico Infe-

rior. El casquete polar antártico comienza a desarrollarse durante el Eoceno medio, en las Montañas Transantárticas, pero su mayor impulso comienza hace 34 Ma. Son diversas las causas que tratan de explicar este enfriamiento, pero principalmente pudo deberse a un importante descenso de los niveles de CO₂ y a la instauración e influencia de un nuevo patrón de circulación oceanográfica que terminó por aislar el continente Antártico. Este aislamiento es el resultado de la apertura de nuevos pasillos oceánicos, últimos obstáculos para la circulación dextrógira de la corriente circumpolar antártica. Estos pasillos son el estrecho de Tasmania, debido a la separación del continente australiano (60-45 Ma), y la más reciente apertura del paso de Drake, que separó Sudamérica de la península antártica, ligada al desarrollo del Arco de Scotia (35 Ma-actualidad).

La Antártida es una de las zonas más inhóspitas, aisladas y remotas de la tierra con un clima extremo con temperaturas medias de -44 °C en el interior y más moderadas, y medias de -10 °C en las zonas costeras. Esto implica que los estudios geológicos realizados supongan un extraordinario reto de medios técnicos y humanos, y elevadas inversiones económicas, que son financiados mayormente

por el Programa Polar Español (actualmente el MICINN a través de la Agencia Estatal de Investigación y la Secretaría General de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas). En muchas ocasiones son realizables únicamente a partir de programas internacionales de cooperación y los resultados que de ellos se obtienen son de gran relevancia en la zona emergida habida cuenta de las importantes limitaciones de afloramientos y las hostiles condiciones climatológicas, aunque se desarrollen las campañas en la época del verano austral. Del mismo modo, las extremas condiciones meteorológicas, dificultades en la navegación y de acceso por la barrera de hielo han condicionado que los datos de geología y geofísica marina alrededor del continente sean escasos en comparación con otros márgenes continentales, lo que requiere la integración de los nuevos datos obtenidos en colaboraciones, compilaciones y repositorios internacionales para un mejor aprovechamiento de los mismos.

La presencia del IGME en expediciones antárticas se inició en el verano austral de 1985-1986 en las islas Vega y James Ross (península antártica oriental). Desde entonces varias decenas de investigadores han participado y liderado más de medio centenar de campañas oceanográficas y terrestres en diferentes buques polares, bases antárticas españolas y de otros países, y en campamentos temporales, con una importante y variada producción científica que da comienzo en 1992. Las principales áreas de investigación se han centrado en la península antártica, los archipiélagos de las islas Shetlands del Sur, destacando las islas Decepción, Livingston, Elefante y Rey Jorge, y de James Ross (islas Marambio, James Ross y Cerro Nevado), las islas Orcadas del Sur, el margen continental occidental de la península, el estrecho de Bransfield, el Paso de Drake y los mares de Scotia y Weddell. Cabe señalar que en las dos primeras décadas de actividad se ha colaborado activamente en más de una docena de proyectos nacionales liderados por los destacados equipos de Andrés Maldonado (Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra del CSIC-Universidad de Granada) en el ámbito oceanográfico y de Jerónimo López (Universidad Autónoma de Madrid) en el ámbito terrestre. El apartado de proyectos liderados propios es también muy extenso con al menos una quincena de proyectos del Plan Nacional, inclu-

yendo las extintas Acciones Complementarias, desde el año 2000. El IGME además desarrolló a partir de 2004 un plan propio de Investigaciones Geológicas y Cartografía Geológica y Geomorfológica en la Antártida que ha conducido, en virtud al convenio del Programa de Cooperación entre la Dirección Nacional del Antártico-Instituto Antártico Argentino y el IGME, a la Serie de Cartografía Geocientífica en la Antártida. De esta colaboración se han producido y editado los mapas antárticos con memoria científica *Geología y geomorfología de isla Marambio (Seymour)* (escala 1:20 000) y *Geología y geomorfología de bahía Esperanza* (escala 1:10 000). Desde su creación en 1999 hasta 2021, el Centro Nacional de Datos Polares ha residido en el IGME, fruto del compromiso adquirido con la firma de España del Tratado Antártico en 1991, y cuyo cometido es la gestión de los metadatos y datos generados por las investigaciones españolas en el ámbito polar, tanto en la Antártida como en el Ártico, con el fin de garantizar su preservación, acceso y distribución.

En la región emergida los estudios se han centrado en la evolución geológica desde la etapa gondwánica hasta la actualidad, abordando aspectos donde el IGME ha sido en muchos casos pionero, como estudios de geología estructural y de determinación del campo de esfuerzos, que proporcionan una información de la evolución tectónica de este sector; estudios de estratigrafía, magnetoestratigrafía, paleomagnetismo y petrología que ayudan a contextualizar de un modo más preciso en la escala temporal del desarrollo de las diferentes cuencas generadas y de establecer la historia de sus rellenos sedimentarios y de los procesos ígneos y metamórficos que les afectaron durante su evolución geodinámica | fig. 1 |; estudios de geomorfología a través de distintos procesos modeladores del paisaje que permiten establecer variaciones climáticas; estudios de geofísica, que permiten identificar la geometría y naturaleza de las rocas; y estudios de hidrogeología, que permiten establecer el modelo de funcionamiento de los sistemas hidrológicos tan particulares de estas zonas cuyo subsuelo permanece helado gran parte del año y que durante el período estival se descongela dando lugar a acuíferos muy dinámicos.



Figura 1. Campamento de Investigación Geológica GeoMarambio. Isla Marambio (Seymour). Al fondo la isla Cockburn. Fotografía: Manuel Montes.

En el ámbito marino se ha participado o liderado al menos una docena de campañas oceanográficas, fundamentalmente a bordo del BIO Hespérides | fig. 2 |, con obtención de nuevos datos geofísicos (sísmicos profundos y someros, gravimétricos, magnéticos y batimétricos) y geológicos (testigos de gravedad y rocas), en áreas apenas exploradas. Los aspectos fundamentales de estos estudios son los siguientes: los procesos geodinámicos de tectónica de placas que dieron lugar a la separación de la península antártica y Sudamérica, el desarrollo del Arco de Scotia y del estrecho de Bransfield, así como de los márgenes continentales de la península antártica y el microcontinente de las Orcadas

del Sur, atendiendo especialmente a la geometría y naturaleza de las estructuras tectónicas con actividad reciente, así como a los mecanismos de formación y expansión de cuencas oceánicas; los estudios paleoclimáticos y paleoceanográficos en relación con la evolución de relleno sedimentario y los depósitos contorníticos por corrientes de circulación profunda como la corriente circumpolar antártica entre otras, durante y tras la apertura del Paso de Drake; el estudio de procesos de hidrotermalismo submarino y las biomineralizaciones relacionadas con la actividad de organismos extremófilos; y la caracterización de procesos de desestabilización de taludes y de transporte en masa causados por la actividad sísmica, los avances y retrocesos del frente glaciar y la dinámica de fluidos.

La participación de investigadores del IGME en comités internacionales, grupos de trabajo y programas científicos del Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), y en el comité y delegación nacional, es muy destacada. En concreto se ha participado y se forma parte de grupos de trabajo del ámbito de las geociencias, como el International Bathymetric Chart of the Southern Ocean Project (IBCSO), el Antarctic Seismic Data Library System (SDLS), el Geological Heritage and Geoconservation, Geological Mapping expert group o el Antarctic Digital Magnetic Anomaly Map (ADMAP), entre otros, así como en los programas científicos pasados —PAIS, SERCE— y actuales, como INSTANT (Instabilities & Thresholds in Antarctica). El IGME ha colaborado en la preparación, organización y participación en los comités científicos de diferentes congresos, simposios nacionales y talleres nacionales e internacionales, destacando la coorganización con el MNCN (CSIC) del IX Simposio de Estudios Polares celebrado en la sede central del CSIC (2018). Desde 2022, seis grupos de investigación del IGME forman parte de la Plataforma Temática Interdisciplinar POLARCSIC-Observatorio de zonas polares: Horizonte 2050.



Figura 2. BIO Hespérides en el Mar de Weddell. Campaña POWELL2020 del IACT/IGME (CSIC). Proyecto CTM2017-89711-C2-1/2-P financiado por MCINN/AEI.



2. EL DESARROLLO
DE LA GEOLOGÍA Y LA MINERÍA
EN LA REPÚBLICA DOMINICANA
COMO EJEMPLO DE LA ACCIÓN
INTERNACIONAL DEL IGME
EN IBEROAMÉRICA*



La acción internacional del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la cooperación con el Servicio Geológico Nacional (SGN) dominicano han jugado un papel primordial en el desarrollo de la geología y minería en la República Dominicana durante los últimos treinta años. Los campos de cooperación han sido muy variados, abarcando desde el desarrollo de proyectos científicos-técnicos, el intercambio de información geocientífica, la capacitación profesional y la divulgación de los resultados a la comunidad científica, dirigido a los agentes económicos y políticos, y a la sociedad en general. Los trabajos fueron financiados tanto con recursos económicos propios de cada país como a través de donaciones de agencias e instituciones de cooperación internacional. Los temas abordados han sido la cartografía geológica, la minería, las aguas subterráneas, los procesos geológicos activos, el patrimonio geológico, los sistemas de información geológica y el fortalecimiento institucional.

Esta acción se inició en el año 1995, cuando la Unión Europea acometió el desarrollo del Programa SYSMIN I para países de África-Caribe-Pacífico, cuyo objetivo era dotarles de una base infraestructural que posibilitara el desarrollo sostenible del sector minero. En la República Dominicana se trataba de invertir la evolución entonces desfavorable del sector, mediante el cumplimiento de objetivos como poner en explotación por el sector privado los recursos minerales conocidos, la generación de una infraestructura de conocimiento para la localización de nuevos recursos, realizar una mejor gestión medioambiental de la minería y aumentar

la protección de la población frente a los riesgos naturales. Para cumplir estos objetivos se desarrollaron proyectos entre 1996 y 2004, dotados con una financiación de 23 M€ del Fondo Europeo para el desarrollo, en los que la cooperación del IGME con el SGN consistió en la realización de las cartografías geotemáticas de los sectores este y suroeste del país, así como una evaluación de la contaminación en las antiguas instalaciones mineras de oro de Pueblo Viejo. Paralelamente, se abordaron proyectos de reforma de la legislación dominicana que permitieran un desarrollo armónico y competitivo de la minería. Para la formación del personal del SGN se organizaron más de setenta cursos en temas muy variados, incluyendo la edición digital de mapas y la evaluación económica de proyectos. En las diversas actividades participaron decenas de personas, incluyendo también técnicos del Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) y de varias empresas de consultoría. Hay que destacar que el 65 % del presupuesto del SYSMIN I se destinó a dotar al país de una infraestructura básica geológico-minera, que constituyó después el punto de partida para la realización de proyectos de explotación viables.

La cooperación SGN-IGME continuó con el Programa SYSMIN II de la UE entre 2005 y 2011, con una nueva aportación de 30 M€. Los proyectos se orientaron a la realización de actividades de fortalecimiento institucional, provisión de datos geocientíficos, medidas de remediación ambiental y de apoyo a la minería artesanal. Los proyectos de fortalecimiento consistieron en la creación formal del SGN, la implantación de un sistema informático para la administración de títulos mineros y la generación de cartografías geotemáticas. Se buscó organizar el SGN tomando

* Contribución al Proyecto PID2019-105625RB-C22 del MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

como ejemplo los servicios geológicos europeos, formando expertos en las funciones a desarrollar y proporcionando los equipos necesarios para comenzar la actividad. En 2010 se completó la infraestructura geocientífica para todo el país, con la realización de las hojas geológicas a escala 1/50 000, y los mapas de recursos minerales, geomorfológicos y de procesos activos a escala 1/100 000, así como la exploración geoquímica con toma de más de 12 000 muestras de sedimentos y bateas, junto con las correspondientes memorias e informes complementarios. El apoyo a la minería artesanal estuvo dirigido a las pequeñas empresas y cooperativas, dedicadas fundamentalmente a actividades mineras no metálicas (yacimientos de piedras semipreciosas), para estimular su crecimiento económico, la generación de empleo y el desarrollo humano y social. En el SYSMIN II se llevó a cabo también la microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de los Caballeros, situada próxima a la denominada *falla Septentrional*, capaz de generar terremotos de magnitud 7,5. Este estudio fue ejecutado por el consorcio IGME-BRGM-INYPSA (Informes y Proyectos S. A.) y consistió en la obtención de datos geológicos, geotécnicos y geofísicos muy detallados que permitieron establecer varias zonas según los efectos de sitio, útiles en la gestión del riesgo sísmico y la ordenación del territorio.

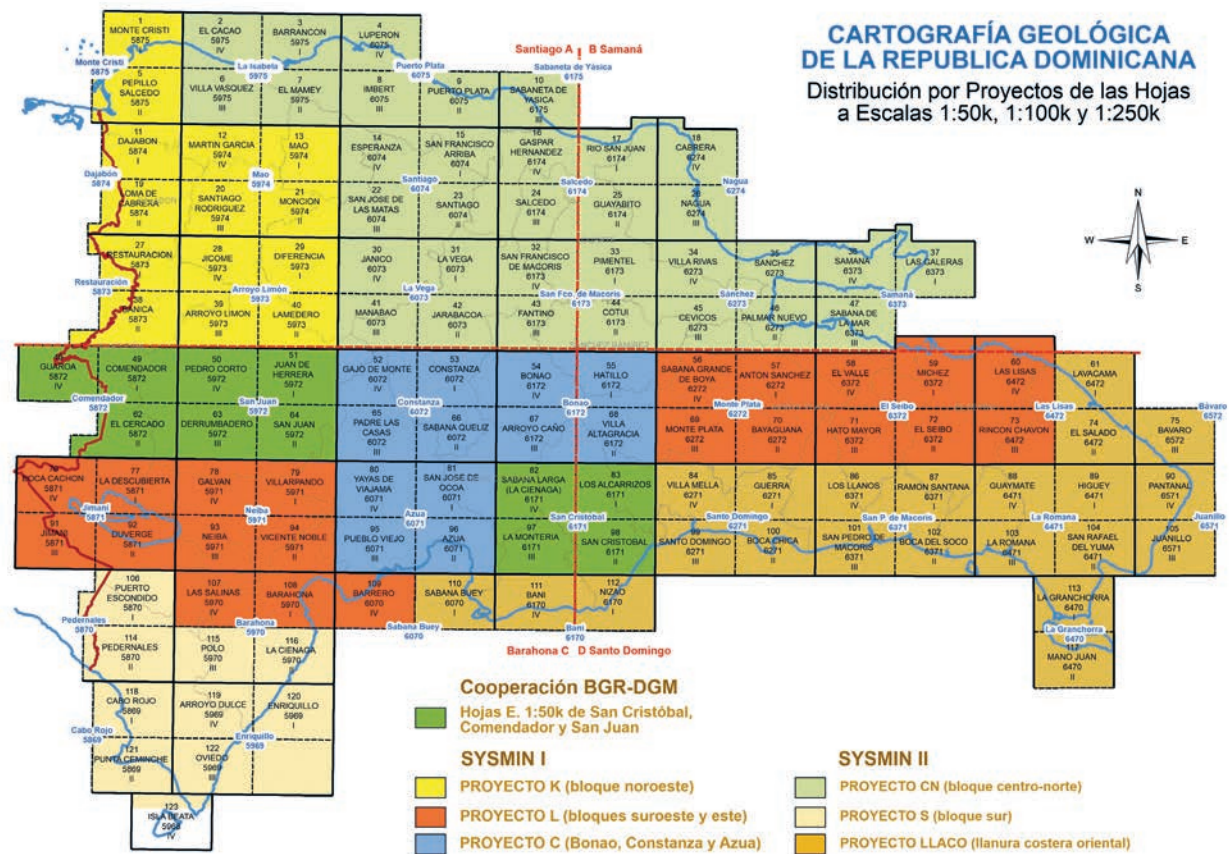
La colaboración SGN-IGME continuó posteriormente con los estudios de la amenaza sísmica y la vulnerabilidad física del Gran Santo Domingo, financiados por el Programa PNUD 2012-2016. En este proyecto participaron también el BRGM y el CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), buscando fortalecer las capacidades institucionales nacionales y locales para la prevención de desastres, la regulación del sector de construcción, la planificación urbana y el ordenamiento del territorio urbano.

La acción internacional del IGME ha tenido también lugar a través de los sucesivos Proyectos ARCO, en los que ha recibido del Plan Nacional de I+D español, entre 2002 y 2023, una subvención acumulada de 0,72 M€. En estos proyectos participaron también científicos del actual Instituto de Geociencias Barcelona (GEO3BCN, CSIC) y de las universidades Complutense de Madrid, Internacional de Florida y Laussane de Suiza, entre otros. Estos proyectos

aprovecharon la infraestructura geocientífica ya obtenida y abordaron los procesos magmáticos de generación y evolución de un arco isla intraoceánico, así como los procesos tectonometamórficos y sedimentarios asociados a la posterior colisión del arco con el margen continental de América del Norte, los cuales resumen la historia geológica fundamental de la República Dominicana. Los resultados obtenidos sobre el origen de las rocas ígneas y metamórficas que constituyen la cordillera Central y Oriental, así como las que forman los complejos de Samaná, Río San Juan y Puerto Plata en la cordillera Septentrional, han sido presentados en numerosos congresos y seminarios nacionales e internacionales, como la 18th Caribbean Geological Conference celebrada en Santo Domingo en 2008, así como objeto de numerosas publicaciones en revistas científicas de primer nivel. Mención especial es la publicación en el *Boletín Geológico y Minero*, en 2017, de un monográfico sobre la «Geología y minería de la República Dominicana», en memoria del profesor Andrés Pérez-Estaún, que fue un gran impulsor de la geología del país. El monográfico incluye catorce trabajos que documentan los últimos avances obtenidos en el estudio de los procesos ígneos, metamórficos, tectónicos, geomorfológicos, mineralógicos o metalogenéticos.

La colaboración SGN-IGME continúa en la actualidad con varios proyectos consorciados, financiados tanto por el Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad español, como por el FONDOCYT del Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología dominicano. Los temas abordados en estos proyectos son la geodinámica, la neotectónica y las fallas activas en sectores de riesgo sísmico o de grandes deslizamientos del terreno, así como la metalogenia asociada a arcos volcánicos, con el objetivo de proporcionar nuevos criterios y metodologías para la exploración de minerales críticos (PGE, Cr, Co, Sc) preservados en las zonas de colisión arco-continente.

Previsiblemente, la colaboración SGN-IGME continuará en un futuro próximo con nuevas propuestas de proyectos presentadas a diversas convocatorias en temáticas que buscan soluciones a la amenaza sísmica y al suministro de minerales/metales críticos y estratégicos en la transición a tecnologías de energía limpia.



Como logros, la acción del IGME en la República Dominicana ha contribuido 1) a la creación en 2010 por Ley del SGN como un organismo autónomo; la modernización del catastro minero y el establecimiento de normas de seguridad y prevención en la minería; 2) a la realización de la cartografía geológica de todo el territorio | fig. 1 |, resultando ser el primer país de América en disponer de esta base de información geocientífica a una escala tan detallada; 3) a la obtención de importantes avances en el conocimiento científico de los procesos de colisión arco-continente; 4) al acceso Web a la información geocientífica como apoyo a la inversión nacional e internacional; 5) que la minería sea un sector de rápido crecimiento en la economía dominicana, constituyendo el 4.5 % del PIB en 2020; 6) a la remedia-

ción del impacto ambiental histórico y nueva puesta en marcha de la mina de Pueblo Viejo (9.ª mundial en tamaño); 7) a la zonación sísmica de Santiago de los Caballeros y Santo Domingo, beneficiando a más de 3 500 000 de personas; 8) y al aumento de la producción y los beneficios económicos en las cooperativas artesanales de ámbar y la rímar, llegando en algún caso hasta el 200 %. La acción del IGME en la República Dominicana constituye, por tanto, un excelente ejemplo de cooperación en Iberoamérica.

▲ Figura 1. Mapa de la República Dominicana mostrando la distribución de hojas a las escalas 1:250 000, 1:100 000 y 1:50 000, así como los bloques de mapas geológicos realizados en las sucesivas etapas del Proyecto SYSMIN de la UE.

3. DIPLOMACIA CIENTÍFICA:
EL IGME EN EL PROCESO
DE AMPLIACIÓN DE
LA PLATAFORMA CONTINENTAL
DE ESPAÑA ANTE LA ONU

Desde el 2005, el Instituto Geológico y Minero de España coordina los trabajos científico-técnicos para la ampliación de la plataforma continental española siguiendo los criterios establecidos por la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (en adelante la Convención). Conforme al artículo 76 de la Convención, los Estados tienen derecho a extender sus límites exteriores de la plataforma continental más allá de las 200 millas náuticas (límite de la zona económica exclusiva o ZEE), pudiendo alcanzar hasta 350 millas náuticas o hasta las 100 millas náuticas desde la isobata de 2500 m. Para ello, se requiere presentar ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLPC) de las Naciones Unidas (ONU) una serie de datos geológicos de los fondos y subsuelo marinos que confirmen el cumplimiento de los reglas y restricciones contenidas en el artículo 76 de la Convención | fig. 1 |. De esta forma y conforme a la Convención, los Estados que presenten dichas propuestas científicas y que sean aprobadas por la CLPC tendrán derechos de exploración y explotación en su plataforma continental ampliada sobre «los recursos minerales y otros recursos no vivos del lecho del mar y su subsuelo,

así como los organismos vivos pertenecientes a especies sedentarias...» (BOE, n.º 39, de 14.02.1997).

España ha presentado tres propuestas ante la ONU con el objeto de ampliar su plataforma continental en el golfo de Vizcaya y mar Céltico, en Galicia y en las islas Canarias (Somoza *et al.*, 2009a, 2009b; Somoza & Medialdea, 2017). El Instituto Geológico y Minero de España ha coordinado, desde su inicio, el grupo de trabajo que ha elaborado dichas propuestas científico-técnicas, y que está compuesto asimismo por personal del Instituto Español de Oceanografía y del Instituto Hidrográfico de la Marina del Ministerio de Defensa. Por otra parte, el Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación coordina, a través del presidente de la Comisión de Límites con Francia y Portugal y de la Asesoría Jurídica Internacional, las relaciones multilaterales y los aspectos jurídicos relacionados con Francia, Irlanda, Reino Unido, Portugal, Sahara Occidental y Marruecos. La Misión Permanente de España ante las Naciones Unidas en Nueva York coordina las reuniones con la Subcomisión de la CLPC que se realizan en la División de Asuntos Oceánicos y del Derecho del Mar de la ONU.

Sectores marítimos	Propuesta extensión en km ²	Estado y acciones previstas ante Naciones Unidas
Mar Cantábrico-mar Céltico	78 916	2006: Registrada y presentada ante la ONU. 2009: Aprobada por la CLPC. 2010-2011: Conversaciones científico-técnicas para la división de la zona FISU entre Francia, Irlanda, España y Reino Unido.
Galicia	41 500	2009: Registrada ante la ONU. 2010: Presentada formalmente en la ONU. 2019: Asignación de la Subcomisión de la CLPC en Nueva York. 2021-2023: Defensa científico-técnica en la Subcomisión.
Islas Canarias	296 500	2014: Registrada ante la ONU. 2015: Presentada formalmente ante la ONU.

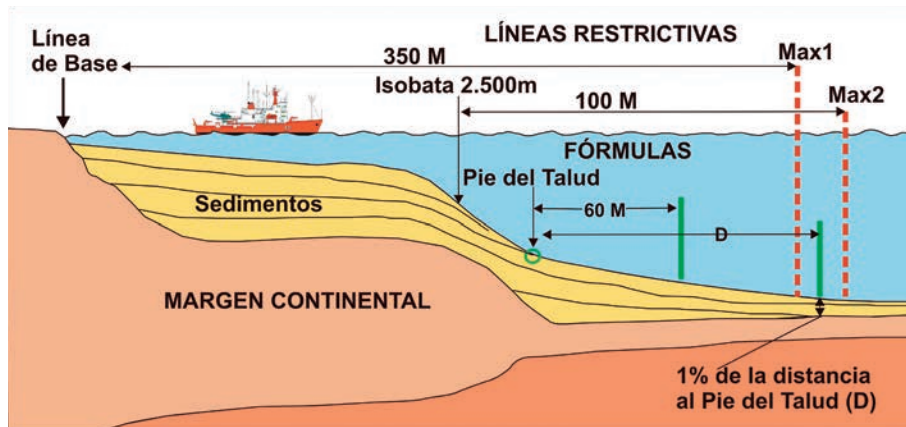


Figura 1. Fórmulas (líneas verdes) y restricciones (líneas rojas) para la ampliación de la plataforma continental con arreglo al artículo 76 de la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Somoza & Medialdea, 2017).

La elaboración de las propuestas presentadas ante la ONU | fig. 2 | ha conllevado la organización y realización de siete campañas oceanográficas desde 2005 denominadas: BREOGHAM-2005, ESPOR-2007, DRAGO-2008, GAROÉ-2010, GAIRE-2011, AMULEY-2012 y SUBVENT-2013 a bordo de los buques oceanográficos Hespérides, Sarmiento de Gamboa y Miguel de Oliver. En dichas campañas se obtuvieron numerosos datos de batimetría multihaz, perfiles sísmicos multicanal y muestras del fondo marino de Galicia, mar Céltico e islas Canarias con vistas a cumplir los requerimientos científico-técnicos de la CLPC de la ONU.

La primera propuesta de España fue presentada oficialmente en 2006 conjuntamente con Francia, Irlanda y Reino Unido entre el Mar Céltico y el noroeste de Galicia. Dicha propuesta, denominada FISU por las iniciales de los estados en inglés (France, Ireland, Spain, United Kingdom) y aprobada por Naciones Unidas el día 24 de marzo de 2009, ha supuesto una zona de 78 916 km² de plataforma continental ampliada al noroeste de Galicia. En el año 2010 se iniciaron las conversaciones multilaterales para la división de dicha plataforma continental ampliada FISU entre los cuatro estados. A España le correspondería, teniendo en cuenta la equidistancia junto con una división equitativa de áreas comunes, un 30 % de dicha área FISU es decir una extensión de 23 675,4 km² de plataforma continental. La segunda propuesta de ampliación que se realizó fue en el área al oeste de Galicia. La documentación científico-téc-

nica se registró el 11 de mayo de 2009 ante la ONU y la Subcomisión para examinar dicha propuesta se constituyó en 2019. Con la parte de propuesta aprobada hasta el 2023, España se asegura la extensión al oeste de Galicia en más de 20 000 km². La tercera propuesta de ampliación se presentó al oeste de las islas Canarias. La documentación de dicha propuesta fue registrada en 2014, y la presentación formal ante la ONU se realizó en Nueva York en 2015. Esta propuesta es la que puede suponer la mayor ampliación de plataforma continental española con una extensión presentada de 296 500 km².

Como conclusión hay que destacar que actualmente España tiene asegurada una ampliación de 43 675,4 km² en Galicia y golfo de Vizcaya. Como referencia, Galicia tiene una extensión de 29 575 km², por lo ampliación supondría añadir casi dos Galicias más allá de la ZEE española. A esta extensión, se podrían sumar las zonas todavía en proceso de defensa, así como la propuesta de ampliación de las islas Canarias. La importancia de este proceso de ampliación de la plataforma continental resulta evidente si consideramos que la España «emergida» tiene una extensión de 505 370 km, y que el proceso de ampliación puede llegar a alcanzar 431 416 km. Esto supondría ampliar un 85 % la extensión de territorio marítimo a los efectos tanto de exploración como de conservación de nuestros recursos naturales marinos conforme a la Convención.

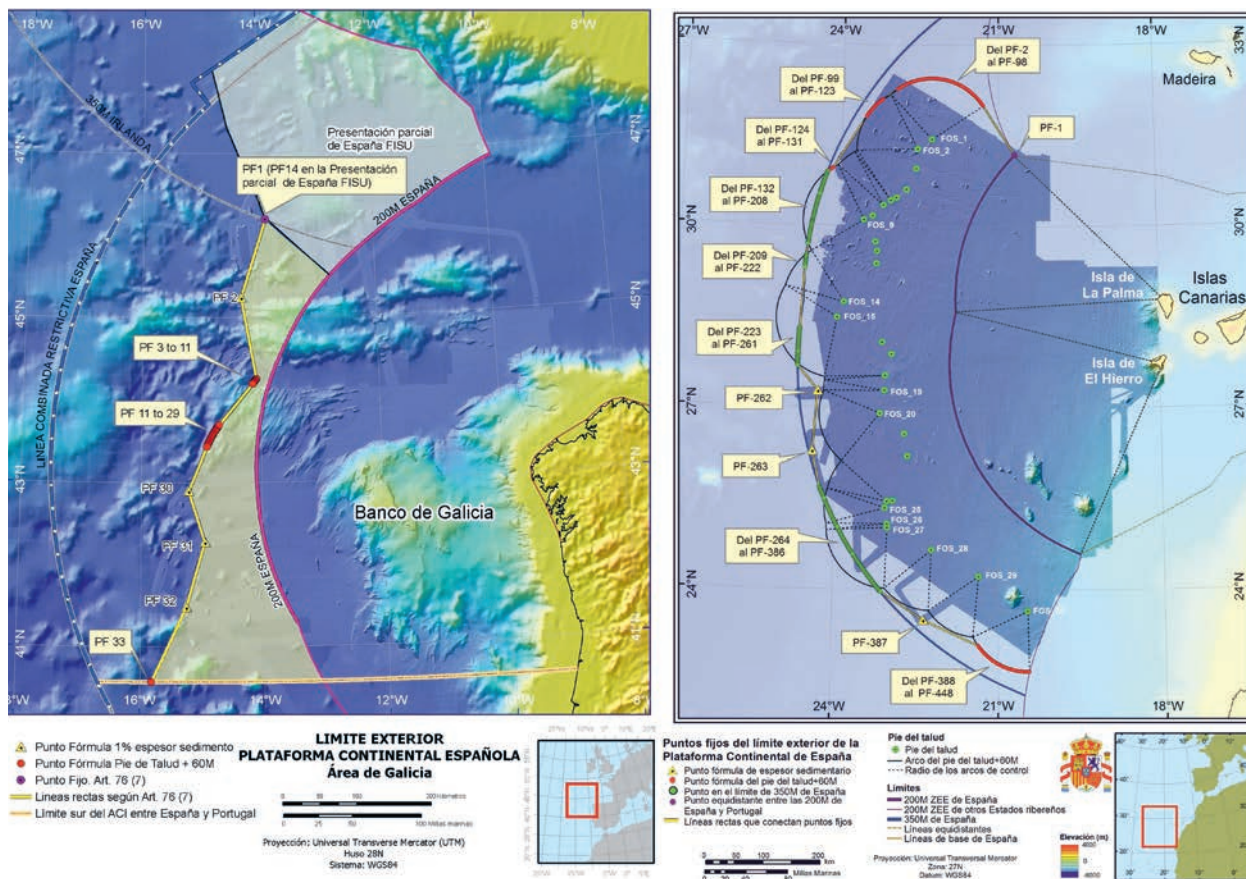


Figura 2. Propuestas de ampliación de la plataforma continental de España presentadas ante las Naciones Unidas. Izquierda, golfo de Vizcaya/mar Céltico y área oeste de Galicia. Derecha, área oeste de las islas Canarias (https://www.un.org/depts/los/clcs_new/commission_submissions.htm).

BIBLIOGRAFÍA

- SOMOZA, L., & MEDIALDEA, T. (2017). La ampliación de la plataforma continental en España. En R. García Pérez, P. Neves Coelho, & T. Ferreira Rodríguez (Eds.), *A Extensao das plataformas Continentais. Portugal e Espanha, Perspetivas e realidades* (pp. 61-84). Fronteira do Caos Editores.
- SOMOZA, L., MEDIALDEA, T., LEÓN, R., VÁZQUEZ, J. T., FERNÁNDEZ-SALAS, L. M., RENGEL, J., BOHOYO, F., GONZÁLEZ, F. J., DÍAZ DEL RÍO, V., & HERNÁNDEZ-MOLINA, F. J. (2009a). Extensión de la plataforma continental española en el margen de Galicia con arreglo al artículo 76 de la Convención de

- las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (1982). En G. Flor Rodríguez, J. Gallastegui, G. Flor Blanco, & J. Martín Llana (Eds.), *Nuevas Contribuciones al Margen Ibérico Atlántico* (pp. 213-216). Universidad de Oviedo.
- SOMOZA, L., MEDIALDEA, T., RENGEL, J., LEÓN, R., VÁZQUEZ, T., BOHOYO, F., & GONZÁLEZ, F. J. (2009b). Extensión de la plataforma continental española en el Golfo de Vizcaya y Mar Céltico con arreglo al artículo 76 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (1982). En G. Flor Rodríguez, J. Gallastegui, G. Flor Blanco, & J. Martín Llana (Eds.), *Nuevas Contribuciones al Margen Ibérico Atlántico* (pp. 209-212). Universidad de Oviedo.

4. LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO



En el marco de la cooperación internacional y la ayuda al desarrollo, el IGME ha venido trabajando en diferentes proyectos en el ámbito de Iberoamérica y África desde hace décadas, además de la colaboración con los servicios geológicos y de acciones de cooperación en países como Perú, Venezuela y Ecuador. Algunos investigadores del IGME han trabajado en cooperación con el Servicio Geológico Minero de Bolivia, la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y la empresa estatal Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB). Todo ello con financiación española de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), francesa del Institut de Recherche pour le Développement (IRD) y del Banco Mundial. En el año 2015 se llevó a cabo un asesoramiento a la UTE SADIM-AITEMIN, en la confección de mapas temáticos y cursos de formación en Argentina, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). También cabe destacar el «Estudio de la amenaza sísmica y de la vulnerabilidad física de Santo Domingo», financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Europe Aid (2013-2015). El IGME es un colaborador habitual, a través de diferentes fórmulas, de la ONGD española Geólogos del Mundo-World Geologist, muy relacionada con el Colegio Oficial del Geólogos.

En Bolivia, el IGME ha liderado dos proyectos obtenidos en convocatorias competitivas de la AECID. Entre los años 2011 y 2013, el consorcio IGME-UMSA, con la cola-

boración de las universidades de Granada y Jaén, llevó a cabo el proyecto «Investigación del arsénico natural en las aguas subterráneas de abastecimiento humano en el Altiplano Central de Bolivia: fuentes, mecanismos de movilización y métodos de remoción» (AECID 11-CAP2-1282). Unos años más tarde, se desarrolló el proyecto «Detección y remoción de arsénico natural en áreas desfavorecidas con abastecimientos de aguas subterráneas (Bolivia)» (2016/ACDE/001442), en el que el consorcio se estableció entre el IGME, las universidades bolivianas UMSA y Privada Boliviana (UPB), y la ONGD Geólogos del Mundo, con la colaboración de la Escuela Politécnica de Montreal (Canadá). En este proyecto se amplió sustancialmente el conocimiento de la calidad de las aguas subterráneas en Bolivia, y se construyó una planta piloto | fig. 1 | para la remoción de arsénico en agua de abastecimiento humano (Escalera *et al.*, 2020).

Por otro lado, entre 2009 y 2010, se realizó el proyecto «Contribución a la mejora del conocimiento hidrogeológico del acuífero kárstico del Haouz (Tetuán, Norte de Marruecos)», financiado por la AECID, en colaboración con investigadores de diversas universidades marroquíes.

En los últimos años, cabe destacar el «Acuerdo de Encomienda de Gestión entre el Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación, y el Instituto Geológico y Minero de España, para el diagnóstico y plan de actuación para la explotación sostenible del acuífero del



Figura 1. Acto de entrega de foto-reactor para la remoción de arsénico en aguas subterráneas en el abastecimiento de Quillacas (sur del Lago Poopó, Altiplano de Bolivia). A la derecha, panorámica de la zona. Autor: José Luis García Aróstegui.

Valle de Ciudad de Guatemala», llevado a cabo por la filial tecnológica del Grupo TRAGSA (TRAGSATEC) y dirigido por investigadores y técnicos del IGME. Este estudio, finalizado en agosto de 2023, ha significado un gran avance en el conocimiento del gran acuífero vulcano-sedimentario que rellena la fosa tectónica donde se ubica la ciudad de Guatemala.

Otro aspecto significativo en la cooperación internacional ha sido la Red CYTED sobre Siembra y Cosecha de Agua en Espacios Naturales Protegidos. Liderada por un científico del IGME, que ha trabajado entre 2020 y 2023 en el estudio de diferentes sistemas ancestrales en España y América de recarga artificial. En ella han participado investigadores y técnicos de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, México, Perú y España.

En cuanto a actividades formativas relacionadas con la cooperación internacional para el desarrollo, el IGME cuenta con una dilatada experiencia tanto en el ámbito de Iberoamérica y el Caribe como en África. En el primer caso, ha colaborado con la AECID impartiendo distintos cursos

desde los Centros de Formación para la Cooperación Española que la AECID tiene en el ámbito iberoamericano. Esta colaboración arranca en 2001, y desde ese año hasta finales de 2022, el IGME ha organizado 31 actividades de formación con la AECID, tanto presenciales como virtuales, de las cuales 21 de ellas han abordado distintos aspectos relacionados con las aguas subterráneas. A esta veintena de actividades, han asistido cerca de 750 participantes procedentes de 15 países iberoamericanos | fig. 2 |. Tanto los cursos presenciales como los virtuales han tenido una carga docente de 35 a 40 horas lectivas, y se han desarrollado a lo largo de una semana (cursos presenciales) y tres semanas (cursos virtuales).

Respecto a las actividades formativas en África, destaca la participación del IGME en las dos fases del proyecto PanAfGeo, financiadas por la Unión Europea con más de 19 millones de euros, con el objetivo de promover la mejora del conocimiento y la gobernanza en los institutos geológicos africanos. En la primera fase (2016-2019), el IGME lideró el paquete de trabajo de «Patrimonio geológico»



Figura 2. Ponentes y participantes en el Centro de Formación de la Cooperación Española de Santa Cruz de la Sierra (Bolivia), donde tuvo lugar la 2.ª edición del curso presencial titulado «Treinta años de Ley de Aguas española: intercambio de experiencias en temas relacionados con las aguas subterráneas», del 2 al 6 de octubre de 2017. Autor: Juan María Fornés Azcoiti.



Figura 3. Parte del grupo de profesionales de países africanos lusófonos (Angola, Cabo Verde, Mozambique y Santo Tomé y Príncipe) que participaron en el curso sobre «Patrimonio geológico» del proyecto PanAfGeo-2 que tuvo lugar en Lubango (Angola), del 29 de mayo al 3 de junio de 2023. Autor: Enrique Díaz Martínez.



realizando cinco cursos (Madagascar, Marruecos, Mozambique, Namibia y Tanzania) y también participó en uno de los cursos (Etiopía) del paquete de trabajo de «Cartografía geológica». En la segunda fase (2021-2024), ha intervenido en los tres cursos de patrimonio geológico (Angola, Botswana y Congo) del paquete de trabajo (WP-D) de «Nuevas fronteras en geociencias» | fig. 3 |. En estos cursos han participado más de 150 profesionales procedentes de más de 20 países africanos (Díaz-Martínez *et al.*, 2019).

BIBLIOGRAFÍA

DÍAZ-MARTÍNEZ, E., GARCÍA-CORTÉS, Á., VEGAS, J., CARCAVILLA, L., & CHARLES, N. (2019). Cooperación europea para la promoción de la geoconservación en África. En E. Martín-González, J.J. Coello Bravo, & J. Vegas Salamanca (Eds.), *El Patrimonio Geológico: Una nueva visión de la Tierra* (pp. 27-33). Instituto Geológico y Minero de España.

ESCALERA, R., ORMACHEA, O., ORMACHEA, M., GARCÍA-ARÓSTEGUI, J. L., SUSO, J., GARCÍA, M. E., PÉREZ, F., HORNERO, J., FERNÁNDEZ, O., ZELAYA, A., & HUALLPARA, L. (2020). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento para la remoción de arsénico del agua de consumo en el altiplano y valles de Bolivia. *Investigación & Desarrollo*, 20(1), 23-39.

5. RESULTADOS DEL PLAN
NACIONAL DE GEOLOGÍA
EN LA ZONA UTE-PLANAGEO,
SUROESTE DE ANGOLA:
SERIES CARTOGRÁFICAS
Y TRABAJOS ESPECÍFICOS

El Plan Nacional de Geología de Angola (PLANAGEO) fue un proyecto creado por la Resolución Presidencial n.º 52/09 de la República de Angola (*Diário da República*, I série, n.º 181, de 24.09.2009) y dirigido por el Instituto Geológico de Angola (IGEO). Los objetivos del Plan fueron a) profundizar en el conocimiento geológico-minero de Angola, orientado a la gestión equilibrada de sus recursos minerales; b) promover la diversificación de la economía nacional; y c) facilitar la inversión extranjera y el desarrollo del país. El proyecto incluyó el levantamiento aerogeofísico regional (magnético/radiométrico, realizado por *Xcalibur Multiphysics*) y la cartografía geológica a escala 1:250 000 del país, junto con cartografías de detalle, campañas de prospección geoquímica regional y estudios específicos en áreas de interés.

Tras la licitación internacional celebrada en 2011, a la que acudieron catorce consorcios internacionales, y casi tres años de negociación, el IGEO, dependiente del Ministerio dos Recursos Minerais, Petróleo e Gás de Angola, otorgó a la UTE, formada por el entonces Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el Laboratório Nacional de Energia e Geologia, de Portugal (LNEG), y la empresa española Impulso Industrial Alternativo (IIA), la ejecución del contrato de los trabajos de PLANAGEO en el suroeste de Angola (zona 3; | fig. 1 |), cubriendo un área de unos 480 000 km². El contrato se firmó en octubre de 2013 por un importe de 115 300 000 USD. Entre 2014 y 2022, la UTE realizó de manera exitosa numerosos trabajos multidisciplinares,

usando metodologías clásicas de investigación geológica y técnicas geofísicas y geoquímicas punteras, resultando en un amplio catálogo de mapas, memorias y documentación complementaria | fig. 1 |.

La información obtenida a partir de los vuelos geofísicos fue esencial para los trabajos de interpretación geológico-estructural del basamento, tanto en superficie como en profundidad, y desveló grandes anomalías magnéticas regionales bajo la cobertera sedimentaria de la cuenca del Kalahari, tales como el prolongamiento del Arco Lufiliano en el borde sureste de Angola o la extensión real del complejo anortosítico de Cunene; en definitiva, resultó ser uno de los mayores complejos básicos-ultrabásicos del mundo.

Los principales retos de la ejecución de los trabajos geológicos en el terreno incluyeron: un cronograma acelerado, impuesto por el IGEO, que obligaba a trabajar en periodos de lluvias e inundaciones estacionales; escasez de información geológica previa; ausencia de bases logísticas para el trabajo de campo en áreas muy distantes y des pobladas; dificultad de accesibilidad en caminos y vías poco transitadas; presencia de minas antipersona en varias áreas abandonadas desde la Guerra Civil (1975-2002); así como imprevistos o riesgos inherentes al trabajo de campo en áreas remotas. El empleo de las más modernas técnicas de trabajo geológico en campo, que incluyó el uso de *tablets* rugerizadas, *software* de adquisición de datos geológicos georeferenciados *in situ*, dispositivos GPS y magnetómetros,

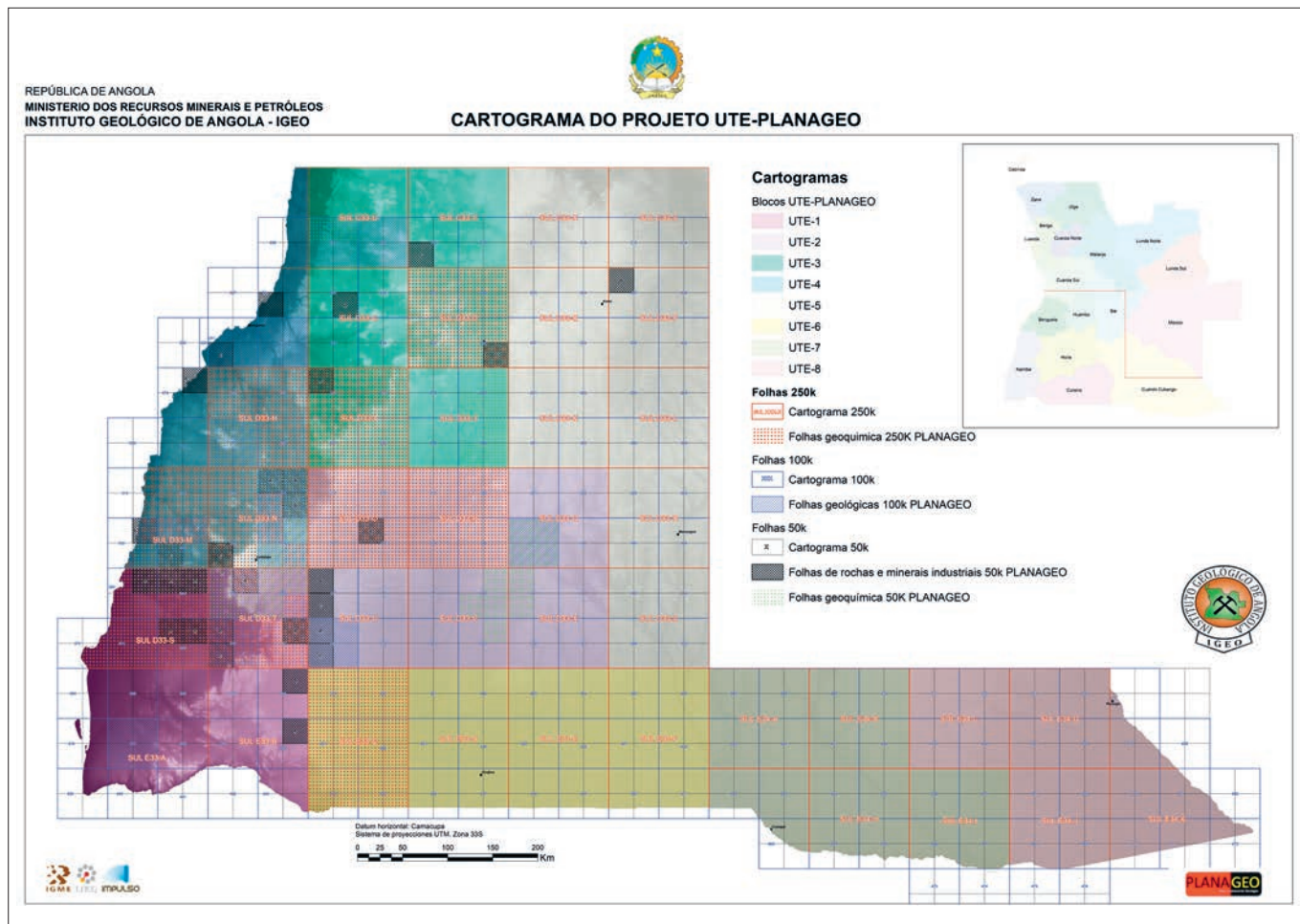


Figura 1. Cartograma de la región sur-suroeste de Angola donde se realizaron los trabajos del proyecto PLANAGEO por la UTE IGME/LNEG/IAA. El cartograma muestra la distribución de los ocho bloques de trabajo a escala 1:500 000 y la división de las hojas cartografiadas a escala 1:250 000 (borde rojo: 44 hojas), 1:100 000 (borde azul: 15 hojas) y 1:50 000 (borde negro: 69 hojas; 30 CARMINA y 39 CRMMA), así como la relación de cartas geológicas y geotemáticas realizadas en las distintas escalas. El *inset* (arriba derecha) muestra la localización de la zona 3 en la República de Angola, de unos 480 000 km² de superficie.

entre otros, junto con completos equipos de alojamiento, manutención, prevención y seguridad, tanto del personal involucrado como de los vehículos todoterreno utilizados, complementaron las metodologías clásicas de levantamiento cartográfico.

Los trabajos de investigación geológica resultaron en la recogida de datos en más de 22 000 estaciones y de 9000 muestras geológicas, representativas de la gran diversidad de unidades que componen la geología del sur de Angola | fig. 2 |. Un importante volumen de muestras fue procesado para su estudio petrológico, obteniéndose más de 500 análisis litogeoquímicos y 400 medidas de geoquímica isotópica en diversos sistemas (U-Pb en circón, Ar-Ar en separados minerales, Sr-Nd en roca total). Esta información fue indispensable para la definición de los distintos eventos magmáticos y tectono-metamórficos registrados en la región suroccidental del cratón del Congo (Escudo de Angola; De Waele *et al.*, 2008), que abarcan desde el Neocarcaico al Cenozoico. Todo ello permitió el reconocimiento de los dominios geológicos del sur de Angola y deducir su historia geológica como base conceptual en la elaboración del catálogo cartográfico | figs. 1 y 2 |. Gran parte de los trabajos de laboratorio de las muestras exportadas a España, al igual que diversas dataciones isotópicas vía U-Pb TIMS (*thermal ionization mass spectrometry*), fue realizado en los Laboratorios del IGME en Tres Cantos.

En las zonas cubiertas por los depósitos sedimentarios de la cuenca del Kalahari (extremo sur y suroriental de Angola; | fig. 2 |), se realizaron diversos trabajos específicos hidrogeológicos: 2000 km de perfiles de sismica pasiva (SP), una campaña de sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEM) y un muestreo sedimentario para su datación por técnicas de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL). A partir de las medidas de SP y de resistividades, junto con la reinterpretación de los datos obtenidos en 482 sondeos eléctricos verticales (SEV) de la década de 1960 (base de datos de HIDROMINAS), se realizó una interpretación estratigráfica y del espesor de la secuencia sedimentaria del Grupo Kalahari, obteniéndose la localización precisa del nivel piezométrico de los acuíferos naturales, altamente demandados por la sequía del país.

Fueron seleccionadas 9 cartas a escala 1:250 000 para la realización de trabajos de prospección geoquímica regional (Carta Geoquímica de Angola) y, en paralelo, fueron ejecutados dos programas específicos de investigación minera a escala 1:50 000 | fig. 1 |: Cartas de Rocas y Minerales Industriales de Angola (CARMINA) y Cartas de Recursos Minerales Metálicos de Angola (CRMMA). En las diversas áreas de interés minero del suroeste de Angola, particularmente las que incluyen mineralizaciones de Au-Fe, ETR-Nb-Ta y Ni-Cr-Pt, se realizó un muestreo geológico-petrofísico de 850 muestras y un exhaustivo estudio geoquímico (4800 muestras recolectadas y 2600 análisis químicos *in situ* mediante equipos portátiles de fluorescencia de rayos X). Estos trabajos proporcionaron la información básica para delimitar áreas de potencial minero y zonas de interés para exploración de recursos minerales metálicos, a partir de criterios geológicos, geofísicos y geoquímicos multielementales. Como parte de los estudios específicos, la UTE creó el laboratorio del Centro de Valorização das Rochas em Congenge (Huila, Angola).

Puede concluirse, por tanto, que la UTE ha cumplido los objetivos planteados por la Administración angolana en el programa PLANAGEO, siendo el único de los tres consorcios adjudicatarios que ha concluido los trabajos de campo y gabinete (99,6 % de su ejecución). Todo ello sitúa a España a la vanguardia del conocimiento de los recursos naturales de una enorme extensión del territorio de Angola, que en la actualidad se encuentran muy poco explotados y sobre los que existen notables expectativas de materias primas estratégicas, de gran atractivo para compañías internacionales de exploración. El proyecto PLANAGEO, a su vez, ha significado una importante fuente de ingresos para el IGME en su período de ejecución, y estimamos que los resultados obtenidos tendrán un elevado impacto científico-técnico en ámbito internacional.

BIBLIOGRAFÍA

- DE WAELE, B., JOHNSON, S. P., & PISAREVSKY, S. A. (2008). Palaeoproterozoic to Neoproterozoic growth and evolution of the eastern Congo Craton: its role in the Rodinia puzzle. *Precambrian Research*, 160, 127-141. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.020>

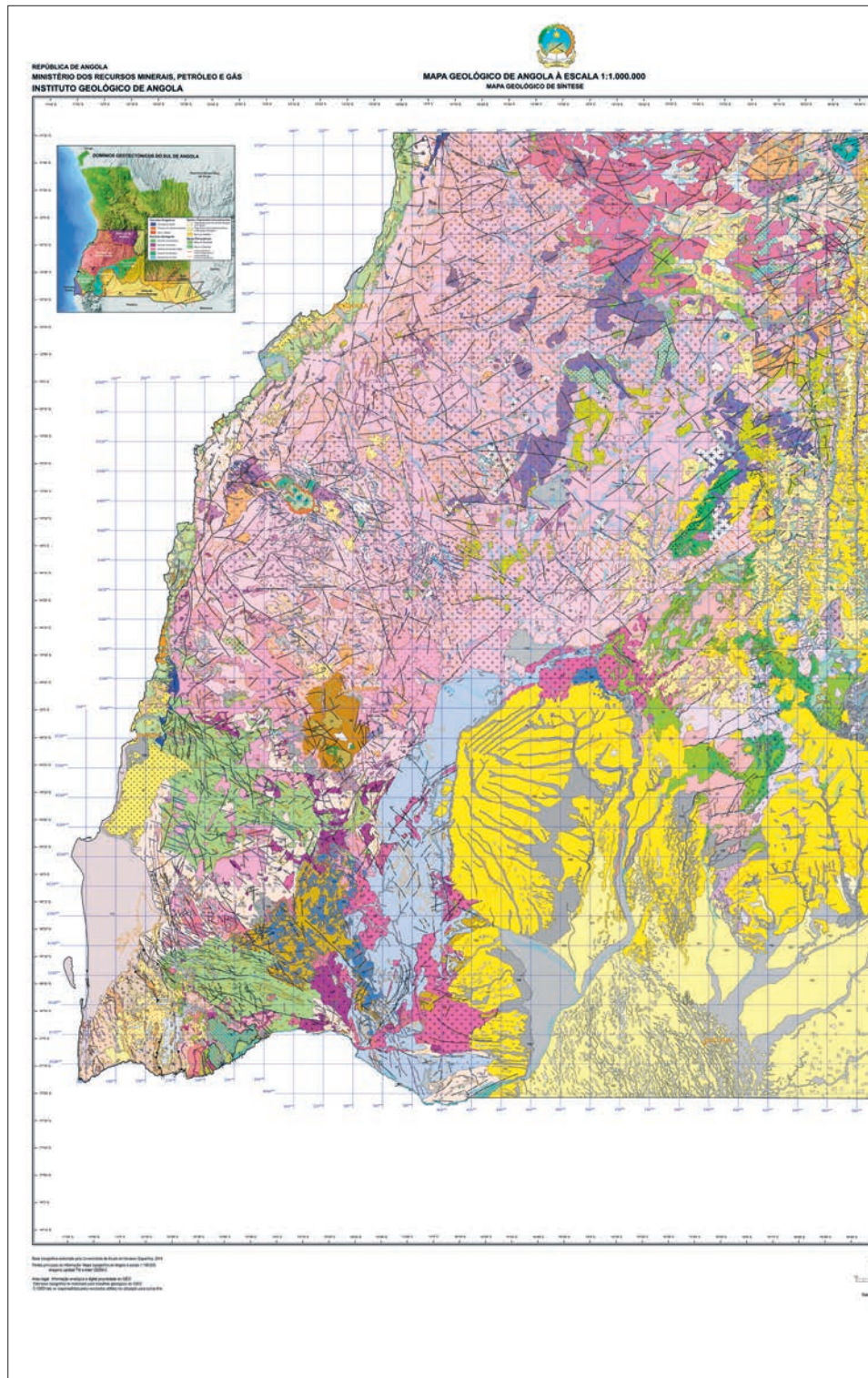
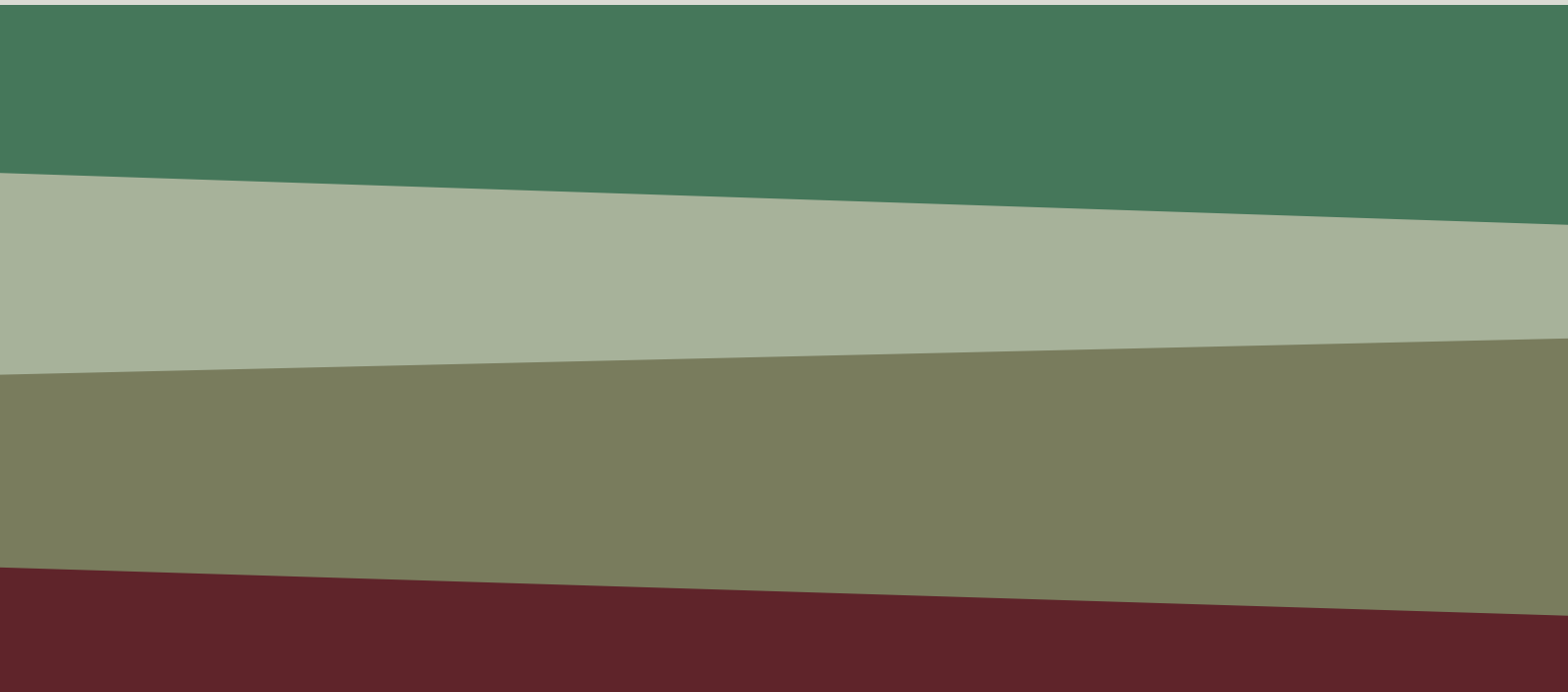


Figura 2. Mapa geológico a escala 1:1 000 000 del sur-suroeste de Angola. Síntesis geológica realizada a partir de los trabajos cartográficos y aerogeofísicos efectuados por la UTE PLANAGEO en Angola.



SOPORTES
DE LA
INVESTIGACIÓN
Y DE LA
DIVULGACIÓN
EN GEOCIENCIAS



1. CREACIÓN DEL
LABORATORIO DE
ESPECTROSCOPIA
DEL IGME (1928)

El análisis espectroscópico tuvo sus inicios a mediados del siglo XIX en Europa desarrollado por Bunsen y Kirchoff y su primera aplicación en España fue debida a Antonio Casares Rodríguez, de la Universidad de Santiago, en 1866. En 1911 Ángel del Campo y Cerdán creó la Sección de Espectrografía del Laboratorio de Investigaciones Físicas (LIF) de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, a la que se incorporó en 1912 el físico Santiago Piña de Rubiés, quien se dedicó a la espectroquímica con un primer estudio sobre las formaciones de cromitas platiníferas de los Urales (Campo & Piña de Rubiés, 1915). Tras ello, el ingeniero de minas Domingo de Orueta y Duarte comienza una colaboración con Piña de Rubiés para su estudio geológico del macizo ultrabásico de la serranía de Ronda, quien analizó en el LIF las muestras de aluviones, en las que detectaron, por vez primera en España, la presencia de platino (Rábano, 2008).

La construcción del nuevo edificio del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en la calle Ríos Rosas durante el primer tercio del siglo XX, propició la instalación de laboratorios propios, en cuya concepción Orueta, que ocupó brevemente la dirección del Instituto entre 1925 y 1926, jugó un papel fundamental. En el nuevo Reglamento de la institución (*Gaceta de Madrid*, n.º 8, de 08.01.1927), el artículo 37 señala expresamente que se crean los laboratorios

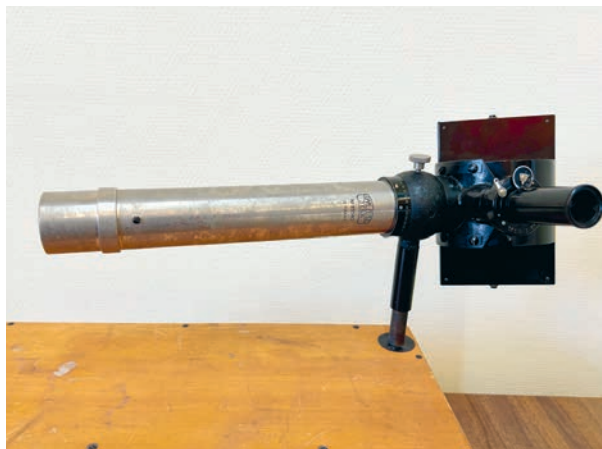
de Paleontología, Petrografía, Mineralogía, Mineralografía, Física, Geofísica, Química y Radiactividad, y, en relación con estos dos últimos, el artículo 40 precisa sus objetivos:

[T]endrán por objeto el realizar los análisis de minerales y rocas, especialmente los magmáticos de éstas y los cualitativos y cuantitativos que en circunstancias particulares ofrezcan especial interés, así como la determinación de las sustancias químicas y la radiactividad de ciertas aguas minerales, como dato complementario de determinados estudios.

El montaje del Laboratorio de Espectroscopía aplicado a estudios geoquímicos del IGME fue encargado en 1928 por el entonces director de la institución, Luis de la Peña, a Santiago Piña por la relación que había mantenido con Domingo de Orueta, quien había fallecido a comienzos de 1926 y, por tanto, no tuvo ocasión de ver culminado su proyecto. Para su instalación se adquirieron instrumentos a casas constructoras nacionales y europeas | figs. 1 y 2 | y, de acuerdo a la información proporcionada por Rubio Sandoval & Piña de Rubiés (1930) y Piña de Rubiés & Milans del Bosch (1933), consistieron en 1) un espectrógrafo de cuarzo 2000-9000 Å, espectrógrafo con óptica de cuarzo 3400 y 2300 Å y espectroscopio de visión directa para tener los



Figura 1. Izquierda, reactivos (HfCl₄) y patrones (PbO-SnO-NaCl) para Espectroscopía de Emisión Atómica. Derecha, espectrógrafo pequeño de cuarzo Zeiss. Colección de instrumentos del IGME.



espectros de los elementos alcalinos y alcalinotérreos; estos equipos pueden funcionar con una detección simultánea a partir de una misma fuente de excitación; 2) espectrógrafo pequeño con cámara fotográfica; 3) espectro-comparador Hartmann; telespectro comparador, equipo auxiliar del espectro-comparador Hartmann; fotómetro de tensión Koch de la casa Zeiss para realizar determinaciones cuantitativas; 4) espectrofotómetro de llama Beckman DU con acetileno o hidrógeno y oxígeno; y 5) espectrómetro de Lectura Directa casa M.B.L.E. modelo SM150. Se ha utilizado para la investigación del efecto estructural de la emisión espectral (López de Azcona & Ilarri Junquera, 1971).

Una aproximación a las prestaciones del Laboratorio una vez finalizada la Guerra Civil, la proporciona Marín (1941):

En el Laboratorio de Espectroscopía se hacen especialmente tres tipos de análisis espectroquímicos, que son cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos. Los primeros, cuando interesa averiguar si en un mineral o aleación existe un elemento determinado, problema que se presenta frecuentemente en este Instituto; los segundos, cuando se quiere tener una idea aproximada de la proporción en que

está, con el fin de saber si una mina es explotable o no, o si una aleación posee una determinada propiedad, y cuantitativos, cuando se desea que esta valoración sea exacta.

Contribuciones destacadas del Laboratorio fueron, en palabras de López de Azcona (1961), el estudio espectroquímico del contenido en metales traza de aguas minero-medicinales, la detección del vanadio en muestras españolas; la participación en un tema legal pericial sobre el estaño; la utilización de la espectroscopía de forma cuantitativa para determinar impurezas en minerales de plata (Piña de Rubíes & Milans del Bosch, 1933); la descripción por primera vez del mineral estannita (mencionado como estannina) en muestras españolas (Rubio Sandoval & Piña de Rubíes, 1930); o la publicación del *Atlas de líneas últimas con excitación por arco* (Memoria, 1946).

En los inicios y desarrollos posteriores del Laboratorio de Espectroscopía destaca de forma notable el ingeniero de minas y físico Juan Manuel López de Azcona, un discípulo de Santiago Piña de Rubíes como él mismo siempre se identificó. Su trayectoria profesional e investigadora se desarrolló entre el Instituto Geológico y Minero de España (1930-1977), el Instituto Nacional de Física y Química



Figura 2. Cámara fotográfica Zeiss y caja de placas pancromáticas de Agfa. Colección de instrumentos del IGME.

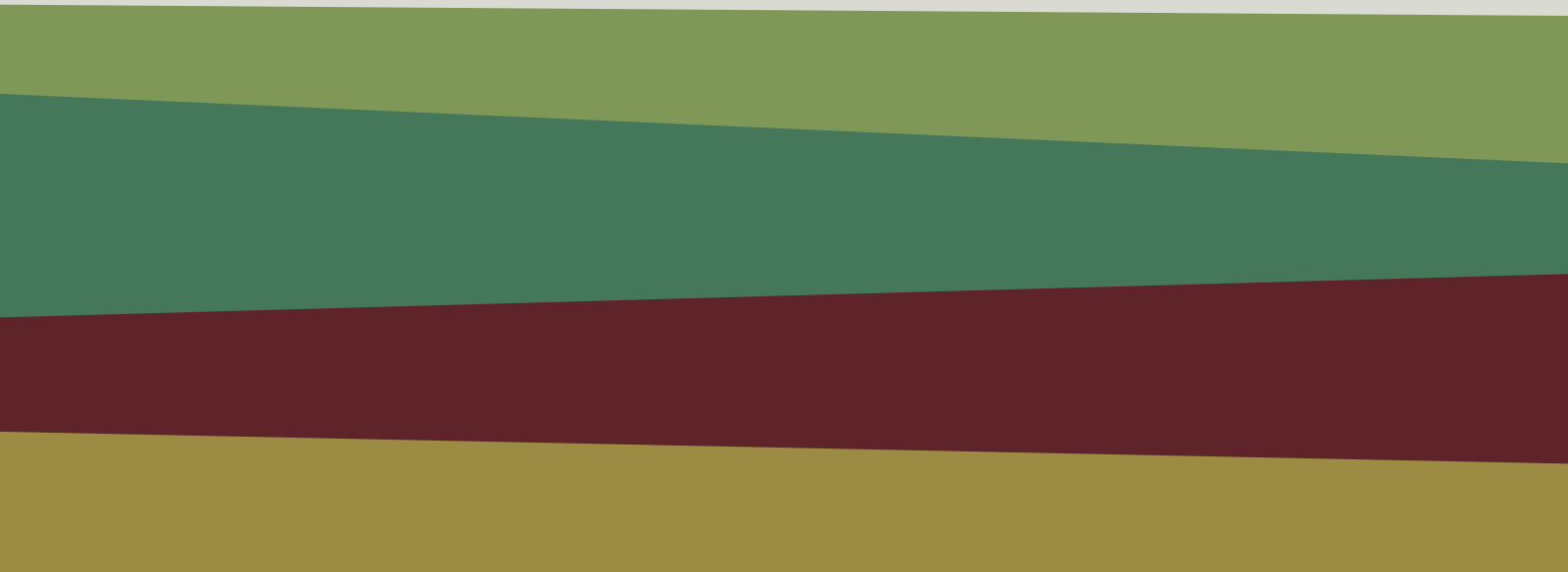
(1932-1939), el Instituto de Química-Física Rocasolano (1940-1978, adscrito al Instituto Alonso de Santa Cruz de Física entre 1940 y 1965) y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (1972-1977). Su relación con estas instituciones permitió el trasvase de conocimiento y de utilización de equipos. Como ejemplo de cooperación es obligado mencionar la tesis doctoral de López de Azcona, «Estudio espectroquímico de las tierras raras», cuyas investigaciones inició en 1935 y presentó en 1940 en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central. En ella utilizó instrumentación del Instituto Nacional de Física y Química (espectrógrafos) y del Instituto Geológico y Minero de España (espectro comparador y fotómetro) (López de Azcona, 1941).

A finales de los años setenta del siglo XX, el Laboratorio continuó con sus actividades: Eduardo Melgar Herrera preparaba muestras para el espectrógrafo MS150 y Pedro Herranz, trabajador del INTA, manejaba alguno de los equipos de emisión existentes en ese momento. Entre 1980 y 1990 se utilizó el equipo DCP-AES Spectrametrics Spectrospan III, antorcha Spectrajel III; entre 2003 y 2022, el ICP-AES Varian Vista MPX, y en la actualidad el ICP-AES Agilent 5800.

BIBLIOGRAFÍA

- CAMPO, A. del, & PIÑA DE RUBÍES, S. (1915). El platino en la cromita platinífera de los Urales. *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, 13, 155-158.
- LÓPEZ DE AZCONA, J. M. (1941). Estudio espectroquímico de las tierras raras. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 55, 279-493.
- LÓPEZ DE AZCONA, J. M. (1961). Un siglo de aplicación de la espectroquímica a la geoquímica española. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 63, 119-136.
- LÓPEZ DE AZCONA, J. M., & ILARRI JUNQUERA, A. (1971). Efecto de la estructura cristalina en la emisión espectral. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 37(1), 123-126.
- MARÍN, A. (1941). Prólogo. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 55, vii-xxxi.
- Memoria General 1945. (1946). Instituto Geológico y Minero de España.
- PIÑA DE RUBÍES, S., & MILANS DEL BOSCH, J. (1933). Estudios de las platas nativas de España. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 53, 269-295.
- RÁBANO, I. (2008). Domingo de Orueta y Duarte (1862-1926) y la investigación del platino en España. *Boletín Geológico y Minero*, 119(4), 473-494.
- RUBIO SANDOVAL, E., & PIÑA DE RUBÍES, S. (1930). Laboratorio del Instituto Geológico y Minero de España. Aplicación de su material de mineralografía y espectrografía al estudio de criaderos con estannina de la provincia de Cáceres. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 52, 159-197.

2. UTILIZACIÓN EN
LOS LABORATORIOS
DEL IGME DE NUEVAS
TÉCNICAS GEOQUÍMICAS
EN ESPAÑA: MICROSONDA
ELECTRÓNICA (1967)
Y DATACIÓN ISOTÓPICA
(1969)



LABORATORIO DE MICROSONDA ELECTRÓNICA (1967)

El primer microanalizador por sonda de electrones (EPMA), o microsonda electrónica, fue desarrollado por Raimond Castaing durante la realización de su tesis doctoral (1947-1951). En 1958 la compañía CAMECA comercializa la primera microsonda electrónica MS85 continuada por la MS46 (1964). Desde sus inicios estaban claras las grandes ventajas que para solucionar problemas geológicos complejos implicaba el disponer de una técnica analítica cuantitativa que permitiera distinguir, con una resolución espacial del orden de un μm , variaciones elementales químicas en muestras con determinaciones *in situ* que únicamente requieren de una superficie pulida con un recubrimiento conductor.

El Instituto Geológico y Minero de España adquirió en 1967 una microsonda electrónica fabricada por la empresa CAMECA modelo MS46 | fig. 1 |, cuyos responsables fueron sucesivamente José López Ruiz (1967-1974) y Martín Fernández González (1974-1983). Fue el primer equipo de esta técnica utilizado en esos momentos en España. La primera mención sobre la posibilidad de la adquisición de una microsonda electrónica en el IGME se debe a García Salinas (1964). En la memoria anual de actividades del IGME co-

rrespondiente a 1966 (apartado «Laboratorios y Museo»), se indica que se dispone de presupuesto para la adquisición de varios instrumentos analíticos, entre ellos, una microsonda (Memoria, 1967). Esta se compró e instaló, pero, lamentablemente, la persona que debía hacerse cargo del manejo del equipo falleció repentinamente. Para abordar esta tarea, en 1967 se solicitó la colaboración de José Antonio Rausell Colom, investigador del Instituto de Edafología del CSIC, para su manejo hasta la incorporación, en ese mismo año, de uno de los autores de este capítulo (JLR). Prueba de ello es la primera publicación científica realizada para difundir sus ventajas y aplicaciones (López-Ruiz, 1968). También, en la memoria de actividades de la institución correspondiente a 1967 se difunde la puesta a punto del análisis cualitativo y cuantitativo en menas metálicas, rocas y productos metalúrgicos o industriales (Memoria, 1968).

Desde su puesta en funcionamiento, el equipo dio apoyo a los proyectos internos en las investigaciones metalogénicas, petrográficas, mineralógicas y medioambientales, así como a otros organismos de investigación, como la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, el Instituto Gemológico Español y el CENIM, y trabajos para empresas externas, como Cristalería Española S. A. Igualmente, participó en proyectos de investigación como «Estudio de procesos de transformación hidrotermal», «Variaciones

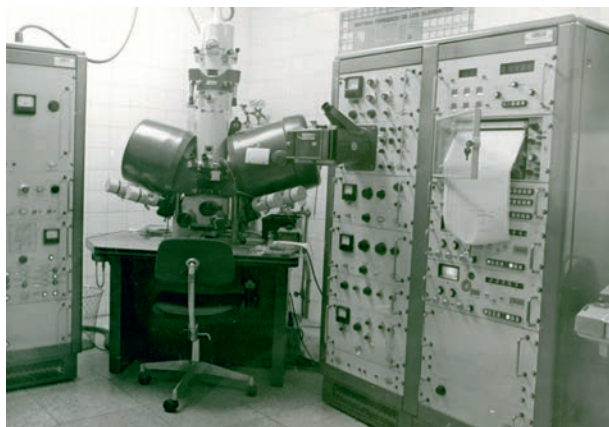


Figura 1. Microsonda electrónica CAMECA MS46 ubicada en el edificio del IGME de la calle Ríos Rosas. Fotografía: Archivo IGME.

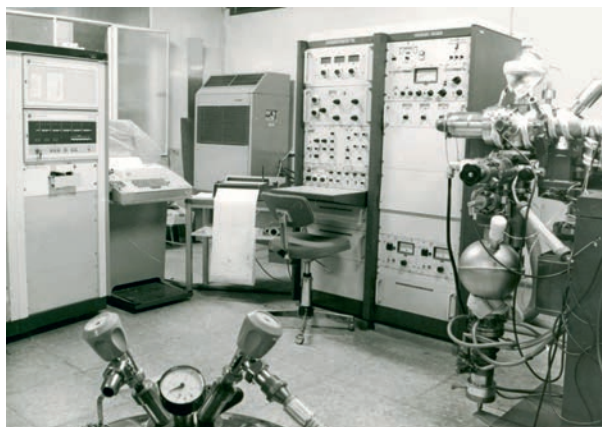


Figura 2. Espectrómetro de masas de termoionización ubicado en el edificio del IGME de la calle Ríos Rosas. Fotografía: Archivo IGME.

químicas en augitas zonadas y con estructura en ‘reloj de arena’»; «Estudio de los sulfuros de yacimientos estratiformes»; «Estudios de granates del Sistema Central»; «Estudio de la distribución espacial de elementos en bajos contenidos en aleaciones de Cu-Zn y Al para intentar explicar diferencias en el comportamiento de la emisión espectral».

Entre 1983 y 2001, los laboratorios del IGME utilizaron la microsonda electrónica ARL modelo SEM Q2, desde 2015 hasta la actualidad el microscopio electrónico de barrido Jeol JSM-6010 LA PLUS, y desde 2022 el sistema acoplado LA-ICP-MS LA: ESI NWR 193, ICP-MS: Agilent 7900.

LABORATORIO DE GEOCRONOLOGÍA: DATACIÓN ISOTÓPICA (1969)

En la memoria de actividades del IGME de 1945 se menciona el interés por la adquisición de un «espectrógrafo de masas» (Memoria, 1946). No se llegó a comprar, aunque continúa el interés por la geología isotópica, como lo demuestra el que desde 1956 existiera un Laboratorio de Radiactividad y Geonucleónica en el que se trataban temas como las dataciones o los procesos de diferenciación isotópica.

En el año 1969 se desarrollaron las misiones Apolo 11 y 12 que trajeron muestras lunares a la Tierra. En este mismo año, y por indicación de Juan Manuel López de Azcona, se plantea la adquisición por parte del IGME de un espectrómetro de masas para la determinación de edades geológicas, aparentemente también para tener la posibilidad de utilizarlo con muestras lunares. Ese mismo año los laboratorios del IGME fueron dotados con un espectrómetro de masas THOMSON-CSF TSN 205 SE para la determinación de relaciones isotópicas de argón utilizable para el método de datación de K-Ar. Se trató también del primer equipo adquirido en España para este tipo de datación, uno de vacío estático de gases nobles con una fuente de iones de impacto electrónico para la determinación de relaciones isotópicas de Ar aplicados a la datación K-Ar es de la casa Thomson-Houston (París), modelo TSN 205 SE (con un precio de 3 300 000 pts.), que incluye la línea de extracción de argón. Desafortunadamente, y debido a problemas de personal, permaneció embalado dos años. En 1972 se inició el montaje y puesta a punto del espectrómetro, utilizando el método de datación de K-Ar, con la contratación de uno de los autores del presente artículo (JGG), quien realizó una estancia de entrenamiento en el Laboratoire de Pétrogra-

phie (Université Paris Sud, Orsay) con Hervé Bellon, donde disponían del mismo equipo adquiridos por el IGME. El espectrómetro de Orsay tenía muchos problemas de funcionamiento, pero el servicio técnico de Thomson era muy accesible y los problemas se podían solucionar sobre la marcha. El espectrómetro de Madrid tenía los mismos problemas y, sin embargo, no llegó a funcionar de una forma adecuada. Además, la línea de extracción implicaba el disponer de personal experto en el manejo de soldaduras de vidrio. Como conclusión de esta experiencia se considera que el equipo suministrado por la casa Thomson-CSF debía ser un prototipo y que por eso daban serios problemas, tanto el equipo de Orsay como el de Madrid. Es por ello que se planteó que el método de datación Rb-Sr podría ser más adecuado, por su mayor robustez analítica.

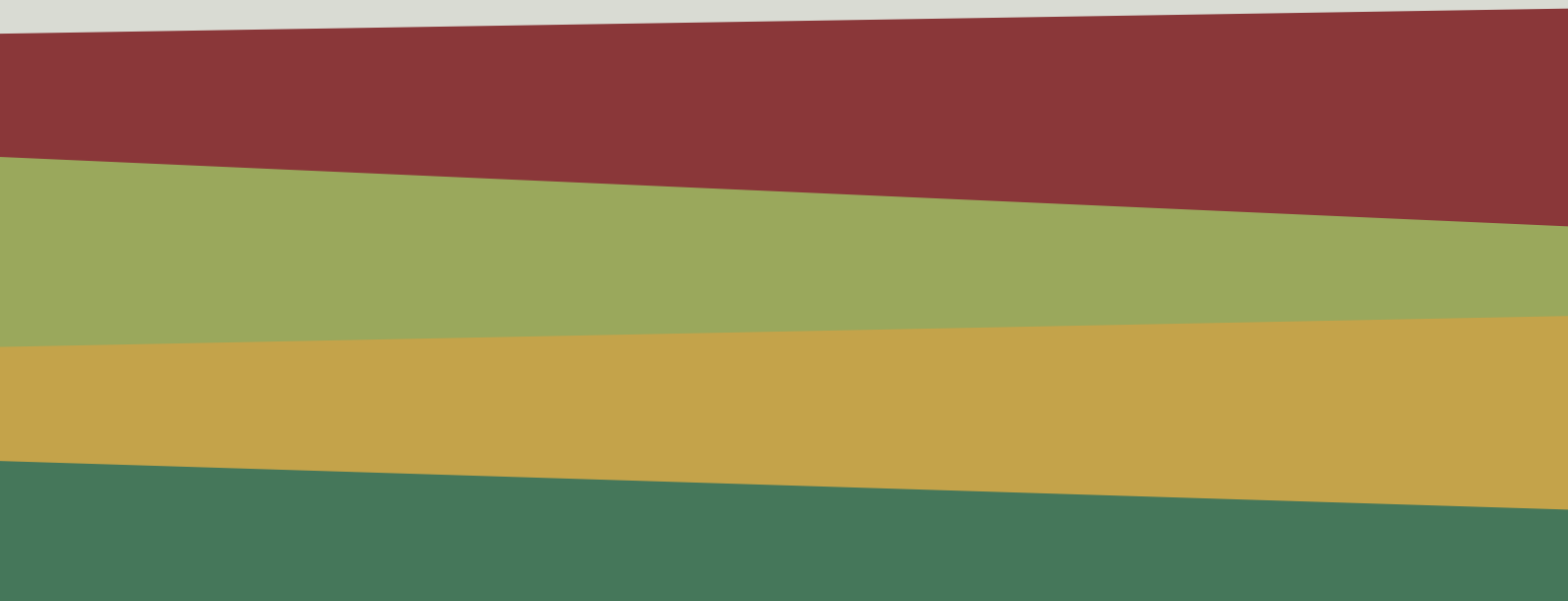
A mediados de 1975 el IGME proyectó la adquisición de un equipo para la datación absoluta por el método Rb-Sr, que fue adquirido en 1979: el TH5 de Varian MAT (por un valor aproximado de 15 000 000 pts.) | fig. 2 |. Este equipo, que funcionó entre 1979 y 1991, se instaló en un laboratorio limpio, con presión positiva de aire obtenido haciéndolo pasar por filtros absolutos, con campanas de flujo laminar, sistema de obtención de agua ultrapura, reactores de teflón para la digestión de las muestras y columnas de cuarzo con resina de intercambio catiónico para la separación de rubidio y estroncio. La calibración de estas columnas se realizó en la Junta de Energía Nuclear con la ayuda de Hermógenes Sanz García. Durante este periodo, los técnicos fueron Jesús García Garzón, Miguel Balbás Antón, Luis Arancón Bozal, Pascual Díez Miralles, Juan Llamas Borrajo, José Antonio Melgar Herrera y Dragana Prokic Dimitrievich. Desde 2008, el IGME dispone de un equipo TIMS Thermo Fisher Triton (método U-Pb).

Las dataciones realizadas con el equipo Varian MAT TH5 (método Rb-Sr) se llevaron a cabo en rocas graníticas variscas españolas. La primera de ellas, pionera en un laboratorio español, correspondió a los granitos de Lumbrales-Sobradillo y Villar de Ciervos-Puerto Seguro (Salamanca) (García Garzón & Locutura, 1981). Para el proyecto «Caracterización y correlación petrológica, geoquímica y geocronológica de las rocas graníticas de Galicia (La Coruña-Lugo)» se determinaron las edades de diversos plutones: ortoneises del complejo de Noia o de Ordenes (García Garzón *et al.*, 1981). Otras dataciones fueron las de los granitos de Padrón, Porriño, Neira, Friol-Puebla de Parga, Traba, El Pindo, La Tojiza, Chantada-Taboada, Negreira, Espenuca, Hombreiro, San Ciprián, La Silva y Varilongo; así como la que se realizó sobre el plutón granodiorítico de Peña Prieta (León, Cantabria y Palencia).

BIBLIOGRAFÍA

- GARCÍA GARZÓN, J., & LOCUTURA, J. (1981). Datación por el método Rb-Sr de los granitos de Lumbrales-Sobradillo y Villar de Ciervos-Puerto Seguro. *Boletín Geológico y Minero*, 92(1), 68-72.
- GARCÍA GARZÓN, J., PABLO MACIÁ, J. G. de, & LLAMAS BORRAJO, J. F. (1981). Edades absolutas obtenidas mediante el método Rb/Sr en dos cuerpos de ortoneises en Galicia Occidental. *Boletín Geológico y Minero*, 92(6), 49-52.
- GARCÍA SALINAS, P. (1964). Introducción al estudio metalogénico de la mina 'La Ratera' de la provincia de Huelva. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 75, 235-247.
- LÓPEZ-RUIZ, J. (1968). Utilización de la microsonda electrónica en la investigación geológica. *Boletín Geológico y Minero*, 79, 302-307.
- Memoria General 1945*. (1946). Instituto Geológico y Minero de España.
- Memoria General 1966*. (1967). Instituto Geológico y Minero de España.
- Memoria General 1967*. (1968). Instituto Geológico y Minero de España.

3. FÓSILES Y MAPAS:
EL LABORATORIO
DE PALEONTOLOGÍA
(1927-1970)*



Desde el nacimiento de la moderna cartografía geológica, los fósiles han desempeñado un papel esencial para la ordenación y datación de los distintos cuerpos rocosos de origen sedimentario. Un ejemplo paradigmático lo constituye el mapa geológico de Gran Bretaña de William Smith (1815) y la influencia de la tradición británica que, a partir de la obra de Lyell, inspiró a todos los institutos o servicios geológicos europeos. España no fue una excepción como lo demuestra el hecho de que la traducción de los *Elementos de Geología* por Joaquín Ezquerro del Bayo en 1847 fue adoptada como libro de texto por la Escuela de Minas de Madrid. Y también porque, desde la misma creación de la Comisión del Mapa Geológico dos años después, los primeros mapas españoles siguieron el método científico más moderno, donde los fósiles pasaron a constituir elementos auxiliares de primer nivel en la investigación geológica.

Casiano de Prado, jefe de la sección geológico-paleontológica de la Comisión desde 1849, mantuvo siempre un estrecho contacto con el geólogo y paleontólogo francés Édouard de Verneuil, enviándole a París fósiles para su estudio y acompañándole en varios de sus viajes por España (Truyols, 2011). Verneuil ejerció una notable influencia so-

bre los ingenieros de minas españoles en la aplicación del registro fósil en los estudios estratigráficos. Manuel Fernández de Castro, director de la Comisión a partir de 1873, junto con Lucas Mallada y otros ingenieros de la Comisión, continuaron la senda que había abierto Prado, contribuyendo a enriquecer el conocimiento paleontológico del país con sus investigaciones para las memorias geológicas provinciales.

Esta tradición la prosiguió Primitivo Hernández-Sampelayo en el IGME durante la primera mitad del siglo XX. Fundador del museo que la institución acababa de instalar en el nuevo edificio de la calle Ríos Rosas, tras el Congreso Geológico Internacional de 1926, reunió tanto las colecciones geológicas de las memorias provinciales iniciadas en 1849 como los fondos generados por las nuevas investigaciones paleontológicas. Participó en la realización de 18 hojas geológicas de la serie a escala 1:50 000 comenzada en 1927, y colaboró como paleontólogo con la identificación de fósiles para numerosos trabajos del IGME (Rábano & Gutiérrez-Marco, 2022) | fig. 1 |. Hernández-Sampelayo fue el promotor de la creación del Laboratorio de Paleontología del IGME, ocurrida en el marco del Real Decreto de 7 de enero de 1927.

El Laboratorio de Paleontología se mantuvo en la estructura del IGME tras la reorganización de los servicios

* Contribución al proyecto PID2021-123323NB-I00 / AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE del Ministerio de Ciencia e Innovación.



Figura 1. Placa con graptolitos silúricos (*Monograptus* sp.) recogida por Primitivo Hernández-Sampelayo en la carretera entre el lago de Carucedo y Puente de Domingo Flórez (León), durante los trabajos de campo de la hoja geológica a escala 1:50 000 n.º 158 (Ponferrada), finalizada en 1942 y publicada en 1951. En el museo ingresaron «5 cajas grandes» con muestras. Se conserva en las colecciones del Museo Geominero del IGME, CSIC (n.º inv. MGM130S).

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA 1305

Región 13 = h.O.C. 82 Núm. 4

Graptolitos rectos y anchos del gotlandinense superior

Sistema Silur. sup. =

Piso y tramo Ver el detalle en Silur. en España.

Roca y yacimiento Entre Carucedo y Puente de Domingo Flórez.
(citadas en la hoja)

Provincia León (Hoja de Ponferrada)

Localidad Parroquia de Domingo Flórez
(con 5 cajas grandes)

R. S. C. S. 1079

promovida en 1948 por el director José García Sñeriz, haciéndose cargo del mismo Antonio Almela Samper, conjuntamente con la dirección del museo. Allí se centralizaron los trabajos de identificación de fósiles para las diferentes secciones del IGME y en especial para el mapa geológico, continuando con la labor iniciada por Hernández-Sampelayo en su primera etapa. Además del Laboratorio de Paleontología, el IGME contaba con otro de «Microfauna», que venía funcionando desde los años 1930, cuando el Instituto comenzó sus investigaciones geológicas y mineras en Guinea y en el protectorado español de Marruecos. Había sido creado por Juan de Lizaaur y Roldán, quien se especializó en estudios micropaleontológicos.

El Laboratorio de Paleontología tuvo una intensa actividad entre su creación y finales de la década de 1960, cuando comenzó el nuevo plan de cartografía a escala 1:50 000, la Segunda Serie (plan MAGNA), en el que el modelo de confección de los mapas experimentó un cambio radical y en los trabajos paleontológicos vinieron a intervenir decisivamente especialistas externos al IGME. En la época más activa del Laboratorio la cooperación con otros paleontólogos

había sido poco frecuente y siempre a través de especialistas asociados a la institución en calidad de colaboradores. Este es el caso, por ejemplo, de José Ramón Bataller, primer catedrático de Paleontología de la Universidad de Barcelona y director del Museo Geológico del Seminario de esta ciudad entre 1926 y 1962. Bataller mantuvo una estrecha colaboración con el IGME y participó en la confección de varias hojas geológicas.

El Laboratorio de Paleontología dependió inicialmente del Museo, si bien en organigramas de años posteriores su adscripción fue variando entre los laboratorios del IGME o volviendo al Museo. Por la jefatura del Laboratorio de Paleontología pasaron Primitivo Hernández-Sampelayo (periodo 1927-1948), Antonio Almela (1948-1959), Jorge Doetsch Sundheim (1959-1960) e Indalecio Quintero Amador (1961-1970). El Laboratorio de Microfauna tuvo una historia paralela al de Paleontología. Juan Lizaaur fue su director desde su creación en los años treinta hasta 1960. En 1961 modificó su nombre por el de *Micropaleontología* y pasó a ser gestionado por José Luis Saavedra García hasta mediados de los años sesenta, en que se hizo cargo de él



INDALECIO QUINTERO AMADOR

(1926-2007)

Ingeniero de minas de la promoción de 1956, año en que ingresó como ingeniero auxiliar en el Instituto Geológico y Minero de España, adscrito al Laboratorio de Paleontología a las órdenes de Antonio Almela. En 1974 obtuvo la plaza de profesor adjunto de Paleontología en la Escuela de Minas de Madrid, donde llegó a ser catedrático de Estratigrafía y Paleontología. Entre 1965 y 1984 fue director del Museo del IGME. Entre sus investigaciones, destaca la sobresaliente aplicación de la paleontología al primer estudio geológico moderno de la región minera de Almadén.

Indalecio Quintero. Ambos laboratorios estuvieron al servicio de los estudios generales del IGME, y en especial del mapa geológico a escala 1:50 000 hasta la finalización de este programa a comienzos de 1970, motivo por el que desaparecieron como servicios auxiliares.

Tras la disolución del Laboratorio de Paleontología, esta disciplina continuó cultivándose en el IGME desde el Museo, con Quintero como único investigador hasta 1984, cuando por la Ley 53/1984 de incompatibilidades del personal al servicio de las Administraciones públicas, hubo de optar por desempeñar en exclusiva su cátedra de la Escuela de Minas. Tras un paréntesis en que el Museo pasó a ser dirigido por un técnico no paleontólogo, la llegada en 1993 a la dirección de una paleontóloga proveniente del CSIC, la autora de estas líneas, supuso la vuelta de la paleontología al IGME. Ello implicó el inicio de una nueva fase de investigaciones científicas y aplicadas, amplificadas por la incorporación de especialistas en distintos grupos fósiles, y la adecuación del antiguo laboratorio de preparación del Museo. Así, el IGME fue recuperando el papel que corresponde a esta ciencia en el marco de la geología, con modernos y reconocidos resultados internacionales en el campo de la biocronología, las correlaciones de alta resolución estratigráfica, los paleoambientes, la paleobiogeografía y la paleoecología, así como de la paleodiversidad (radiaciones y crisis bióticas) del Fanerozoico.

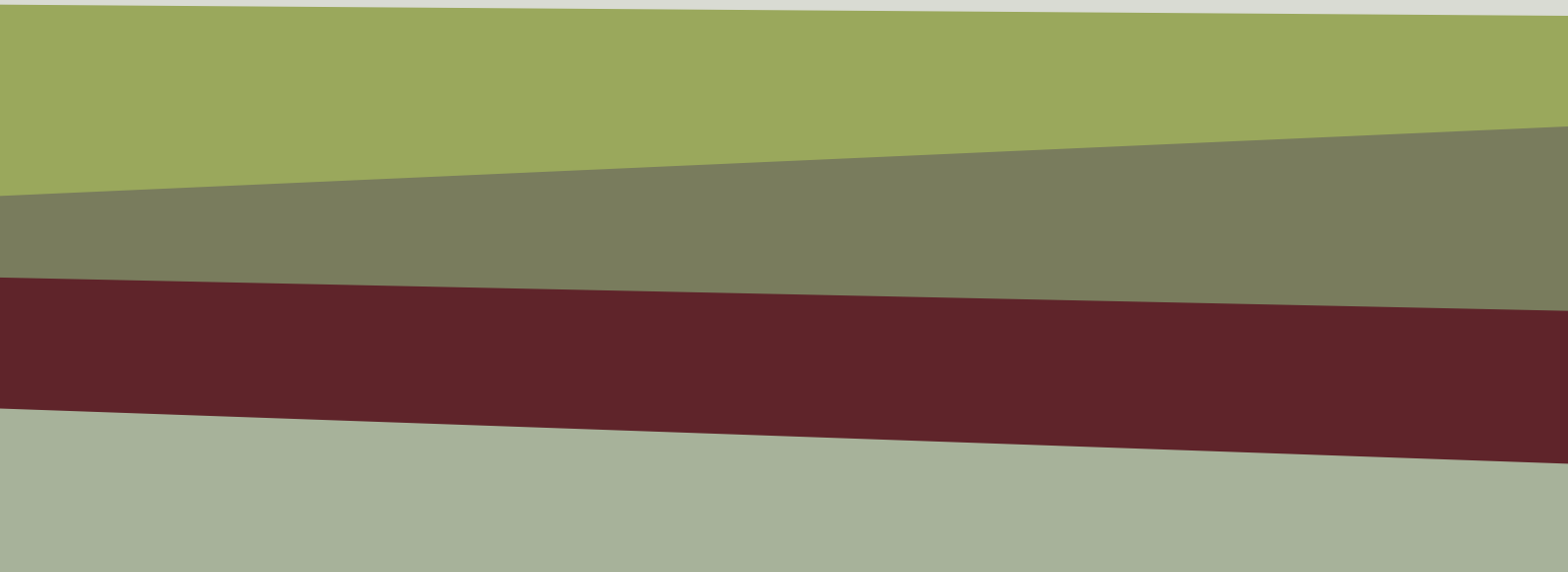
BIBLIOGRAFÍA

RÁBANO, I., & GUTIÉRREZ-MARCO, J. C. (2022). Primitivo Hernández-Sampelayo (1880-1859): hierros y fósiles paleozoicos. *Boletín Geológico y Minero*, 133(2),

7-43. <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/133.2/001>

TRUYOLS, J. (2011). La influencia de Edouard de Verneuil en el desarrollo de la investigación de la geología española de su época. *Trabajos de Geología (Breviora Geologica Asturica)*, 28(año 2008), 15-24.

4. LA LITOTECA DEL IGME



El IGME cuenta con una infraestructura científica única creada en 1988 en la localidad de Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba), una instalación de 8000 m² donde se conservan, catalogan y gestionan muestras del subsuelo de España en forma de testigos y rípios procedentes de sondeos mecánicos. La ubicación en este lugar no es casual y se debe a dos motivos importantes. Por un lado, en Peñarroya-Pueblonuevo se encontraba la oficina de proyectos más antigua del Instituto Geológico y Minero de España, creada en 1966 y que se cerró en el año 1992, y era posible adquirir terrenos y naves industriales a un precio competitivo. Por otro lado, el desarrollo minero e industrial que tenía la cuenca del Guadiato en aquella época todavía era grande, por lo que se pensó que Peñarroya-Pueblonuevo podría ser un buen lugar donde ubicar un depósito de muestras de sondeos. No menos importante que el archivo de muestras, es el fondo documental (mapas, cartografías, planos y otros documentos gráficos de gran interés histórico y científico) asociado a las actividades de exploración subterránea, explotación de los recursos geológicos de España y minería.

Desde el punto de vista histórico de la minería española, la Litoteca se ubica en una de las instalaciones del denominado *Cerco Industrial de Peñarroya-Pueblonuevo*. Un conjunto de inmuebles industriales asociados a la explotación minera de finales del siglo XIX y primer tercio del siglo XX, declarado bien de interés cultural por la Junta de Andalucía (BOJA, n.º 11, de 16.01.2018) y que perteneció a la Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya (SMMP) de capital francés (López Morell, 2003). La Litoteca se localiza en la nave y terrenos donde estaba instalada la Fábrica de Papel | fig. 1 |, para cuyo procesado se importaba pasta desde Finlandia, aunque el resto de productos químicos eran fabricados en

el complejo industrial de SMMP. En concreto, según el plano original de la SMPPE, la nave principal de la Litoteca se corresponde con el edificio «Máquina de Vapor», donde se ubicaban la máquina de vapor, machacadora, trituradora, etc., y en cuyas proximidades, se alza una chimenea de gran altura destinada a la evacuación de los humos y gases que se generaban en el edificio.

La creación de la Litoteca fue promovida por el entonces director general del IGME Ramón Querol Müller, que conocía de primera mano el mundo de la exploración del subsuelo, y el ingeniero técnico de minas Francisco José Montero Caballero, Pepe Montero (IGME, 1985; Flores Villarejo & Montero Caballero, 1992). Durante muchos años, con un equipo discreto de trabajadores incansables, se consiguió la catalogación de la colección sistemática de la que se dispone actualmente. Tanto el antiguo director, Ramón Querol, como José Montero, se adelantaron a todas las corrientes modernas que ponen el valor la catalogación y conservación de las colecciones de muestras y el libre acceso para su estudio. El ingente trabajo realizado por los trabajadores de la Litoteca, contactando con las empresas e instituciones donantes, el traslado, catalogación e indexación en bases de datos, tanto de muestras como de documentación, dio lugar a esta excepcional colección, cuyo valor material o de reposición y valor científico es incalculable. Algunas de las muestras tienen, además, el valor añadido de su exclusividad, ya que su reposición sería muy difícil o imposible, mientras que algunas colecciones tienen también valor histórico.

La instalación ha sufrido varios procesos de transformación. Actualmente está compuesta por cinco naves, dos de ellas destinadas a la conservación del material ya catalo-



Figura 1. Izquierda, edificio de la Litoteca hacia 1925 en la que fue la Fábrica de Papel de la Sociedad Minero Metalúrgica de Peñarroya SMMP. Fotografía de autor desconocido, cedida por Francisco J. Aute. Derecha, nave principal de la Litoteca del IGME. Fotografía: Clemente Molina (2023).

gado y el resto, al almacenamiento de los sondeos pendientes del proceso de revisión, sala de escaneado de muestras y testigos, distintas zonas para la manipulación y preparación de muestras, testificación de sondeos, biblioteca, sala de documentación y archivos.

Los testigos y las muestras proceden de la investigación y exploración de recursos geológicos (aguas subterráneas, minería, hidrocarburos, energía geotérmica) y la investigación geológica regional, y su procedencia es variada, trabajos realizados por el propio IGME, de otras instituciones públicas y exploraciones realizadas por empresas públicas y privadas.

En la actualidad, la Litoteca tiene como misión la gestión, catalogación, clasificación, digitalización y puesta a disposición para consulta del material custodiado y depositado en sus instalaciones, logrando proporcionar una infraestructura científica que permita mejorar, perfeccionar y actualizar el conocimiento geológico y minero del país dentro de los programas y trabajos de investigación relacionados con las ciencias de la Tierra desarrollados tanto por entes públicos como privados | fig. 2 |. En ella se conservan, catalogan y gestionan más de 265 000 metros de testigo continuo y 2 138 000 muestras de ripios de sondeos de hi-

drocarburos e hidrogeología. Además, se preservan unas 190 000 muestras geoquímicas de sedimentos y suelos y cerca de 10 000 muestras procedentes de estudios de geología marina. También custodia una colección de 40 000 láminas (colección Mariano Aguilar) y 43 000 levigados (colección José Ramírez del Pozo), ambas donadas por la empresa Compañía General de Sondeos S. A. Igualmente conserva un amplio archivo documental: SMMPE 346 metros lineales (ml), ENUSA 158 ml, ENADIMSA 85 ml, TRAGSA 151 ml, Biblioteca del IGME 1050 ml, colección MAGNA 53 ml.

La Litoteca de Peñarroya-Pueblonuevo se está modernizando para ofrecer servicios de diverso tipo que permitan a los usuarios la obtención de los datos que necesitan mediante la realización de ensayos y análisis no destructivos. Los principales servicios ofrecidos por la Litoteca son los siguientes: consultas de los fondos documentales, consulta y gestión de colecciones de testigos y muestras geológicas, corte longitudinal de testigos con sierra de puente, corte de muestras de roca o testigos cortos, obtención de imágenes de testigos, obtención de fotografías de cajas de testigos, consulta de láminas delgadas y obtención de microfotografías, análisis químico por FRX mediante analizador portátil,



Figura 2. Nave principal de la Litoteca del IGME.
Fotografía: Javier Pastoriza.



FRANCISCO JOSÉ MONTERO CABALLERO

Ingeniero técnico de Minas, trabajó en la Oficina de Proyectos del IGME de Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba) desde 1972 hasta 1987. Fue el director de la Litoteca de sondeos del IGME entre 1988 y su jubilación en 2012. Con mucha dedicación, esfuerzo, ilusión y apego por su tierra natal, sacó adelante, con el mínimo de recursos humanos, un patrimonio científico, histórico y cultural muy complicado de catalogar y gestionar.

préstamos para investigación, préstamos para exposiciones temporales, visitas guiadas a la Litoteca, elaboración de informes, etc.

En resumen, el IGME posee la mejor colección científica de testigos y ripios de España, y ofrece un gran beneficio a la ciencia y a la sociedad para la investigación, educación y aprendizaje a varios niveles. Tanto las muestras como los demás datos, son de libre acceso y en el mundo actual de ciencia abierta pueden ser potentes catalizadores de la colaboración internacional y el avance de la investigación científica y la innovación. Esta infraestructura, debe servir como lugar de investigación y estudio para científicos, empresas, estudiantes y administraciones. En la actualidad, la Litoteca participa en proyectos internacionales y forma parte del proyecto europeo GEOINQUIRE, (HORIZON-INFRA-2021-SERV-01-07), que integrará los datos principales en una base de datos disponible en línea bajo los principios FAIR (encontrables, accesibles, interoperables y reutilizables, en sus siglas en inglés) para la comunidad internacional. Estos datos se integrarán en las principales plataformas de datos existentes en Europa, como EPOS (European Plate Observing System) y otras, por lo que los datos estarán disponibles en acceso abierto.

BIBLIOGRAFÍA

IGME. (1985). *Estudio de una Litoteca de testigos de sondeos del IGME*. Sistema de Información Documental del Instituto Geológico y Minero de España, código 00850. http://info.igme.es/SidPDF/019000/540/19540_0001.pdf
FLORES VILLAREJO, P. A., & MONTERO CABALLERO, F. J. (1992).

Litoteca de sondeos del ITGE. *Actas de las sesiones científicas: III Congreso Geológico de España* (Vol. 3; pp. 368-371). Universidad de Salamanca.

LÓPEZ MORELL, M. A. (2003). Peñarroya: un modelo expansivo de corporación minero-industrial, 1881-1936. *Revista de Historia Industrial*, 23, 95-136.

5. DEL MAPA TRADICIONAL
A LOS SERVICIOS DE MAPAS:
DEL PAPEL A LA NUBE



La cartografía ha ido adaptándose a las necesidades y al progreso tecnológico de una sociedad que está en continuo movimiento. A lo largo de la historia se han sucedido diversos momentos de evolución tecnológica que han incidido en la producción cartográfica, como la aparición de la imprenta en el siglo XV, los avances en la óptica en el XVIII o el uso de la litografía y la fotografía ya en el XIX.

El avance científico y el desarrollo tecnológico alcanzado en las últimas décadas del siglo XX han modificado la forma tradicional de realizar la producción cartográfica. La rápida evolución de la informática, a partir de los años setenta, logró reducir los tiempos de procesado, archivo y recuperación de grandes volúmenes de datos, mediante el uso de los ordenadores. La adaptación de los programas de diseño asistido por ordenador (*computer-aided design*, CAD), pensados para diseñar y dibujar nuevos objetos, a la creación de cartografía digital estructurada en capas temáticas mejoró notablemente el proceso de producción cartográfica. Sin embargo, estos carecían de la capacidad de integrar y analizar la información geoespacial que incorporan los sistemas de información geográfica (SIG), lo que les ha convertido en una interesante y útil herramienta que facilita la gestión, análisis y divulgación de la cartografía digital.

El IGME no ha permanecido al margen de esta transformación tecnológica y, en 1991, inició el proceso de modernización de su producción cartográfica comenzando con la digitalización de la Segunda Serie del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) con el fin de generar una base de datos

espacial (Robador & Mancebo, 2020). Para ello, se definió un modelo de datos, tanto físico como lógico, y se realizó la normalización de los mecanismos de captura y representación de la información geológica.

Con las adaptaciones necesarias según la temática, este modelo de datos se aplicó a otras cartografías que estaban en ejecución en ese momento, tanto mapas singulares como el Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1 000 000 (1995), como cartografías sistemáticas a escala 1:200 000 (mapas geológico, hidrogeológico, metalogenético, rocas y minerales industriales), el Mapa Geomorfológico de España 1:50 000 e, incluso, en planes cartográficos internacionales como el desarrollado en la República Dominicana.

El mapa dejó de ser un dibujo y se convirtió en información geoespacial, pero la falta de madurez en las tecnologías para la difusión hizo que las ediciones multimedia, distribuidas en CD, fueran escasas y sus costes de producción elevados, como en el caso del Mapa Geológico Digital a escala 1:50 000 (MGD50).

Hasta este momento, la hoja del mapa era la unidad de trabajo, pero la creación de bases de datos geoespaciales proporcionó una información continua que tenía que ser homogénea tanto a nivel espacial como semántico. Así en 2004, el IGME puso en marcha el programa de cartografía geológica continua digital a escala 1:50 000 (GEODE), en el que se definió un nuevo modelo de datos acorde con las características del proyecto, junto con unas normas de

PROYECTO INGENEES

PROYECTO INGENEES

- Objetivos del proyecto INGENEES
- Organización de la información
- Presentaciones del proyecto
- Ponte en contacto con nosotros

SIGTSI

- Acceso a SIGTSI
- Estructura de directorios
- Conexión a W de SIGTSI

Cartografía del IGME

Cartografía del IGME disponible

Cartografía geológica

MAGNA 50

- MAGNA 50 vector
- Escaneados MAGNA
- El MAGNA en tu navegador

Otras series geológicas

- Geológico 50 (1ª Serie)
- Geológico 200
- Síntesis 200
- Geológico 1000

Geología regional

- Alicante 200 (1989)
- Cantabria 100 (1989)
- Castellón 200 (1989)
- Cáceres 200 (2003)
- Badajoz 200 (2003)
- Ibiza 100 (1997)
- Fuerteventura 100 (1991)
- Menorca 100 (2001)
- Murcia 1:200.000 (1993)
- La Palma 100 (1998)
- Valencia 200 (1989)
- Com. Valenciana 400 (1989)

Cartografía temática

Serie cartografía temática

- Geomorfológico 50
- Orientación al Vertido 50
- Geotécnico 200
- Hidrogeológico 200
- Rocas Industriales 200

Atlas

- Atlas geocientífico de Madrid
- Atlas hidrogeológico de Madrid

Mapas temáticos singulares

- Expansividad Arcillas 1000
- Karst 1000
- Cuaternario 1000
- Movimientos Terreno 1000
- Neotectónico 1000
- Tectónico 1000
- Faja Pirítica 100
- Hidrogeológico 200

Cartografía diversa

Base topográfica del IGN

- BCN 25
- BCN 50
- BCN 200
- BCN 1000
- Topográfico 1000
- Términos municipales 25

Base topográfica del SGE

- Base Topográfica 50

Modelos Digitales Terreno

- MDT 25 del IGN
- MDT 100 del SGE:
 - Por cuadrícula UTM
 - Por provincia *
 - Por hoja 200 *
- MDT 200 del IGN

Otra información

- Ortofotografía Andalucía
- CORINE Land Cover 100
- Mapas de referencia

* Incluyen también ficheros TIN, mapas de pendientes y de orientación de pendiente.

Figura 1. Página principal del portal INGENEES del IGME.

Info IGME

Inicio

Cartografía Geológica

Cartografía Temática

Mapa del mes

Contacte con nosotros:

CARTOGRAFÍA DEL IGME

Cartografía del IGME

La cartografía geológica y temática del IGME constituye una plataforma de conocimiento fundamental para el desarrollo de las actividades científicas, técnicas y socioeconómicas que afectan directamente al medio físico y a los recursos del suelo y el subsuelo. Además, sirve de soporte a múltiples actividades de investigación y toma de decisiones en relación con la gestión de los recursos naturales, las obras públicas, la agricultura y los usos del suelo, la ordenación territorial, el medio ambiente o los riesgos naturales, entre otras.

Cartografía geológica

Muestra la disposición sobre la superficie del terreno de los diferentes tipos de rocas, agrupadas por sus características litológicas y edad. [-]

Cartografía temática

Muestra la relación entre la geología y el relieve o singulariza algunas propiedades de las rocas o muestra la distribución de determinados recursos geológicos. [-]

Mapa del mes

Selección mensual para dar a conocer la información cartográfica digital disponible en el IGME y acercar al público general los temas relacionados con las Ciencias de la Tierra. [-]

Servicios de mapas

Acceso a los servicios web del IGME siguiendo los estándares de interoperabilidad del Open Geospatial Consortium (OGC) y servicios KML y ArcGIS server del IGME. [-]

Figura 2. Portada del portal de cartografía digital de la web del IGME.

realización y una metodología de control de la calidad. Siguiendo sus pasos, se han elaborado cartografías geológicas posteriores, tales como el Mapa Geológico de España y Portugal a escala 1:1 000 000 (2015), diferentes proyectos cartográficos realizados mediante convenios con comunidades autónomas y programas internacionales como el Plan Geológico de Angola (PLANAGEO).

Además, se abordó la construcción de una serie de sistemas de información que facilitasen el acceso y la explotación de su información geocientífica, entre ellos el sistema de información geoespacial INGEOES (Prieto *et al.*, 2006) | fig. 1 |. El portal INGEOES se originó a partir de la recopilación y organización, en un repositorio común, de la cartografía geológica y geotemática disponible en formato digital del IGME. Su objetivo era permitir la búsqueda, consulta y descarga de la información cartográfica en múltiples formatos, desde formatos nativos SIG para usuarios expertos, a ficheros gráficos de libre difusión listos para su visualización o su impresión directa.

Ante las dificultades que los usuarios tenían a la hora de encontrar y disponer de datos geoespaciales, la Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo, «por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (INSPIRE)» (DOUE, n.º 108, de 25.04.2007) vino a facilitar dicha búsqueda, haciendo pública la disponibilidad de los datos según unos formatos comúnmente aceptados. Esta directiva y su trasposición a la legislación española, Ley 14/2010 «sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España» (LISIGE: BOE, n.º 163, de 06.07.2010), sentaron las bases reguladoras y normativas para que las Administraciones públicas publicaran los datos espaciales de su competencia de modo interoperable mediante servicios web, conforme a una serie de normas y especificaciones, la creación de metadatos de todos los datos y servicios web accesibles, para facilitar su búsqueda y descubrimiento, así como la adopción de estándares para el intercambio de información.

Al facilitarse de esta forma la interoperabilidad, se hizo necesario considerar la conveniencia de armonizar la información generada por los diferentes organismos europeos productores de cartografía, lo que se tradujo en pla-

nes de producción conjunta de información como eWater, OneGeology-Europe o OneGeology, proyectos que supusieron un salto importante en la interoperabilidad de mapas digitales en Europa.

El IGME, como productor de cartografía oficial, y nodo de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), ha aplicado los principios que establecen las directivas europeas, facilitando el acceso a su información geocientífica través de su web mediante InfoIGME (<https://info.igme.es/>), donde se incluyen herramientas y recursos relacionados con la cartografía digital como 1) el «portal de cartografía digital» (<https://info.igme.es/cartografiadigital/>), que es el punto de acceso a la cartografía del IGME que se encuentra disponible en formato digital | fig. 2 |, así como a las memorias, servicios de mapas, metadatos y cualquier información considerada de interés. La mayor parte de esta información se puede descargar en formato .jpg o .pdf. La información vectorial se suministra en formato *shapefile* de ESRI mediante solicitud al Servicio de Cartografía Digital. 2) El «directorio de servicios de mapas» (<https://mapas.igme.es/servicios/>), que proporciona los geoservicios interoperables de visualización y consulta de la información cartográfica y las bases de datos del IGME. Los servicios de mapas WMS/WMTS (*web map services*) siguen los estándares del Open Geospatial Consortium (OGC). Además, se incluyen servicios KML (Google Earth) y ArcGIS Server. 3) El «visor cartográfico» (<https://info.igme.es/visor/>), que permite mostrar, navegar e integrar la información de los servicios de mapas del IGME con los datos y servicios publicados por otros organismos, que forman parte de la red de Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE) al igual que el IGME, ya que siguen unas normas y especificaciones comunes.

BIBLIOGRAFÍA

- PRIETO MARTÍN, A., PÉREZ CERDÁN, F., & CARROZA GARCÍA, J. A. (2006). *Portal de acceso a la cartografía digital del IGME*. TECNIMAP (Sevilla, 30.05-02.06.2006). https://administracionelectronica.gob.es/pae_Home/dam/jcr:bbe78ae0-a4c9-4doa-a9d5-893dd719012b/portal_de_acceso_a_la_cartografia.pdf
- ROBADOR, A., & MANCEBO, M. J. (2020). El mapa geológico, del papel al objeto tridimensional. *Mapping*, 29(200), 110-111.

6. DEL CUADERNO
DE CAMPO A LAS
INFRAESTRUCTURAS
DE CONOCIMIENTO
GEOLÓGICO



ÁNGEL PRIETO MARÍN
CARLOS LORENZO CARNICERO
M. TERESA LOPEZ BAHUT
SILVIA CERVEL DE ARCOS
CESAR HUSILLOS RODRÍGUEZ
MARGARITA P. SANABRIA PABÓN
MIGUEL ANGEL ALARCÓN FRÍAS
JUAN C. GUMIEL GUTIÉRREZ
J. ROMÁN HERNÁNDEZ MANCHADO

Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC

La gestión de la información geocientífica abarca cuatro etapas fundamentales: captura, custodia, difusión y explotación. En las últimas décadas, hemos sido testigos de un progreso sin precedentes en cada una de ellas.

CAPTURA. DESCUBRIENDO OPORTUNIDADES Y POTENCIANDO LA CAPTURA EFICIENTE DE DATOS

Durante décadas los cuadernos de campo han sido una herramienta imprescindible para el personal del IGME donde documentar, anotar las características del terreno y almacenar cualquier otra información relevante (observaciones, mediciones, coordenadas, croquis, perfiles, etc.). Proporcionaban un registro manuscrito del trabajo en campo del personal del instituto a partir del cual se generaban mapas, perfiles, estudios, informes, publicaciones o análisis de datos.

Con el avance de la tecnología los geólogos han encontrado en las tabletas y teléfonos inteligentes formas más eficaces y precisas de capturar la información de campo. El IGME ha desarrollado aplicaciones para estos dispositivos que no solo replican las funciones del cuaderno de campo, sino que lo mejoran con capacidades multimedia (fotos y vídeos) y lo completan haciendo uso de los datos registrados por los sensores de estos dispositivos (GPS, clinómetro,

brújula, termómetro, etc.). Es un cuaderno de campo 2.0 | fig. 1 |. Estas aplicaciones, también han permitido el acceso y consulta sobre el terreno de mapas, inventarios, mediciones y otra información preexistente. Todo ello ha mejorado la eficiencia por cantidad y calidad de información capturada, eliminando además la necesidad de transcripción de los datos *a posteriori*.

Otro avance tecnológico disruptivo en la geología ha sido la teledetección satelital y los drones, que han ampliado las capacidades de observación de la Tierra, brindando a los geólogos una visión más completa y detallada de la superficie terrestre y mejorando su comprensión de los procesos geológicos. Los sensores en satélites, aviones, helicópteros y drones capturan imágenes multiespectrales (ópticas y térmicas), hiperespectrales y de radar. Estas imágenes permiten una visión global a diferentes escalas espaciales y temporales más allá de la percepción humana, facilitando la identificación de características geológicas, la detección de cambios en el terreno, la creación de modelos digitales de elevación y la planificación de trabajos de campo. Por su parte, los drones ofrecen mayor resolución temporal y espacial, flexibilidad y capacidad de maniobra | fig. 2 |. Pueden instalar una gran variedad de sensores y sobrevolar zonas de difícil acceso o peligrosas, proporcionando datos en tiempo real. Todas estas ventajas justifican que el IGME cuente con servicios consolidados de teledetección y trabajos aéreos (Chaminé *et al.*, 2021).

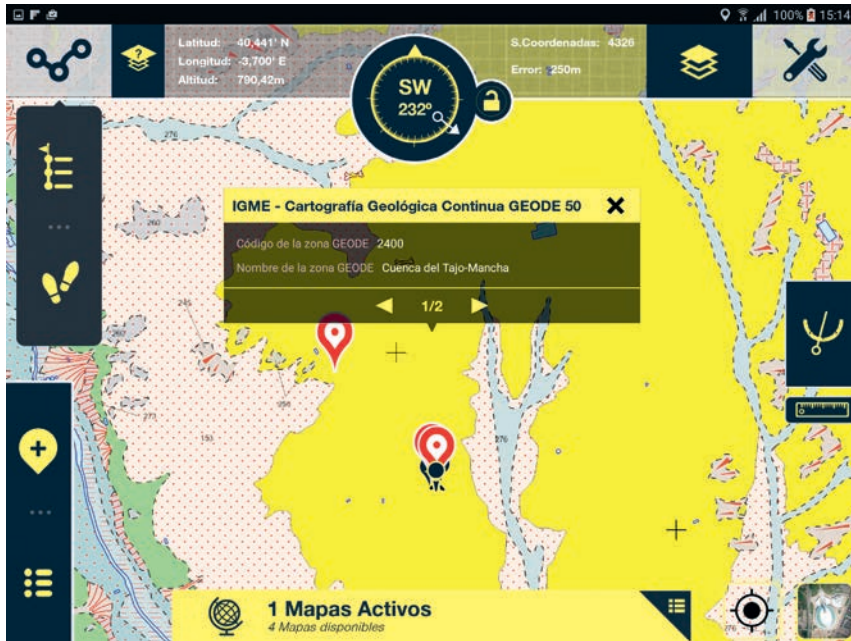


Figura 1. INGEOTAB, aplicación desarrollada por el IGME para la toma de datos en campo.

CUSTODIA. GARANTIZANDO LA INTEGRIDAD Y ACCESIBILIDAD DE LOS DATOS

La era digital ha revolucionado la gestión y disponibilidad de la información geológica al permitir la generación y digitalización de datos que anteriormente se encontraban en formatos físicos (analógicos) como papel, diapositivas, microfichas y otros soportes. Esta transformación ha traído consigo numerosos beneficios, ya que la información geológica digitalizada es más fácil de almacenar, acceder, compartir y analizar.

Desde su creación, dentro de sus misiones, el IGME ha salvaguardado la información generada durante sus 175 años de existencia realizando labores científico-técnicas. El resultado de este compromiso se traduce en la existencia de repositorios digitales que almacenan de forma estructurada y accesible más de 40 bases de datos relevantes, alrededor de 2300 mapas y 11 000 documentos.

DIFUSIÓN. COMPARTIENDO INFORMACIÓN DE MANERA EFECTIVA

El acceso a la información del IGME se ha simplificado gracias a la digitalización y a Internet, eliminando la necesidad de visitar físicamente el centro de documentación o la biblioteca. En estas últimas décadas se ha producido un avance significativo, desde la consulta y solicitud de información mediante correo electrónico o formularios web hasta la creación de InfoIGME, portal que ofrece acceso, visualización y consulta de la información geológica del IGME. Incluye también la consulta de catálogos, un visor cartográfico y aplicaciones temáticas para diferentes bases de datos.

Además, el IGME, como nodo de la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE), ha implementado las políticas, tecnologías y estándares encaminados a la compartición de datos a través de servicios de descubrimiento, visualización y descarga impuestas por la Unión Europea en la Directiva 2007/2/CE (DOUE, n.º 108, de 25.03. 2007). El catálogo de metadatos, el servicio de localización (CSW) de descubrimiento asociado y los mecanismos de federación

facilitan el acceso a la información del IGME y su presencia en infraestructuras de datos espaciales (IDE) y portales de datos abiertos nacionales e internacionales.

Uno de los retos más importantes a los que se enfrenta el IGME en relación con la difusión, es el de incrementar el grado de adecuación de su información a los principios FAIR (siglas en inglés de «encontrable», accesible, interoperable y reutilizable), y que facilitará la utilización de la información geológica por parte de los usuarios, promoviendo la transparencia, la colaboración y la generación de nuevos conocimientos en el ámbito de la geología.

EXPLOTACIÓN. POTENCIANDO EL IMPACTO DE LA INFORMACIÓN EN LA TOMA DE DECISIONES

El fin de toda captura de datos científicos es generar nueva información y, siendo más ambiciosos, generar nuevo conocimiento mediante su explotación. Para ello, distintos institutos geológicos europeos están trabajando dentro del proyecto Geological Service for Europe (GSEU)*, promovido por EuroGeoSurveys, que pretende generar una European Geological Data Infrastructure (EGDI: <https://www.europe-geology.eu/>).

El IGME destaca dentro de EGDI por haber desarrollado un sistema de búsqueda avanzado denominado *Search System*, que permite obtener resultados relevantes mediante la búsqueda en datos y metadatos utilizando texto y delimitación espacial. Además, hace uso de un tesoro multilingüe para agregar traducciones y términos similares a los proporcionados por el usuario, mejorando la precisión de los resultados. El sistema utiliza diversos criterios para determinar los mejores resultados considerando la coincidencia del texto, la relevancia de los conjuntos de datos y la escala. Cada resultado ofrece enlaces directos a aplicaciones web y URL para acceder al conjunto de datos en diferentes formatos.

* GSEU (A Geological Service for Europe convocatoria: HORIZON-CL5-2021-D3-02-14: Support to the activities of the European Geological Services).



Figura 2. El uso de drones en la emergencia volcánica de La Palma en 2021 fue fundamental. Imagen: IGME.

Se pretende que EGDI tenga un enfoque integral y suponga una evolución en la gestión y disseminación de la información geológica, mediante el desarrollo de herramientas analíticas y técnicas de visualización adaptadas a las necesidades de los usuarios. EGDI pretende facilitar la comprensión, interpretación y aplicación del conocimiento geológico para generar valor, abordar problemas y tomar decisiones fundamentadas que permitan acometer algunos de los desafíos a los que se enfrenta la sociedad moderna como el cambio climático, la gestión de recursos y riesgos naturales el ordenamiento territorial, la protección del medioambiente o las energías renovables. El Search System será una de las herramientas fundamentales de esta infraestructura, que busca fortalecer la capacidad de los usuarios para aprovechar y aplicar el conocimiento geológico en su trabajo y en la toma de decisiones cotidianas (Hollis *et al.*, 2022).

BIBLIOGRAFÍA

CHAMINÉ, H. I., PEREIRA, A. J. S. C., TEODORO, A. C., & TEIXEIRA, J. (2021). Remote sensing and GIS applications in earth and environmental systems sciences. *SN Applied Sciences*, 3, 870. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04855-3>

HOLLIS, J., BRICKER, S., ČÁPOVÁ, D., HINSBY, K., KRENMAYR, H.G., NEGREL, P., OLIVEIRA, D., POYIADJI, E., VAN GESSEL, S., VAN HETEREN, S., & VENVIK, G. (2022). Pan-European geological data, information, and knowledge for a resilient, sustainable, and collaborative future. *European Geologist*, 53, 6-19. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6883282>

7. 1926 Y 1989,
DOS AÑOS CLAVE
EN LA HISTORIA
DEL MUSEO
GEOMINERO*



Desde su fundación en 1849, la Comisión de la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, o Comisión del Mapa Geológico de España, como se la denominó más tarde, tuvo entre sus objetivos principales la confección del mapa geológico. Como resultado de ello, en sus locales se reunieron aquellas colecciones de minerales, rocas y fósiles de las provincias en las que se fueron completando los trabajos geológicos. Desde la ubicación primera de la institución, en el Palacio del Duque de San Pedro, en la calle Florín n.º 2 (actual Fernanflor), las colecciones acompañaron a los ingenieros de minas en las diferentes sedes que tuvo la institución hasta su ubicación definitiva en el edificio de la calle Ríos Rosas. Tras la disolución de la Comisión en 1859, las colecciones se trasladaron al antiguo convento de la Trinidad Calzada, en la calle Atocha, sede del Ministerio de Fomento. Allí se alojaba la Junta General de Estadística, responsable a partir de 1860 de la confección de todas las cartografías temáticas (geológica, hidrológica, forestal e itineraria), como consecuencia de los planes del gobierno de O'Donnell para el fortalecimiento de las operaciones geográficas y catastrales. En 1870, con la refundación de la Comisión del Mapa Geológico, las colecciones se trasladaron a unos pisos alquilados en el edificio de la ca-

lle Isabel la Católica n.º 23, donde tuvo su sede hasta 1926 (Rábano, 2022).

Las obras de ampliación de la Gran Vía, iniciadas por el Ayuntamiento de Madrid en 1910, afectaron a casi trescientos edificios, de los que quince desaparecieron, entre ellos el que fue sede de la Comisión desde 1870. Luis Adaro y Magro, director del Instituto Geológico de España en 1915, e impulsor del cambio de orientación y de un nuevo nombre para la institución, *Instituto Geológico de España*, inició las gestiones para la construcción de un edificio propio, que fueron continuadas por Rafael Sánchez Lozano: compra del solar, proyecto del nuevo edificio, contratación del arquitecto (Rábano *et al.*, 2006).

El primer cuerpo del nuevo edificio se inauguró en 1926 con motivo de la celebración en España del XIV Congreso Geológico Internacional. Ese año marca una de las fechas importantes del museo. Concluido el evento, la gran sala construida al efecto, fue destinada al segundo objetivo marcado en su proyecto arquitectónico, que era poder instalar las colecciones geológicas que el Instituto conservaba en su anterior ubicación | fig. 1 |. Todo ello siguiendo el diseño y desarrollo del proyecto expositivo marcado por el primer director del museo, el ingeniero de minas Primitivo Hernández-Sampelayo (Rábano & Gutiérrez-Marco, 2022).

Los diferentes cambios que había sufrido la institución entre 1859 y 1926, con sus mudanzas correspondientes, pro-

* Contribución al proyecto PID2021-123323NB-I00 / AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE del Ministerio de Ciencia e Innovación.



Figura 1. Izquierda, Primitivo Hernández-Sampelayo (Archivo Jacobo Melgar García de Andrade). Derecha, el museo en una fecha desconocida, estimada hacia los años cuarenta del siglo xx (EFE/Archivo Díaz Casariego).

dujeron efectos devastadores sobre las colecciones, que llegaron bastante mermadas a la nueva sede. El nuevo espacio se configuró en un principio como un lugar de depósito y exhibición interna para los propios ingenieros, donde podían consultar la diversidad mineralógica, paleontológica y petrológica de los terrenos españoles de aplicación para sus propios trabajos. Aunque pronto se abrió a las visitas de especialistas externos y de escolares con sus profesores. El reglamento de 1927 del Instituto Geológico y Minero de España indicaba que «los salones en que estén depositadas las colecciones del Instituto deberán abrir al público todos los días laborables al menos durante tres horas para que [los visitantes] puedan examinarlos gratuitamente [los ejemplares]» (*Gaceta de Madrid*, n.º 95, de 05.04.1927). Lamentablemente, no se ha conservado la información de si esto llegó a ocurrir, aunque sí que existe constancia de visitantes desde 1949.

Desde la finalización de la Guerra Civil, los trabajos de ordenación de colecciones, con la incorporación paulatina

PRIMITIVO HERNÁNDEZ-SAMPELAYO (1880-1959)

Fue una de las figuras más relevantes en el estudio paleontológico del Paleozoico español en la primera mitad del siglo xx. Tras unos años iniciales dedicados a la minería, ingresó en el Instituto Geológico de España en 1914, donde trabajó hasta su jubilación en 1950. Tras la inauguración de la sala en 1926, proyectó la construcción de las vitrinas del museo y diseñó sus contenidos. Dirigió el museo hasta su jubilación.



Figura 2. Sala del Museo Geominero.
Fotografía de Pedro López (IGME, CSIC).

de nuevas vitrinas de exhibición, así como de ingreso de nuevos ejemplares, transcurrieron con más o menos altibajos, pero nunca se interrumpieron.

En 1987 el Instituto Geológico y Minero de España apostó por su museo para proporcionarle un nuevo impulso como centro de difusión de las ciencias de la Tierra, abordándose importantes obras de rehabilitación de la sala. Entre ellas la restauración de la monumental vidriera policromada obra del taller de la Casa Maumejean, así como la sustitución de la cúpula que la protege por una con materiales más eficaces contra las inclemencias del tiempo. El 2 de marzo de 1989 fue la segunda fecha destacada en la historia del museo, tras la inauguración que tuvo lugar en mayo de 1926 durante el Congreso Geológico Internacional. En aquella ocasión fue el rey Alfonso XIII quien asistió a ese acto; en la reinauguración de 1989, su nieto Juan Carlos I. Tomó el nuevo nombre de *Museo Geominero*, por el que se conoce desde entonces, tras haber sido identificado en épocas anteriores simplemente como museo del Instituto Geológico y Minero de España o, de una forma más ambiciosa pero informal, como Museo Nacional de Geología.

La gran sala del museo constituye la pieza más espectacular del edificio [fig. 2], que conserva el mobiliario original diseñado por Hernández-Sampelayo. Entre 1990 y la actualidad se ha realizado un importante trabajo en relación con la conservación de las colecciones, que se encuentran totalmente inventariadas, el diseño de programas públicos y de productos acompañantes, así como de investigación y divulgación de las ciencias de la Tierra.

BIBLIOGRAFÍA

- RÁBANO, I. (2022). Un viaje por la historia de las colecciones del Instituto Geológico y Minero de España. En M. Ayarzagüena Sanz, J. F. López Ciudad & M. A. Sebastián Pérez (Eds.), *Minería y Metalurgia Históricas en el Sudoeste Europeo. Geología, Minería y Sociedad* (pp. 335-352). Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero; Ayuntamiento de Ciempozuelos.
- RÁBANO, I., & GUTIÉRREZ-MARCO, J. C. (2022). Primitivo Hernández-Sampelayo (1880-1859): hierros y fósiles paleozoicos. *Boletín Geológico y Minero*, 133(2), 7-43. <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/133.2/001>
- RÁBANO, I., RIVAS, P., & RENÉ, T. (2006). *Instituto Geológico y Minero de España. Historia de un edificio*. Instituto Geológico y Minero de España.

8. UN YACIMIENTO PALEONTOLÓGICO
Y UNA NUEVA INFRAESTRUCTURA
PARA EL IGME EN EL SIGLO XXI:
FONELAS P-1
Y LA ESTACIÓN PALEONTOLÓGICA
VALLE DEL RÍO FARDES



El yacimiento paleontológico Fonelas P-1 (Fonelas, Granada) fue descubierto en el año 2000 por Gilberto Martínez (†2023) e iniciada su excavación sistemática e investigación en 2001 a través de un programa integral de investigación (el yacimiento y su contexto geológico regional en la cuenca de Guadix-Baza, Hoya de Guadix), por un equipo financiado y dirigido desde el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ya en la primera campaña de campo se evidenció la singularidad de su registro fósil y su interés científico, técnico y patrimonial (Arribas *et al.*, 2001). Dado el posible potencial del yacimiento debido a la presencia de excepcionales y abundantes huesos fosilizados, su elevada diversidad taxonómica, su cronología relativa —no representada en el Pleistoceno inferior español— y su posición en la propia cuenca, se becó desde el IGME e inició una tesis doctoral sobre paleontología sistemática de los macromamíferos del yacimiento (Garrido, 2006), y en el año 2002 se iniciaron las negociaciones con los propietarios en la idea de adquirir el yacimiento con el fin de realizar desarrollos científico-técnicos de utilidad pública. En esos años también comenzamos, en colaboración con el Grupo de Desarrollo Rural Comarca de Guadix y su gerente, Juan José Manrique, los trabajos científico-técnicos conducentes a la propuesta de un Geoparque de la UNESCO en este ámbito geográfico de la provincia de Granada, por sus excepcionales valores geológicos, paleontológicos y paisajísticos en relación con el registro del Cuaternario.

Los resultados de la primera década de actividades permitieron: el conocimiento paleontológico integral del yacimiento, con la identificación de veinticuatro especies

de grandes mamíferos, algunas de ellas ignotas en nuestras latitudes o nuevas para la ciencia, y la datación del sitio mediante el análisis bioestratigráfico (Garrido, 2006; Arribas, 2008); el establecimiento de su estratigrafía y modelo sedimentológico a través de una asistencia técnica del IGME con la Universidad de Granada; y el estudio magnetoestratigráfico del contexto geológico del yacimiento y su entorno en la Hoya de Guadix (a través de una asistencia técnica del IGME con la Universidad de Barcelona), estudios estos últimos que permitieron ubicar este extraordinario ecosistema extinto en una antigüedad de 2 Ma. El conjunto de información relevante del sitio ha permitido reevaluar las dispersiones faunísticas de grandes mamíferos en el Pleistoceno inferior del Viejo Mundo y plantear una novedosa hipótesis sobre las mismas, centrando su cronología entre 2,1-2,0 Ma de antigüedad (Arribas *et al.*, 2009).

Así mismo, en estos años se desarrolló una exposición itinerante sobre el proyecto, se trabajó de forma intensa en los aspectos patrimoniales del yacimiento (en el año 2007 Fonelas P-1, que ya figuraba en el Inventario Andaluz de Georrecursos, es incluido en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico [<http://info.igme.es/ielig/>]), y catalogado como *global geosite* del contexto «Yacimientos de vertebrados del Plioceno y Pleistoceno españoles» (Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y Biodiversidad, BOE, n.º 299, de 14.12.2007) y, definitivamente y tras siete años, se autorizó por parte del IGME la adquisición del yacimiento como parte de una finca destinada a ser «zona de reserva geológica de la Cuenca de Guadix», compra ejecutada en el año 2010 | fig. 1 |.



Figura 1. El 28 de diciembre del año 2010 tuvo lugar, en Guadix, la adquisición por parte del IGME de la finca de 25 ha en la que se ubica el yacimiento de Fonelas P-1. En la Notaría, junto a las familias vendedoras, Carrión y Gómez, se encuentra sentada (con chaqueta blanca) la primera mujer que dirigió el IGME (entre 2010 y 2012), la Dra. Rosa de Vidania Muñoz, quien decidió realizar esta adquisición de patrimonio geológico y creyó en esta nueva idea de desarrollo. A la izquierda de la mesa está el Dr. Arribas. (Archivo A. Arribas).

Una vez la finca fue propiedad estatal, en 2011 se nombra como *Estación Paleontológica Valle del Río Fardes* (EPVRF) y se planifican distintas fases de su desarrollo, de las cuales se ha ejecutado la primera y más importante, relacionada con la geoconservación y puesta en valor del *global geosite* (VP014) Fonelas P-1: el Centro Paleontológico Fonelas P-1 (CPFP-1). Para ello, en 2012 el IGME acondicionó la parte superior del yacimiento a través de un movimiento de tierras (1174 metros cúbicos de rocas estériles evacuadas, un metro por encima de la unidad fosilífera situada en la cota 927 m. s. n. m.), se instaló una empalizada externa de protección frente a riesgos geológicos, se diseñó un proyecto de obra (básico y de ejecución) y se adquirió equipamiento técnico, científico y energético —energías renovables solar y minieólica— para dotar al futuro CPFP-1.

También en este año, se solicita una subvención de 460 793,51 € al Grupo de Cooperación provincial de Granada para la construcción del Centro Paleontológico Fonelas P-1 (instalación prefabricada). El 19 de diciembre de 2012 se aprueba la totalidad de la subvención solicitada por el IGME en el marco de la EPVRF, para la construcción de una protección (cubierta, envolvente y paramentos) de parte de la superficie de excavación de Fonelas P-1, que permita un cerramiento del yacimiento, para garantizar su protección de los agentes atmosféricos y biológicos, así como albergar actividades de investigación paleontológica, divulgación y

docencia. Esta subvención es aprobada por parte del Grupo de Cooperación de la provincia de Granada (Dirección General de Desarrollo Sostenible del Medio Rural) en la categoría Protección y Conservación del Patrimonio Cultural, y es cofinanciada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional y la Junta de Andalucía. La infraestructura generada por medio de esta financiación, ejecutada durante el año 2013, constituye el Centro Paleontológico Fonelas P-1 (1020 m² de superficie protegida, | fig. 2 |) y representa la primera fase de la Estación Paleontológica Valle del Río Fardes.

En 2014 el IGME (la EPVRF bajo la dirección científica de Alfonso Arribas) define, dota de contenidos, diseña y financia la museografía del Centro Paleontológico (encargando la ejecución material mediante asistencia técnica). Durante ese año y el siguiente se desarrolla la nueva página web IGME de la Estación Paleontológica Valle del Río Fardes (<https://www.igme.es/epvrf/estacion>). De forma paralela, entre los años 2015 y 2018, desde la EPVRF se configura y define técnicamente (y se recaba apoyo social e institucional) lo que será el Geoparque de Granada (inicialmente nominado Geoparque del Cuaternario Valle del Norte de Granada).

En el año 2016 (noviembre) desde el IGME se destina a un titulado superior a la EPVRF, que está activo como responsable de campo hasta noviembre de 2022. En 2018 se inicia el inventario biológico (zoología y botánica) y la mo-



Figura 2. Vista externa (2022) de la fachada principal del Centro paleontológico Fonelas P-1 en la finca de la Estación Paleontológica Valle del Río Fardes, en Fonelas (Granada). En el camino de acceso en la finca del IGME se sitúa el panel del Geoparque de la UNESCO de Granada (Granada UGGp) sobre el yacimiento paleontológico Fonelas P-1. (Archivo A. Arribas).

nitorización ambiental de la EPVRF. En 2019 se desarrollan la ruta geológica de campo de la EPVRF y el módulo divulgativo Historia de la Tierra y de la Vida (de nuevo, desde la EPVRF se definen, dotan de contenidos y diseñan; estas actuaciones, que son cofinanciadas por el IGME y la Diputación de Granada). Y a finales de 2022 se incorpora, también como responsable de campo, una ayudante de investigación.

Finalmente, en el bienio 2023-2024, Fonelas P-1 se incorpora al programa IUGS Geological Heritage Sites (IGCP 731).

Este conjunto de trabajos y productos (Arribas *et al.*, 2021) es lo que hace que hoy día Fonelas P-1, como patrimonio geológico (*geosite*), sea parte del patrimonio del Estado, constituya un ejemplo de geoconservación y exista una estación paleontológica de campo asociada al mismo, la EPVRF, dando servicio a la sociedad desde el mundo rural, permitiendo la transferencia del conocimiento generado por las ciencias geológicas, desde el IGME del CSIC, en el ámbito de un geoparque mundial de la UNESCO.

BIBLIOGRAFÍA

- ARRIBAS, A. (Ed.). (2008). *Vertebrados del Plioceno superior terminal en el suroeste de Europa: Fonelas P-1 y el Proyecto Fonelas*. Instituto Geológico y Minero de España.
- ARRIBAS, A., GARRIDO, G., VISERAS, C., SORIA, J. M., PLA, S., GARCÍA, J., GARCÉS, M., BEAMUD, E., & CARRIÓN, J. S. (2009). A mammalian lost world in southwest Europe during the Late Pliocene. *PLoS ONE*, 4(9), e7127. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007127>
- ARRIBAS, A., RIQUELME, J. A., PALMQVIST, P., GARRIDO, G., HERNÁNDEZ, R., LAPLANA, C., SORIA, J., VISERAS, C., DURÁN, J. J., GUMIEL, P., ROBLES, F., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., & CARRIÓN, J. (2001). Un nuevo yacimiento de grandes mamíferos villafranquienses en la Cuenca de Guadix (Granada): Fonelas P-1, primer registro de una fauna próxima al límite Plio-Pleistoceno en la Península Ibérica. *Boletín Geológico y Minero*, 112(4), 3-34.
- ARRIBAS HERRERA, A., GARRIDO ÁLVAREZ, G., GARRIDO GARCÍA, J. A., GARCÍA TORTOSA, F. J., & MEDIALDEA PÉREZ, C. (2021). Quaternary large mammals from the Granada Geopark: A magnificent record with examples of geoconservation. *Geoconservation Research*, 4(2), 663-674. <https://doi.org/10.30486/gcr.2021.1929773.1093>
- GARRIDO, G. (2006). Paleontología sistemática de grandes mamíferos del yacimiento del Villafranquense superior de Fonelas P-1 (Cuenca de Guadix, Granada) [Tesis Doctoral]. Universidad Complutense de Madrid.

9. FÓSILES,
MINERALES
Y ROCAS
CON DERECHO
A RÉPLICA

Muchas de las piezas que se muestran en las colecciones de los museos son en realidad copias idénticas de los originales. La razón que obliga a los conservadores a exhibir réplicas, en lugar de su equivalente genuino, es la necesidad de preservar el ejemplar original, bien por la fragilidad de la pieza, bien por su excepcionalidad derivada de su valor, tanto científico como histórico o económico. Por consiguiente, la realización de réplicas nace de la obligación de conservar el carácter único de un ejemplar concreto, generalmente susceptible de menoscabo en el transcurso del tiempo, de entre el resto de elementos que forman parte del patrimonio de un museo.

Los materiales artísticos y arqueológicos se han copiado desde hace siglos con diversos procedimientos, si bien no es hasta mediados del siglo XX cuando se comienzan a reproducir los ejemplares geológicos con cierta calidad y fidelidad gracias al desarrollo de productos sintéticos, como la silicona de reticulación a temperatura ambiente, que es elástica, antiadherente (lo que permite un fácil desmoldeo), resistente al desgarro y a los agentes químicos, y permite obtener un alto grado de resolución además de un gran número de réplicas a partir de un único molde. Esto, junto con la utilización de nuevos materiales de vaciado, de alta calidad y prácticamente sin cambios dimensionales (morteros y resinas), garantiza la obtención de la fidelidad esperada.

La primera condición para hacer una réplica es que el ejemplar original no sufra ningún daño. No debe ser objeto de alteraciones químicas ni mecánicas que lo deterioren. Por esta razón es imprescindible conocer la naturaleza del material que hay que replicar, estudiando *de visu* la forma y el volumen, y bajo lupa binocular el tipo y tamaño de poros, las fisuras, la dureza, etc., para elegir el producto más adecuado. Los moldes constituyen el «negativo» del ejemplar en cuestión y pueden estar formados por una o varias piezas. Si se realizan en silicona, por su naturaleza elástica, es necesario generar una carcasa rígida de sujeción que mantenga la forma original.

Para realizar el «positivo» de la pieza (el vaciado), el molde se rellena con un producto capaz de endurecerse y permanecer rígido. Normalmente se emplean escayolas modificadas, de diversas durezas, resinas de poliéster, poliuretano y epoxídicas. Estos productos permiten alcanzar amplias gamas de dureza, transparencia, resistencia a impactos y al paso del tiempo. La adición de pigmentos y cargas (material sólido pulverizado) posibilita la generación de colores y texturas que ayudan a reproducir las complejidades naturales de fósiles, minerales y rocas. El acabado final, o pátina, se realiza con pigmentos, pinturas y tintes que darán a la réplica su aspecto definitivo.

Una vez preservado el original, las copias pueden servir para distintos fines (Baeza *et al.*, 2013a, 2013b): desde



la difusión a otros centros para su exhibición temporal o permanente hasta el estudio científico, el uso didáctico, el intercambio entre instituciones, la comercialización o la propia conservación de los originales | fig. 1 |. Lo ideal es que una réplica transmita con precisión las características del original, al menos desde una perspectiva puramente visual. Solo una técnica depurada y muchos años de experiencia permiten a los profesionales intervenir un original sin dañarlo y reproducir la forma, la textura, el volumen, el color, la transparencia y el peso de cualquier ejemplar. La patente es una herramienta fundamental para proteger los resultados de la investigación y facilitar la transferencia de conocimiento.

Uno de los autores de este texto (Eleuterio Baeza), geólogo y conservador-restaurador del Museo Geominero, desarrolló en 2005 una patente de invención que permite generar réplicas formadas por varios materiales y en distintas fases, dentro de un proceso englobado en la técnica general del moldeo y vaciado | fig. 2 |. La Oficina Española de Patentes y Marcas establece que las «patentes de invención son títulos que impiden a otros la fabricación, venta o utilización

Figura 1. Réplica policromada de una concentración de huellas de *Scolicia prisca*, producida por equinidos irregulares en la base de una capa de *flysch* arenoso del Eoceno de los acantilados de Zumaia (Guipúzcoa), en el Geoparque Mundial de la UNESCO de la Costa Vasca. Fotografía: Geoparkea.



Figura 2. Cartel anunciador de la exposición «¿Original o réplica?» para la que se realizaron 41 réplicas de fósiles, minerales y rocas.

comercial en España de la invención protegida. El titular de la patente está obligado a explotarla, bien por sí mismo o bien a través de otras personas autorizadas, durante los 20 años de concesión». Así pues, el IGME es el titular de la patente denominada *Proceso de reproducción de fósiles, rocas y minerales y producto obtenido*, con n.º ES.2.273.577.A1 y periodo de explotación hasta 2025. La técnica patentada permite obtener piezas con un grado de realismo extraordinario al hacer coexistir dentro de la misma copia materiales muy diferentes en color, brillo, transparencia y composición.

En la actualidad, los conocimientos de conservación y restauración de bienes culturales, materiales y el desarrollo de nuestras técnicas están permitiendo arranques de estructuras sedimentarias en la Caldera de Taburiente (isla de La Palma, Canarias) con gran precisión y fidelidad. Ya es posible también generar escaneados 3D de altísima calidad que permiten la reproducción en impresoras 3D. Esta técnica ofrece grandes ventajas, como no tener que manipular los originales y poder cambiar la escala. Sin embargo, por el momento no existen máquinas en el mercado con unos precios razonables que alcancen la calidad del método tradicional usado por nosotros, aunque sin duda las impresoras 3D son el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- BAEZA, E., GUTIÉRREZ-MARCO, J. C., & RÁBANO, I. (2013a). Obtención de grandes réplicas de elementos singulares del patrimonio geológico del Parque Nacional de Cabañeros (Castilla-La Mancha). En J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz-Martínez & C. Marchán (Eds.), *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo* (pp. 591-599). Instituto Geológico y Minero de España.
- BAEZA, E., RODRIGO, A., & LOZANO, R. P. (2013b). La importancia de las réplicas en la investigación, conservación y difusión del patrimonio mueble. En I. Rábano, & A. Rodrigo (Eds.), *Libro de resúmenes de la XX Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural* (pp. 6-7). Real Sociedad Española de Historia Natural.

10. UNA BIBLIOTECA
SINGULAR DEDICADA
A LAS CIENCIAS
DE LA TIERRA



Cuando se escribe una aportación sobre un servicio dentro de una institución cuya vida supera, y en mucho, la memoria de las personas que han trabajado en él, como es el caso de la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), se encuentra con un gran problema: las fuentes de información. Es paradójico que un centro creado para gestionar la información que necesitan quienes utilizan sus servicios, carezca de la necesaria para seguir su propia historia. Por eso son pocas las bibliotecas que han podido guardar memoria suficiente de los hechos que han conformado su vida. Probablemente, las bibliotecas nacionales sean las únicas, pues por definición su objetivo es perdurar en el tiempo. Sin embargo, las bibliotecas que dan servicios a un centro dependen de la capacidad de pervivencia de la institución a la que sirven y de la capacidad de esta de guardar información sobre su quehacer en el tiempo. Es el caso de la Biblioteca del IGME y de muchos de los diferentes servicios de nuestro centro.

Por eso, a la hora de plantear cómo se podía realizar la narrativa de los hitos que han conformado la vida de la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España a lo largo de 175 años había que decidir por cuál de los aspectos que conforman una biblioteca nos decantábamos (legislación, personal, cuestiones biblioteconómicas, tecnología...). Todos son importantes y todos son necesarios pero, teniendo en cuenta que este texto no es una historia completa de la Biblioteca del IGME, sino de los hechos que más han ayudado a conformarla para su servicio a la institución, nos hemos decidido por el apartado legislativo-normativo, donde se la

define en su dependencia y en sus funciones, porque como se atribuye al filósofo George Steiner, «lo que no se nombra, no existe», y en la tradición del derecho continental la fuente, lo que da la «vida», lo que hace ser a las instituciones, es la ley.

Así que, aunque debemos suponer que para su trabajo la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino debía de tener una biblioteca auxiliar, en el Real Decreto que la creó en 1849 no hay referencia alguna a esta cuestión. ¿Quizás porque se tratara de una comisión, y en el pensamiento de quienes la crearan no estaba la idea de que perdurara en el tiempo, y por tanto, que fuera necesario legislar aspectos como la biblioteca? Sin embargo, pese a esta omisión, en la *Memoria* de lo realizado en 1851 por la Comisión ya se indicaba que, entre otros materiales, se habían comprado varios libros:

Material. Se han adquirido diferentes instrumentos de los mejores constructores para emplearlos en las operaciones geodésicas, entre ellos un teodolito de Gambey, perfeccionado; habiéndose además provisto la Comisión de excelente obras de Geodesia, Paleontología, Geología y Zoología (Luján, 1852: 4).

No era una biblioteca ni una norma legal que la creara, pero sí el comienzo y la prueba de que una acumulación de libros era necesario para el trabajo de la Comisión | fig. 1 |. De eso, a la necesidad de la organización de los fondos bibliográficos había un paso. Similares referencias se harían en las memorias de las actividades realizadas en 1852 y 1853.

Los años de las Brigadas Geológicas en la Junta General de Estadística (1860-1868) son a día de hoy, como en tantos otros aspectos de la historia del IGME, una etapa un tanto nebulosa, pese a que allí las Brigadas tuvieron que tener, si no su propia biblioteca, sí un apartado en la biblioteca de la Junta dedicado a las materias que le eran más necesarias, pues en la actual Biblioteca del IGME hay libros con sellos y antiguas signaturas de estadística.

Habría que esperar a que la institución renaciera para que su biblioteca comenzara una existencia real desde el punto de vista legal. Así, en el artículo 6 del Real Decreto de 1870 que creaba la Comisión del Mapa Geológico ya se habla de que entre sus funciones se ocupará «como trabajo preliminar en reunir, ordenar y clasificar todos los mapas, planos, libros, folletos y memorias publicados hasta el día...» (*Gaceta de Madrid*, n.º 119, de 29.04.1870). Y quedará más claro cuando en el artículo 10, apartados 4.º y 5.º de la Instrucción para llevar a cabo el estudio y trazado del Mapa Geológico de España, publicada apenas tres años más tarde, se indique que, en la memoria que la Comisión debía presentar anualmente, había que reseñar el incremento de los fondos de la biblioteca (*Gaceta de Madrid*, n.º 88, de 29.03.1873). Legalmente, pues, la Biblioteca del IGME existe desde 1870. Las normativas de 1910 (*Gaceta de Madrid*, n.º 180, de 29.06.1910), de 1927 (*Gaceta de Madrid*, n.º 8, de 08.01.1927; *Gaceta de Madrid*, n.º 95, de 05.04.1927) y de 1934 (*Gaceta de Madrid*, n.º 47, de 16.02.1934; *Gaceta de Madrid*, n.º 222, de 10.08.1934) reiterarían su existencia de forma más notoria, llegando en el caso de las normas de 1927 y de 1934 a especificar la adscripción de la biblioteca a la Secretaría General. La legislación posterior que afectaba al IGME como institución (1988, 2000, 2021) no volvería a mencionar la biblioteca, quizás porque su existencia ya estaba reconocida y asentada, y no era necesario citarla explícitamente.

Pero habría aún dos disposiciones normativas reseñables para la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, ambas del siglo XXI. Ya no serían normas emanadas de los ministerios, sino de las propias instituciones a las que damos servicios. Por un lado, el que, al menos hasta el momento, consideramos el primer reglamento conocido de

GALERIA BIBLIOGRÁFICA. <i>Duplicado</i>		
Salas de Lectura de Libros y Periódicos.		
Librería y casa de Comisión de todos libros de Adscripción Geológica y Geográfica.		
Se recibe en Depósito para la venta toda clase de obras Colección de Bibliografías en todos lenguas.		
D. CASIMIRO MONIER. (Madrid)		
Librero del MINISTERIO de Comercio Instrucción y Obras Públicas.		
Llevara y Proveerá en la Real Expedición de la Expedición de Madrid.		
<i>He recibido de la Comisión Geológica de Madrid la Comisión de Don José Guzmán de Cabrera y Ceballos 2.ª. Vellan por importe de las obras siguientes:</i>		
1851	11	180
		37
	30	32
		40
		44
		33
25	83	2
		920
		286
		400
		50
		20
	30	32
		52
	9	50
		304
		2588.

Madrid 11 de 1851
 Don C. Monier
(F. Abat)

Figura 1. Factura de compra de libros por la Comisión del Mapa Geológico de España, 1851. Archivo del Instituto Geográfico Nacional.

la Biblioteca, la Circular n.º 5/2012, emitido por el IGME, y en el que de forma normalizada se indicaban las funciones de la Biblioteca y la forma de prestar sus servicios. Además, creaba un primer esquema legal (en la realidad ya existía uno surgido de la práctica diaria) de organización de las diferentes bibliotecas que la formaban —una vez que en los años previos se habían reagrupado en la biblioteca del edificio de la calle Ríos Rosas varias de las diferentes bibliotecas departamentales creadas en las décadas anteriores (Aguas Subterráneas, Recursos Minerales...)—, dejando como estructura una biblioteca central y las denominadas *bibliotecas periféricas* (Museo Geominero, Tres Cantos, Oficinas Regionales) (IGME, 2012: apartado 1.2).

Fue un hito importante porque regulaba múltiples derechos, deberes y servicios, como el retorno al préstamo



Figura 2. Sala de lectura de la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España, CSIC. Fotografía: Pedro López (Archivo del IGME, CSIC).

para el personal del IGME que durante algunos años no había estado disponible, siendo solo posible hasta entonces la consulta en sala.

El otro hecho normativo trascendental fue emitido en 2009, cuando aún no se sabía que sería de aplicación en la Biblioteca del IGME. Ese año la Presidencia de la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) aprobaba mediante una resolución el Reglamento de la Red de Bibliotecas del CSIC. En 2021, al incorporarse el IGME al CSIC, este reglamento sustituiría a la Circular de 2012 al situarse la biblioteca del IGME entre aquellas que pertenecen a la Red del CSIC dentro de la categoría de «Bibliotecas del CSIC adscritas a Institutos o Centros y que son unidades de servicio dentro de ellos» (CSIC, 2009: apartado 3.2). Esta norma ha supuesto un salto cualitativo, pues por primera vez la Biblioteca del IGME forma parte de una red de bibliotecas, con lo que ello conlleva a nivel tecnológico y de recursos informativos (incorporación a un catálogo colectivo de más de 2,5 millones de documentos; acceso a una mayor cantidad de revistas electrónicas; más posibilidades de préstamo interbibliotecario).

Aquí concluye el repaso a los hitos legislativos y normativos que han conformado la singularidad de una biblioteca especializada en ciencias de la Tierra. Indudablemente no son los únicos eventos que han configurado esta biblioteca | fig. 2 |, sino que hay otros tantos que, a lo largo de la historia, han permitido que la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España haya podido realizar sus tareas, tanto en el apartado de personal como en el de prácticas bibliotecarias o tecnológicas. Pero esa es otra historia que, quizás, algún día podamos contar.

BIBLIOGRAFÍA

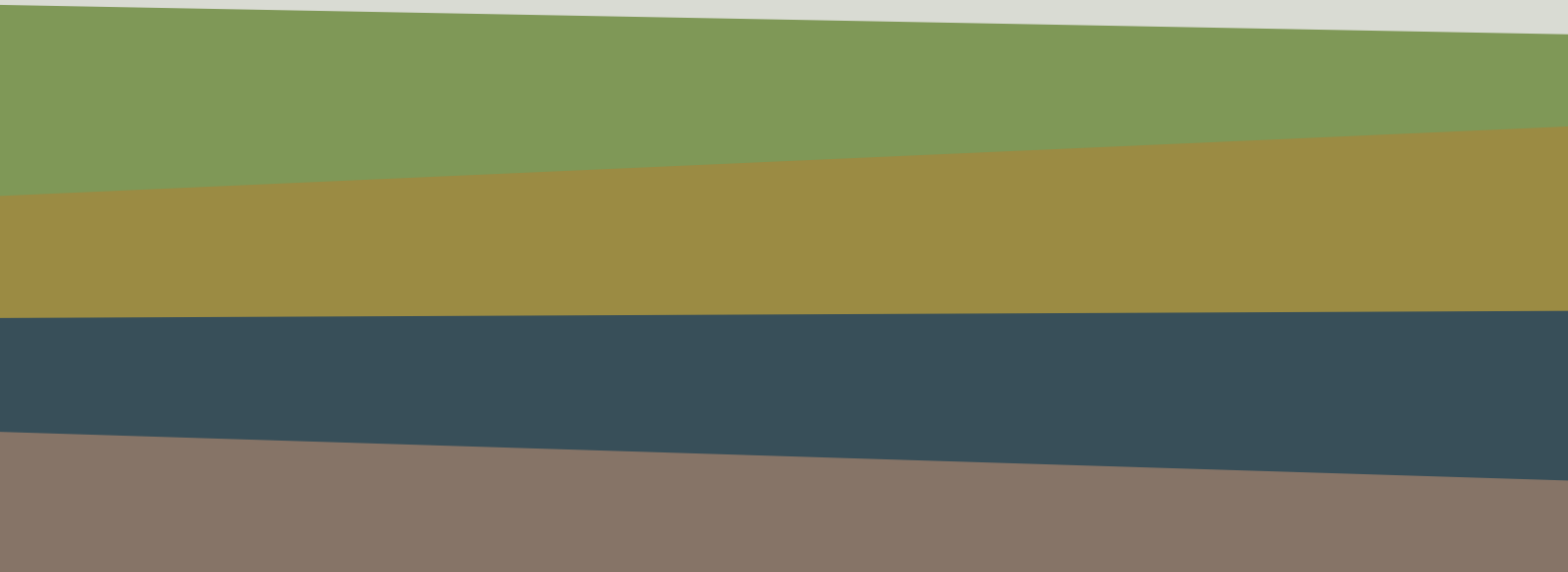
CSIC. (2009). Resolución de la Presidencia de la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas por la que se aprueba el Reglamento de la Red de Bibliotecas de la Agenda Estatal. http://bibliotecas.csic.es/sites/default/files/resolucion_reglamento.pdf

IGME. (2012). Circular n.º 5/2012, por la que se dictan las normas de

organización y funcionamiento de la biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España. Documento interno, IGME.

LUJÁN, F. (1852). *Memoria que comprende el resumen de los trabajos verificados en el año de 1851 por las diferentes secciones encargadas de formar el Mapa Geológico de la provincia de Madrid y el general de todo el Reino*. Imprenta, Fundición y Librería de Don Eusebio Aguado.

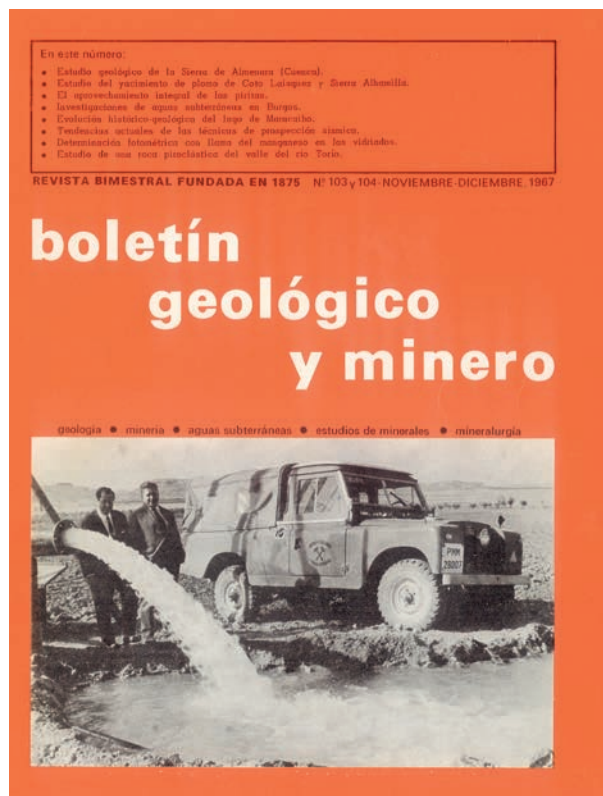
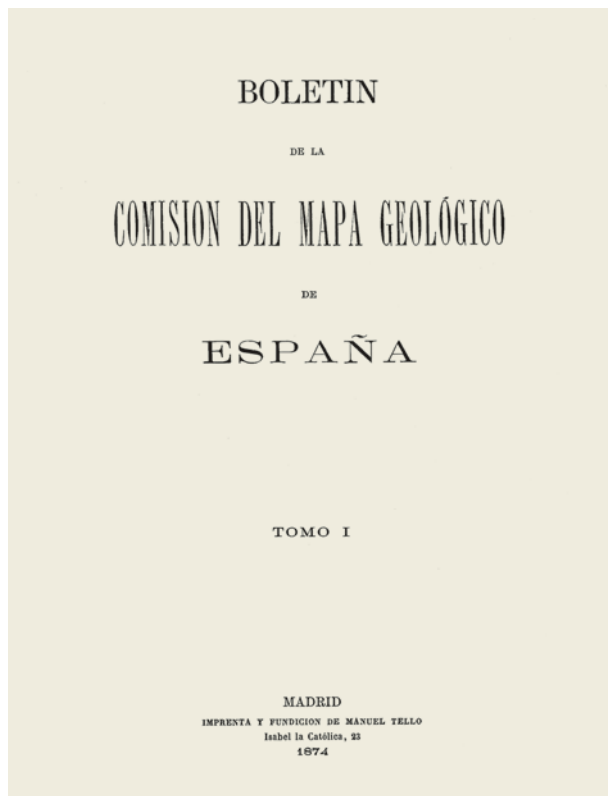
11. LA DECANA
DE LAS REVISTAS DE
CIENCIAS DE LA TIERRA
EN ESPAÑA: EL *BOLETÍN
GEOLÓGICO Y MINERO*



La llegada de Manuel Fernández de Castro a la dirección de la Comisión del Mapa Geológico de España (CMGE) en 1873 supuso una regeneración de la institución, que se encontraba en una situación «cada vez más insostenible» de manera que «solo aparecían en lontananza un desfallecimiento y una pobreza peores que su disolución», como prevenía Lucas Mallada a su buen amigo Luis Mariano Vidal en una carta el 24 de abril de 1873 (Archivo, Museo Geológico del Seminario de Barcelona). Entre las mejoras introducidas por el nuevo director, y de acuerdo con el punto número 11 de la Instrucción que acompañó al Real Decreto de reorganización de la CMGE de 28 de marzo de 1873, se cuenta la creación de dos publicaciones para difundir los avances que se produjeran en los estudios geológicos, «en análoga forma a la de los Boletines y Memorias de las Sociedades geológicas de Londres y de Francia» (*Orden de la dirección general de Obras Públicas, Agricultura, Industria y Comercio de 30 de junio de 1873*). Para costear su impresión, ambas publicaciones se pusieron a la venta, también por suscripción, tanto de particulares como de organismos oficiales. En 1873 salió de imprenta el primer volumen de las *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España*, dedicado al bosquejo geológi-

co de la provincia de Zaragoza, de Felipe Martín Donayre; y en 1874 el primer tomo del *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, inaugurado por Fernández de Castro con un extenso estudio bibliográfico sobre los orígenes y el estado en el que se encontraban en esos momentos los trabajos para el levantamiento del mapa geológico de España.

En relación con el *Boletín*, la primera serie se publicó de forma regular, un tomo por año, entre 1874 y 1893. El correspondiente a 1894 sufrió un desfase en su aparición (en 1896) y constituyó el primero de la segunda serie, que se editó de forma irregular hasta finales del siglo XIX. En ella se introdujeron recensiones bibliográficas y los índices de títulos, materias y autores por orden alfabético. En 1910 y 1927 el organismo cambió de nombre a Instituto Geológico de España e Instituto Geológico y Minero de España, respectivamente, cambios que quedaron reflejados también en el título de la revista. No fue hasta 1967, siendo redactor jefe el ingeniero de minas Juan Manuel López de Azcona, cuando la revista tomó su denominación actual de *Boletín Geológico y Minero* | fig. 1 |. Hasta este momento su frecuencia de aparición era de un tomo por año. A partir de 1968 pasó a tener periodicidad bimestral, una notable modifica-



ción en la política editorial motivada por el cierre de una tercera revista iniciada en 1928, *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, que recogía artículos de actualidad, que precisaban de una rápida publicación. Este importante cambio se acompañó de una nueva portada, de colores variados, junto con un índice de contenidos, cabecera y foto en la cubierta.

Con el volumen n.º 100 (1989, inicio de la quinta serie), se produce una nueva modificación en relación con el diseño y color de la portada, pasando a un color gris plateado, si bien se mantuvo la periodicidad bimestral, que pasó a trimestral en 2001. Con el nombramiento ese año de Juan José Durán Valsero como editor principal de la revista, se produjo una renovación y modernización del *Boletín Geológico y Minero*, introduciendo en el proceso editorial normas de calidad propias de revistas científicas homologadas a

nivel internacional (Díez-Herrero *et al.*, 2012). Los sucesivos editores principales, Andrés Díez Herrero y Eulogio Pardo Igúzquiza, continuaron su implementación hasta la integración, en 2021, del Instituto Geológico y Minero de España en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con lo que pasó a ser gestionada por Editorial CSIC, se nombraron nuevos responsables y la edición comenzó a ser exclusivamente digital. Durante esos últimos años de dependencia del IGME, se fueron introduciendo nuevos cambios con el objetivo de mejorar la calidad general de la revista y sus contenidos, con el fin también de superar diferentes procesos de evaluación de revistas científicas. Entre ellos la reforma del Comité de Redacción, incorporando personas externas al organismo editor con el fin de limitar la endogamia, el seguimiento de las recomendaciones y las propuestas del estudio bibliométrico realizado por espe-

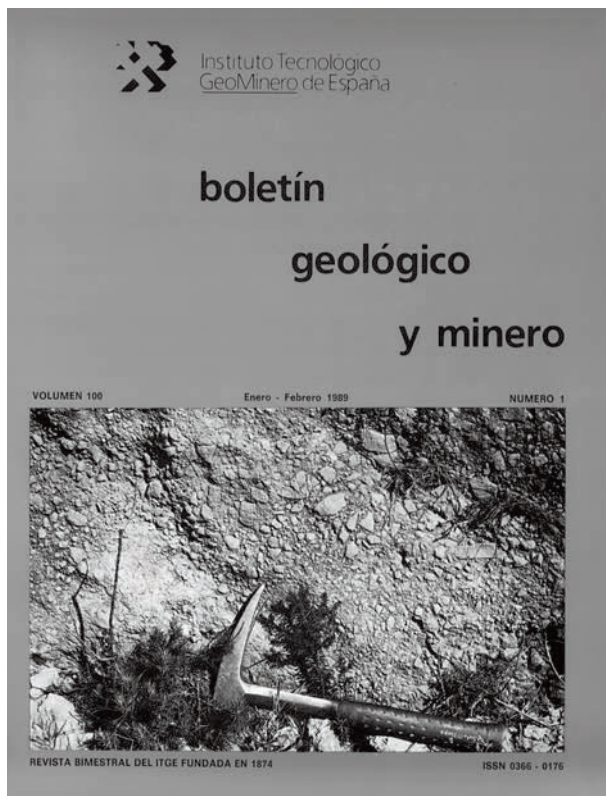


Figura 1. Portadas del *Boletín Geológico y Minero* en tres momentos de su historia. Izquierda, primer volumen: 1874. Centro, cambio de denominación y nueva cubierta: 1967. Derecha, nueva modificación de la portada: 1989.

cialistas (Bermúdez *et al.*, 2010) o la apuesta decidida por el incremento de contenidos en idioma inglés, entre otros (Díez-Herrero *et al.*, 2012).

El *Boletín Geológico y Minero* se ha convertido a lo largo del tiempo en una revista de referencia para muchas temáticas en el campo de las ciencias de la Tierra, como la hidrogeología y los recursos minerales, de España e Iberoamérica. Aún es pronto para realizar una evaluación de la trayectoria de la revista desde la integración del IGME en el CSIC, pero no queremos dejar de mencionar que en 2021 la revista se encontraba entre las que cumplían un mayor número de criterios establecidos por algunos órganos evaluadores de la calidad de las revistas científicas, como RECYT y Latindex, manteniendo desde hace años una buena posición en Scopus y encontrándose ya posicionada en las Emerging Sources Citation Index, de Clarivate.

BIBLIOGRAFÍA

BERMÚDEZ MOLINA, O., ALONSO GALLEGO, F., GUTIÉRREZ GÁRATE, M., LÓPEZ BLANCO, G., & BARRAGÁN SANABRIA, A. (2010). *Boletín Geológico y Minero*, dos décadas de producción científica: análisis y evolución (1989-2008). *Boletín Geológico y Minero*, 121(3), 235-250.

DÍEZ HERRERO, A., RÁBANO GUTIÉRREZ DEL ARROYO, I., REGUEIRO, M., MAESTRO GONZÁLEZ, A., ALONSO ZARZA, A. M., VILLARRO-

YA GIL, F., BUSTAMANTE GUTIÉRREZ, I. de, BENITO FERRÁNDEZ, G., CASTROVIEJO BOLÍVAR, R., ESPÍ RODRÍGUEZ, J. A., LÓPEZ MARTÍNEZ, J., LÓPEZ MORELL, M. A., MARTÍNEZ FRÍAS, J., BALTUILLE MARTÍN, J. M., BARRENO, M., DÍAZ MARTÍNEZ, E., DURÁN VALSERO, J. J., FERRER GIJÓN, M., GIL-PEÑA, I., ... SÁNCHEZ ESPAÑA, J. (2012). *Boletín Geológico y Minero*: Decana de las revistas geológicas españolas. *Reseña histórica y situación actual. Geotemas (Madrid)*, 13, 8-11.

APÉNDICES



1. PRINCIPALES NORMAS

JURÍDICO-ADMINISTRATIVAS QUE HAN AFECTADO AL IGME DESDE SU FUNDACIÓN EN 1849 HASTA LA ACTUALIDAD

(RECOPIADAS POR
ÁNGEL SALAZAR & ISABEL RÁBANO)

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE*
<i>Real Decreto de 12 de julio de 1849 creando una comisión para formar la carta geológica del terreno de Madrid, y reunir y coordinar los datos para la general del reino</i>	El Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) tiene su origen en la creación durante el reinado de Isabel II de la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino. Se trató de una comisión de carácter multidisciplinar formada por ingenieros de caminos, de minas y profesores de historia natural	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 5424, de 20.07.1849, páginas 1 a 2	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1849/5424/A00001-00002.pdf
<i>Real Orden de 27 de marzo de 1854 comisionando a los ingenieros del Cuerpo de Minas para que procedan al reconocimiento de las minas carboníferas</i>	Se comisiona a tres ingenieros de minas (Ramón Pellico, Casiano de Prado y Amalio Maestre) para que, bajo la presidencia de la Comisión para la Carta Geológica, procedan al reconocimiento de las minas de carbón de Espiel, Belmez, Sabero, Orbó, Santullán y la cuenca de San Juan de las Abadesas	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 463, de 08.04.1854, página 1	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1854/463/A00001-00001.pdf
<i>Ley de 5 de junio de 1859 sancionando que los trabajos geográficos que se ejecutan hoy día por los diferentes ministerios se continuarán con la posible rapidez</i>	La llamada <i>Ley de Medición del Territorio</i> determinó que las diversas comisiones con responsabilidades cartográficas, entre ellas la Comisión de la Carta Geológica, se integrasen administrativamente en una sola unidad llamada <i>Comisión de Estadística General del Reino</i> , que en 1861 se reformó en Junta General de Estadística	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 160, de 09.06.1859, página 1	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1859/160/A00001-00001.pdf
<i>Real Orden de 20 de abril de 1860 dictando disposiciones para cumplir y llevar á efecto la ley de 5 de Junio de 1859 y las prescripciones establecidas en los artículos 21, 22 y 23 del Real Decreto de 20 de agosto del mismo año sobre trabajos geológicos</i>	Desarrollo de la Ley de Medición del Territorio en relación con los trabajos geológicos, de campo y de gabinete, que debía desarrollar la Comisión de Estadística General del Reino	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 129, de 08.05.1860, página 1	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1860/129/A00001-00001.pdf

* Los enlaces son los de carácter permanente de la normativa en el *Boletín Oficial del Estado*, cuando existe dicho enlace, en caso contrario, son enlaces al archivo PDF del texto publicado.

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Real Decreto de 15 de febrero de 1865 creando en Madrid una comisión permanente de ingenieros de Minas con el objeto de dirigir y ordenar todos los estudios y trabajos necesarios para el trazado, publicación y descripción de los mapas geológico-provinciales</i>	Se crea en Madrid una comisión permanente de ingenieros de Minas con el objeto de dirigir y ordenar todos los estudios y trabajos necesarios para el trazado, publicación y descripción de los mapas geológicos provinciales. Se añaden instrucciones para la realización de los mapas	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 48, de 17.02.1865, página 1	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1865/048/A00001-00001.pdf
<i>Decreto de 29 de diciembre de 1868 estableciendo las bases generales para la nueva legislación de minas</i>	Tras la Revolución de septiembre de 1868, llamada la <i>Gloriosa</i> , el Gobierno provisional de Francisco Serrano promulga una nueva legislación minera de marcado carácter liberal. Este decreto provisional, que señala en su último artículo que el Gobierno deberá elaborar y promulgar una ley de minas, estuvo vigente hasta 1944, por lo que constituyó el marco legal de buena parte de las actuaciones de la Comisión del Mapa Geológico, del IGE y del IGME durante tres cuartos de siglo	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 1, de 01.01.1869, páginas 1 a 2	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1869/001/A00001-00002.pdf
<i>Decreto de 28 de abril de 1870, por el que se crea la Comisión del Mapa Geológico</i>	El Gobierno provisional crea una comisión, constituida exclusivamente por ingenieros del Cuerpo de Minas, para la formación del Mapa Geológico de España, que recibió el nombre de <i>Comisión del Mapa Geológico</i>	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 119, de 29.04.1870, página 1	https://www.boe.es/gazeta/dias/1870/04/29/pdfs/GMD-1870-119.pdf
<i>Decreto de 28 de marzo de 1873 organizando los estudios y trabajos para la formación del Mapa Geológico de España con arreglo a la instrucción adjunta</i>	Para dar impulso a la Comisión del Mapa Geológico, el Gobierno de la Primera República la reorganiza en una sección inspectora y en una comisión ejecutiva, amplía sus miembros, incluyendo también a los profesores de la Escuela de Ingenieros de Minas y determina que podrán formar parte también de la misma los ingenieros de los distritos mineros	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 88, de 29.03.1873, páginas 1011 a 1012	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1873/088/A01011-01012.pdf
<i>Real Orden de 7 de enero de 1885 nombrando una comisión para que estudie el fenómeno de los terremotos con objeto de evitar o atenuar sus terribles consecuencias</i>	Comisión presidida por Manuel Fernández de Castro, en su calidad de director de la Comisión del Mapa Geológico, formada a raíz del terremoto de magnitud 6,7 que el 25 de diciembre de 1884, con epicentro en Arenas del Rey (Granada), asoló el poniente granadino y la provincia de Málaga	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 11, de 11.01.1885, página 86	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1885/011/A00086-00086.pdf
<i>Real Decreto de 10 de febrero de 1888 encomendando a la Comisión del Mapa Geológico de España la formación de colecciones de los minerales, rocas y fósiles que se encuentren en el territorio de la Nación</i>	Se encomienda a la Comisión del Mapa Geológico la formación de colecciones de minerales, rocas y fósiles que se encuentran en el territorio nacional para enriquecer los gabinetes de historia natural de los establecimientos de enseñanza pública	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 43, de 12.02.1888, páginas 373 a 374	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1888/043/A00373-00374.pdf

Continúa en la página siguiente.

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Disposición de normas de 8 de julio de 1895 para el funcionamiento del Cuerpo de Archiveros, Bibliotecarios y Anticuarios.</i>	La Biblioteca de la Comisión del Mapa Geológico y su encargado quedan incorporados al Cuerpo Facultativo de Archiveros, Bibliotecarios y Anticuarios del Estado, lo que pone de manifiesto la importancia que la biblioteca había adquirido. Esta plaza de bibliotecario desaparecerá en 1911, pero volvió a recuperarse entre 1948 y 1958	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 190, de 09.07.1895, página 119	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1895/190/A00119-00119.pdf
<i>Real Decreto de 21 de enero de 1905 aprobatorio del adjunto reglamento orgánico del Cuerpo de Ingenieros de Minas</i>	El capítulo primero desarrolla las funciones del Cuerpo de Minas, entre ellas la formación de mapas geológicos generales o parciales, así como la de los geológico-agronómicos e hidrogeológicos y los estudios sismológicos, además de los estudios de yacimientos, alumbramiento de aguas subterráneas, etc.	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 24, de 24.01.1905, páginas 283 a 285	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1905/024/A00283-00285.pdf
<i>Real Decreto de 15 de julio de 1905 encargando a la Comisión del Mapa Geológico de España la determinación de los puntos de las cuencas hidrológicas donde sea probable la existencia de corrientes subterráneas que puedan alumbrarse por medio de sondeos, pozos o galerías</i>	Como consecuencia de una situación de sequía, se encomienda que, con cargo a los presupuestos del Ministerio, la Comisión del Mapa Geológico se dedique preferentemente a realizar estudios hidrogeológicos	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 205, de 24.07.1905, página 306	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1905/205/A00306-00306.pdf
<i>Real Decreto de 28 de junio de 1910 disponiendo que la Comisión del Mapa Geológico, nombrada por el Decreto de 28 de Marzo de 1873, que en los sucesivos se denominará Instituto Geológico de España</i>	La Comisión pasa a denominarse <i>Instituto Geológico de España</i> , quedando encargado de la realización de la cartografía geológica, estudios sismológicos, hidrogeológicos, estudio de yacimientos minerales, la formación de colecciones de minerales, rocas y fósiles, así como la catalogación y puesta a disposición del público de planos, documentos, datos científicos o industriales, libros y memorias. Se crea una comisión permanente, compuesta por el director del Instituto, un ingeniero secretario y diez ingenieros vocales. La plantilla del Instituto queda formada por los ingenieros vocales y los auxiliares facultativos que trabajen a sus órdenes	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 180, de 29.06.1910, páginas 656 a 658	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1910/180/A00656-00658.pdf
<i>Real Decreto de 2 de julio de 1914 disponiendo se entiendan redactados, en la forma que se publican, los artículos 13 y 19 del Real Decreto de 28 de Junio de 1910, que regula las funciones del Instituto Geológico de España</i>	Se modifican dos artículos del Real Decreto de 28 de junio de 1910 y se crea el puesto de subdirector, que se encargará de la dirección del Instituto en ausencia o enfermedad del director	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 184, de 03.07.1914, página 22	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1914/184/A00022-00022.pdf

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Real Decreto de 1 de octubre de 1914 relativo a la exclusión temporal o definitiva del derecho público de registro de terrenos francos que designe este ministerio, al objeto de investigar, descubrir y, en su caso, aprovechar criaderos de substancias minerales que puedan servir como abonos agrícolas o materia prima para la fabricación de los mismos</i>	Como consecuencia de la crisis en el abastecimiento de materias primas minerales causada por la Primera Guerra Mundial, se declara reserva exclusiva a favor del Estado los «criaderos de las substancias minerales que puedan servir como abonos agrícolas o materia prima para la fabricación de los mismos, así como de las que considere indispensables á la defensa del territorio». La determinación de dichos yacimientos y su investigación corresponde al Instituto Geológico de España	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 275, de 02.11.1914	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1914/275/A00010-00012.pdf
<i>Real Decreto de 7 de enero de 1927 disponiendo que el Instituto Geológico de España se denomine en lo sucesivo Instituto Geológico y Minero de España</i>	El Instituto Geológico de España pasa a denominarse <i>Instituto Geológico y Minero de España</i> . Además del personal propio, podrán formar parte de IGME los ingenieros de minas destinados en los distritos mineros. El IGME podrá realizar servicios de carácter nacional tanto para el Ministerio de Fomento, como para otros departamentos ministeriales, diputaciones, ayuntamientos y particulares, y también podrá realizar servicios de carácter internacional. Se dota al IGME de laboratorios y se crea una sección de geofísica	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 8, de 08.01.1927, páginas 197 a 200	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1927/008/A00197-00200.pdf
<i>Real Decreto 644/1927, de 1 de abril aprobando el Reglamento que se inserta, del Instituto Geológico y Minero de España</i>	Se publica un reglamento del IGME en el que se especifican las funciones de los servicios centrales: Dirección, Secretaría, publicaciones técnicas y de vulgarización, laboratorios, formación de colecciones, estudios de investigaciones geofísicas, necesidades de la minería en establecimiento de transportes. Se dota al IGME de personalidad jurídica suficiente para administrar, adquirir y poseer bienes de donaciones, subvenciones y otros ingresos que no figuren en los presupuestos generales del Estado, que se administrarán a través de un consejo de patronato. Entre las publicaciones a realizar, se indica la de los mapas geológicos 1:50 000	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 95, de 05.04.1927, páginas 132 a 137	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1927/095/A00132-00137.pdf
<i>Real Orden de 27 de julio de 1928 suspendiendo temporalmente el derecho de registro de minas en la zona de la provincia de Navarra, que abarca el perímetro que se indica</i>	A propuesta del IGME, el Estado se reserva un área determinada de la provincia de Navarra, de interés para realizar estudios e investigaciones en busca de una nueva cuenca potásica que pudiera ser continuidad de la de Cataluña	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 215, de 02.08.1928, 649	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1928/215/A00647-00647.pdf

Continúa en la página siguiente.

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Decreto de 14 de febrero de 1934 aprobando el Reglamento, que se inserta, del Instituto Geológico y Minero de España</i>	El Gobierno de la Segunda República publica un nuevo reglamento del IGME. Además del director y una secretaria, el IGME contará con un órgano de gobierno y asesoría de carácter participativo, la Junta de Vocales, constituida por todos los Ingenieros del IGME, que se reunirá una vez al mes y será competente en la planificación de trabajos, distribución de recursos, selección de publicaciones y asistencia por delegación a congresos internacionales. Los acuerdos de la Junta se tomarán por mayoría de votos. También se incluyen detalles relativos a publicaciones (<i>Boletín, Memorias</i> , mapas 1:50 000, <i>Boletín de Sondeos</i>), laboratorios, trabajos geofísicos, servicios regionales, servicios especiales y servicios internacionales del IGME	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 47, de 16.02.1934, páginas 1276 a 1281	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1934/047/A01276-01281.pdf
<i>Decreto de 3 de agosto de 1934 creando las divisiones geológicas e hidrológicas, agregadas, con carácter temporal, a los distritos mineros</i>	Para dotar al IGME de una organización nacional y no central, se crean divisiones geológicas e hidrológicas agregadas, con carácter temporal, a los distritos mineros. Los ingenieros de las divisiones dependerán de la Dirección del IGME para cuanto se relacione en sus trabajos científicos, y de los jefes de los distritos en cuanto a su situación e incidencias en el servicio	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 215, de 03.08.1934, páginas 1202 a 1203	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1934/215/A01202-01203.pdf
<i>Decreto de 26 de julio de 1936 declarando la cesantía de los ingenieros y ayudantes de Minas que se mencionan</i>	Tras el golpe de estado del 18 de julio de 1936, en aplicación del Decreto de 21 de julio del presidente del Consejo de Ministros de la República, se decreta la cesantía del secretario y cinco vocales del IGME	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 180, de 28.06.1936, páginas 2738 a 2739	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1936/210/B00886-00887.pdf
<i>Orden de 30 de julio de 1936 nombrando a D. Enrique Dupuy de Lôme y Vidiella Director del Instituto Geológico y Minero de España</i>	El Gobierno de la República nombra un nuevo director del IGME, Enrique Dupuy de Lôme y Vidiella, que ocupó el cargo hasta el final de la contienda	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 217, de 04.08.1936, página 1039	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1936/217/B01039-01039.pdf
<i>Orden de 14 de noviembre de 1936 disponiendo se desplacen con la mayor urgencia, a esta capital los servicios de este ministerio que se indican</i>	La Dirección del IGME es trasladada a Valencia junto con el Gobierno de la República	<i>Gaceta de la República</i> , n.º 331, de 26.11.1936, página 796	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1936/331/B00796-00796.pdf
<i>Ley de 7 de junio de 1938 sobre otorgamiento de títulos de propiedad minera y transacciones mineras de todas clases</i>	El primer Gobierno del dictador Francisco Franco establece una serie de disposiciones de carácter general que obligan a que más del 60 % del capital y dos tercios del Consejo de Administración de las empresas con concesiones mineras debe de ser español. Además, se dictan otras disposiciones sobre obligatoriedad de explotación y exploración de recursos y reservas del Estado que requieren informe previo del IGME	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 594, de 08.06.1938, páginas 7754 a 7756	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1938/594/A07754-07756.pdf

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Orden de 9 de junio de 1938 nombrando a D. Alfonso del Valle y Lersundi director del Instituto Geológico y Minero de España</i>	El Ministerio de Industria y Comercio nombra un nuevo director del IGME, Alfonso del Valle y Lersundi, coexistiendo dos direcciones de la institución hasta el final de la Guerra Civil	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 600, de 14.06.1938, página 7851	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1938/600/A07851-07851.pdf
<i>Decreto de 8 de agosto de 1938 sobre reorganización del Instituto Geológico y Minero</i>	El Gobierno del general Franco crea y organiza delegaciones del Instituto Geológico y Minero en las jefaturas de Minas en que así lo acuerde el Ministerio de Industria y Comercio	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 100, de 08.10.1938, páginas 1682 a 1683	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1938/100/A01682-01683.pdf
<i>Decreto de 8 de agosto de 1938 sobre funcionamiento del Instituto Geológico y Minero de España</i>	Se dispone que el IGME dirigirá los trabajos realizados por las delegaciones de acuerdo a los señalado en el capítulo 10 (de los servicios regionales) del reglamento aprobado en 1927. Queda derogado el reglamento aprobado por el Decreto de 14 de febrero de 1934. Los decretos de 7 de enero y de 1 de abril de 1927 que regulan la organización, competencias y reglamento del IGME seguirán estando vigentes hasta el año 1977	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 100, de 08.10.1938, páginas 1683 a 1684	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1938/100/A01683-01684.pdf
<i>Orden de 3 de mayo de 1939 creando las delegaciones del Instituto Geológico y Minero de España</i>	Una vez terminada la Guerra Civil, se crean delegaciones del IGME en los distritos mineros (Oviedo, Guipúzcoa, Barcelona, Madrid, Ciudad Real, Valencia, Sevilla, Santa Cruz de Tenerife)	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 127, de 07.05.1939, página 2500	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1939/127/A02500-02500.pdf
<i>Orden de 7 de diciembre de 1939 estableciendo las delegaciones del Instituto Geológico y Minero de España en las jefaturas de Minas correspondientes</i>	Se amplían hasta 16 las delegaciones del IGME en las jefaturas de Minas	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 349, de 15.12.1939, página 7058	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1939/349/A07058-07058.pdf
<i>Orden de 1 de mayo de 1940 disponiendo la separación del servicio y su baja en el escalafón del Cuerpo de Ingenieros de Minas al ingeniero jefe de segunda clase don Enrique Dupuy de Lome y Vidiella</i>	En aplicación de la ley de 10 de febrero de 1939, fijando normas para la depuración de funcionarios públicos, el director del IGME durante la Guerra Civil es separado del servicio activo y dado de baja en el escalafón del Cuerpo de Ingenieros de Minas	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 126, de 05.05.1940, página 3088	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1940/126/A03088-03088.pdf
<i>Ley de 11 de julio de 1941 por la que se crea el Consejo Ordenador de Minerales especiales de interés militar</i>	El COMEIM fue un organismo autónomo de carácter militar, dependiente directamente de Presidencia del Gobierno, con capacidad para investigación, ordenación y explotación de los recursos minerales necesarios para la industria armamentística. Varios vocales del IGME formaron parte y trabajaron en el COMEIM y, a partir de febrero de 1942, el director del IGME pasó a formar parte de dicho organismo	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 197, de 16.07.1941, páginas 5307 a 5309	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1941/197/A05307-05309.pdf

Continúa en la página siguiente.

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Ley de 25 de septiembre de 1941 por la que se crea el Instituto Nacional de Industria</i>	Se crea el Instituto Nacional de Industria (INI), con capacidad de establecer Sociedades Anónimas privadas para fines estatales	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 273, de 30.09.1941, páginas 7516 a 7519	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1941/273/A07516-07519.pdf
<i>Decreto de 23 de octubre de 1941 sobre alumbramiento de aguas subterráneas</i>	Determina que los expedientes de alumbramientos de aguas subterráneas para abastecimiento de poblaciones y obras de riego, subvencionadas por el Estado y las peticiones de particulares que soliciten estudios técnicos de esta clase de obras, serán tramitados por el Instituto Geológico y Minero	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 298, de 25.10.1941, página 8297	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1941/298/A08297-08297.pdf
<i>Decreto por el que se nombra vocal del Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar al director del Instituto Geológico y Minero de España</i>	El director del IGME es nombrado vocal de COMEIM	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 37, de 06.02.1942, página 910	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1942/037/A00910-00910.pdf
<i>Decreto de 20 de marzo de 1942 por el que se encomienda al Instituto Nacional de Industria la organización de una Empresa de Investigaciones Mineras</i>	Sobre la base de este decreto, el 17 de abril del mismo año el INI crea su primera empresa, la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras S. A. (ENADIMSA). En sus inicios, la empresa estaba encargada de la investigación y exploración de las reservas a favor del Estado, pero paulatinamente se transformó en un proveedor de servicios científico-técnicos del IGME y otras instituciones públicas	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 81, de 22.03.1942, páginas 2055 a 2056	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1942/081/A02055-02056.pdf
<i>Ley de 19 de julio de 1944 de Minas</i>	Esta ley, que estuvo vigente durante la mayor parte de la dictadura, derogó la Ley de Bases de 1868. La nueva ley dispuso que el IGME fuera el órgano encargado de formular los planes generales de investigación de minerales de la sección B), realizará propuestas de cotos mineros y zonas de reserva, e informará sobre posibles explotaciones realizadas directamente por el Estado a través del INI u otros organismos	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 204, de 22.07.1944, páginas 5591 a 5608	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1944/204/A05591-05608.pdf
<i>Decreto de 8 de junio de 1956 por el que se modifican los artículos 84 y 86 del Reglamento vigente del Instituto Geológico y Minero de España</i>	Se modifican dos artículos del reglamento del IGME (Real decreto 644/1927, de 1 de abril) para modernizar los requisitos de acceso y denominación de puestos	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 171, de 19.06.1956, página 3957	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1956/171/A03957-03957.pdf
<i>Decreto de 11 de julio de 1957 por el que se crea la Comisión Nacional Geológica</i>	Se crea e integra dentro del IGME la Comisión Nacional de Geología para servir de nexo entre los comités organizadores del Congreso Geológico Internacional y los geólogos y entidades nacionales interesadas	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 197, de 02.08.1957, página 675	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1957/197/A00675-00675.pdf

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Orden de 8 de septiembre de 1958 por la que se aprueba el Reglamento provisional de la Comisión Nacional Geológica</i>	Se detallan las funciones y composición de la Comisión Nacional de Geología	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 247, de 15.10.1958, páginas 1759 a 1760	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1958/247/A01759-01760.pdf
<i>Orden de 29 de marzo de 1960 por la que se reorganizan los servicios geológicos de obras públicas</i>	La Jefatura de Sondeos, Cimentaciones e Informes Geológicos y la Asesoría Geológica de Obras Públicas (Ministerio de Obras Públicas) se unen para constituir un único servicio, el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP). El SGOP realizó numerosos estudios de diversa índole, especialmente hidrogeológicos	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 85, de 8.04.1960, página 4558	https://www.boe.es/boe/dias/1960/04/08/pdfs/A04558-04558.pdf
<i>Decreto 2149/1967, de 19 de agosto, sobre supresión e integración de organismos en la Administración Civil del Estado</i>	Se suprime el Patronato del IGME, creado en 1927, que dotó a la institución de autonomía de acción al margen de los presupuestos generales del Estado. El artículo 2 dispone que el Ministerio de Industria debe reorganizar el IGME como organismo autónomo en un plazo de tres meses	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 221, de 15 .09.1967, páginas 12798 a 12799	https://www.boe.es/boe/dias/1967/09/15/pdfs/A12798-12799.pdf
<i>Decreto 2764/1967, de 27 de noviembre, sobre reorganización de la Administración Civil del Estado para reducir el gasto público</i>	Tras 67 años de existencia, se suprime el Consejo Superior de Minería y Metalurgia (antiguo Consejo de Minería, creado en 1900), que quedó integrado, junto con otros organismos suprimidos, en el Consejo Superior del Ministerio de Industria	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 284, de 28.11.1967, páginas 16420 a 16424	https://www.boe.es/boe/dias/1967/11/28/pdfs/A16420-16424.pdf
<i>Decreto 87/1968, de 18 de enero, sobre reorganización del Ministerio de Industria</i>	El Instituto Geológico y Minero de España queda adscrito a la Dirección General de Minas y Combustibles. Poco después, y mediante el Decreto 1484/1968, de 11 de julio, se reorganiza dicha dirección general, que pasa a denominarse solamente de Minas, y a ella continuará adscrito el IGME	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 22, de 25.01.1968, páginas 1078 a 1081	https://www.boe.es/boe/dias/1968/01/25/pdfs/A01078-01081.pdf
<i>Ley 1/1969, de 11 de febrero, por la que se aprueba el II Plan de Desarrollo Económico y Social</i>	El II Plan de Desarrollo, cuyo plazo de ejecución se extendió entre 1969 y 1972, incluyó en su artículo sexto un programa de investigaciones. En el apartado a) del mismo artículo se señala específicamente que se concedería especial atención a los recursos naturales y que se elaborará el Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM)	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 37, de 12.02.1969, páginas 2137 a 2142	https://www.boe.es/boe/dias/1969/02/12/pdfs/A02137-02142.pdf
<i>Ley 22/1972, de 10 de mayo, de aprobación del III Plan de Desarrollo Económico y Social</i>	El III Plan de Desarrollo, además de dar continuidad al Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM), incluyó la investigación oceanográfica entre sus objetivos	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 113, de 11.05.1972, páginas 8239 a 8276	https://www.boe.es/boe/dias/1972/05/11/pdfs/A08239-08276.pdf
<i>Decreto 1713/1972, de 30 de junio, de reorganización del Ministerio de Industria</i>	Instituto Geológico y Minero de España continúa adscrito a la Dirección General de Minas, con el nivel orgánico de Subdirección General. El artículo 14 señala las funciones del IGME, incluyendo por primera vez la geotecnia y la investigación de los fondos marinos	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 163, de 8.07.1972, páginas 12334 a 12338	https://www.boe.es/boe/dias/1972/07/08/pdfs/A12334-12338.pdf

Continúa en la página siguiente.

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Orden de 1 de octubre de 1972 por la que se desarrolla el Decreto 1713/72, de 30 de junio, sobre reorganización del Ministerio de Industria</i>	El IGME se estructura en siete divisiones (Subdirección, Secretaría General, Laboratorios y Servicios comunes, Estudios y Cartografía Geológica, Investigación Minera, Aguas Subterráneas, Geotecnia), más la Comisión Nacional de Geología	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 244, de 11.11.1972, páginas 18119 a 18123	https://www.boe.es/boe/dias/1972/10/11/pdfs/A18119-18123.pdf
Ley 22/1973, de 21 julio, de Minas	El IGME es responsable de la emisión de diferentes informes en relación, entre otros, con el Programa Nacional de Investigación Minera al ser el IGME el gestor y ejecutor del programa	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 176, de 24.07.1973, páginas 15056 a 15071	https://www.boe.es/eli/es/l/1973/07/21/22/con
Ley 6/1977, de 4 de enero, de Fomento de la Minería	Propone la transformación del Instituto Geológico y Minero de España en Organismo Autónomo dependiente del Ministerio de Industria	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 7, de 8.01.1977, páginas 364 a 370	https://www.boe.es/eli/es/l/1977/01/04/6
<i>Real Decreto 278/1977, de 25 de febrero, por el que se crea la Comisaría de la Energía y Recursos Minerales</i>	El Instituto Geológico y Minero de España se constituye como organismo autónomo dependiente del Ministerio de Industria, adscrito funcionalmente a la Comisaría de la Energía y Recursos Minerales	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 53, de 3.03.1977, páginas 5023 a 5024	https://www.boe.es/boe/dias/1977/03/03/pdfs/A05023-05024.pdf
<i>Real Decreto 2402/1977, de 17 de junio, sobre organización, funciones y dotación del Instituto Geológico y Minero de España</i>	Desarrolla parcialmente la organización del IGME, estableciendo los órganos de gobierno y sus competencias: Consejo General, la Comisión Permanente y el director del Instituto, que tendrá la categoría de director general. A diferencia del reglamento de 1934, no se crea ningún órgano de carácter participativo (Junta, Claustro, etc.). Se derogan las disposiciones anteriores, entre ellas los decretos de 7 de enero y 1 de abril de 1927. Señala que en las pruebas selectivas para ingreso en el IGME que se convoquen en el plazo de cinco años, se reservará un porcentaje para ser cubiertas por personal contratado de forma temporal	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 225, de 20.09.1977, páginas 21067 a 21069	https://www.boe.es/boe/dias/1977/09/20/pdfs/A21067-21069.pdf
<i>Real Decreto 750/1978, de 14 de abril, por el que se dispone en [sic] nombramiento de don Adriano Garcia-Loygorri Ruiz como Director del Instituto Geológico y Minero de España</i>	Primer director del IGME nombrado por un gobierno elegido democráticamente, con la categoría de director general y consideración de alto cargo de la Administración General del Estado	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 92, de 18.04.1978, página 8833	https://www.boe.es/boe/dias/1978/04/18/pdfs/A08833-08833.pdf
<i>Real Decreto 450/1979, de 20 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento Orgánico del Instituto Geológico y Minero de España</i>	El IGME se estructura en Secretaría General y los Servicios Centrales, cuatro direcciones (Planificación y Gestión, Geología y Técnicas Básicas, Recursos Minerales, Aguas Subterráneas y Geotecnia) y unidades territoriales	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 64, de 15.03.1979, páginas 6470 a 6472	https://www.boe.es/eli/es/rd/1979/02/20/450

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Orden de 12 de diciembre de 1979 por la que se desarrolla el Reglamento Orgánico del Instituto Geológico y Minero de España</i>	Define un organigrama del IGME detallado y de carácter jerárquico. La estructura incluye seis niveles: Consejo, Dirección General, Secretaría General y Direcciones, divisiones, secciones y departamentos. Se indica que adscrita a la Dirección del IGME existirá una sección del Museo del Instituto Geológico y Minero de España	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 310, de 27.12.1979, páginas 29615 a 29616	https://www.boe.es/boe/dias/1979/12/27/pdfs/A29615-29616.pdf
<i>Resolución de 19 de octubre de 1983, del Instituto Geológico y Minero de España, por la que se convocan 50 becas para formación de postgraduados</i>	Primera convocatoria de becas para titulados superiores en el IGME. Se convocaron cincuenta becas de diez especialidades: cartografía y técnicas geológicas, investigación y exploración minera, técnicas fundamentales de investigación, sondeos mecánicos, metalogenia y cartografía metalogenética, aguas subterráneas y cartografía hidrogeológica, modelización de acuíferos, geotecnia y geología ambiental, informática, documentación y banco de datos, economía minera	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 256, de 26.10.1983, páginas 29036 a 29036	https://www.boe.es/boe/dias/1983/10/26/pdfs/A29036-29036.pdf
Ley 13/1986, de 14 de abril, de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica	El IGME adquiere el carácter de organismo público de investigación (OPI), lo que posibilita gestionar y ejecutar programas del Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, los programas derivados de convenios firmados con comunidades autónomas, desarrollar programas de formación de investigadores y contratar en régimen laboral personal científico y técnico para la ejecución de proyectos determinados	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 93, de 18 de abril de 1986, páginas 13767 a 13771	https://www.boe.es/eli/es/l/1986/04/14/13
<i>Real Decreto 1270/1988, de 28 de octubre, por el que se determina la estructura orgánica básica del Ministerio de Industria y Energía</i>	En el marco de una reorganización del Ministerio de Industria y Energía, el Instituto Geológico y Minero de España pasa a denominarse <i>Instituto Tecnológico Geominero de España</i> (ITGE) y queda adscrito a la Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales. Por su parte, la Comisión Nacional de Geología quedó vinculada funcionalmente a la Dirección General de Minas y de la Construcción	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 260, de 29.10.1988, páginas 31132 a 31138	https://www.boe.es/eli/es/rd/1988/10/28/1270
<i>Resolución de 14 de junio de 1995, de la Dirección General de Calidad y Seguridad Industrial, por la que se autoriza el cambio de denominación de la entidad colaboradora en materia de medio ambiente, empresa nacional Adaro de Investigaciones Mineras, Sociedad Anónima, que en lo sucesivo se denominara EMGRISA «Empresa para la Gestión de los Residuos Industriales, Sociedad Anónima»</i>	Tras 52 años de actividad, desaparece la empresa pública ENADIMSA perteneciente al INI. ENADIMSA desarrolló una importante labor de investigación minera y, desde 1969 hasta su desaparición, fue el principal proveedor de servicios científico-técnicos del IGME	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 174, de 22.07.1995, páginas 22670	https://www.boe.es/boe/dias/1995/07/22/pdfs/A22670-22670.pdf

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Real Decreto 1894/1996, de 2 de agosto, de estructura orgánica básica del Ministerio de Medio Ambiente</i>	El Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) deja de depender del Ministerio de Industria y Energía para pasar a la Secretaría de Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente. Tras 36 años de existencia, se suprime la Subdirección General del Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP)	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 189, de 6.08.1996, páginas 24313 a 24322	https://www.boe.es/eli/es/rd/1996/08/02/1894
<i>Real Decreto 230/1997, de 14 de febrero, por el que se nombra director general del Instituto Tecnológico Geominero de España a don Emilio Custodio Gimena</i>	Primer director del IGME que no es ingeniero de Minas	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 40, de 15.02.1997, página 5212	https://www.boe.es/boe/dias/1997/02/15/pdfs/A05212-05212.pdf
<i>Real Decreto 696/2000, de 12 de mayo, por el que se establece la estructura orgánica básica del Ministerio de Ciencia y Tecnología</i>	El ITGE, junto con los demás OPI, quedan orgánicamente adscritos al Ministerio de Ciencia y Tecnología, de nueva creación, pasando a depender de la Secretaría General de Política Científica de dicho Ministerio	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 115, de 13.05.2000, páginas 17663 a 17665	https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/05/12/696
<i>Real Decreto 1953/2000, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el Estatuto del Instituto Geológico y Minero de España</i>	Se recupera el nombre tradicional de Instituto Geológico y Minero de España, se crean un nuevo órgano de gobierno colegiado, el Comité de Dirección, y se renombran las direcciones (Geología y Geofísica, Hidrogeología y Aguas Subterráneas, Recursos Minerales y Geoambiente)	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 289, de 2.12.2000, páginas 42312 a 42318	https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/12/01/1953/con
Ley 14/2000, de 29 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social	El artículo 35 de esta ley crea dos nuevas escalas de funcionarios en los organismos públicos de investigación (OPI), la de Investigadores Titulares de OPI, y la de Técnicos Superiores Especialistas de OPI. Los funcionarios del IGME y de otros OPI podrán integrarse en dichas escalas si cumplen determinados requisitos	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 313, de 30.12.2000, páginas 46631 a 46723	https://www.boe.es/eli/es/l/2000/12/29/14
<i>Real Decreto 868/2001, de 20 de julio, por el que se regula la integración en las escalas de investigadores titulares de los organismos públicos de investigación y de técnicos superiores especialistas de los organismos públicos de investigación</i>	Desarrolla el artículo 35 de la Ley 14/2000, de 29 de diciembre, y establece el régimen jurídico de la integración en las nuevas escalas de los OPI (investigadores titulares y técnicos superiores especialistas)	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 176, de 24.07.2001, páginas 26817 a 26821	https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/07/20/868
<i>Orden PRE/487/2003, de 28 de febrero, por la que se crea la Comisión Nacional de Geología y se regula su composición y funcionamiento</i>	Moderniza y actualiza la naturaleza, fines y régimen jurídico de la Comisión Nacional de Geología y regula sus funciones	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 57, de 7.03.2003, páginas 9166 a 9168	https://www.boe.es/eli/es/o/2003/02/28/pre487

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Real Decreto 1618/2004, de 2 de julio, por el que se nombra director general del Instituto Geológico y Minero de España a don José Pedro Calvo Sorando</i>	Primer director del IGME geólogo	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 160, de 3.07.2004, página 24677	https://www.boe.es/boe/dias/2004/07/03/pdfs/A24677-24677.pdf
<i>Real Decreto 1134/2007, de 31 de agosto, por el que se modifica el Estatuto del Instituto Geológico y Minero de España, aprobado por el Real decreto 1953/2000, de 1 de diciembre</i>	Se modifican los nombres y funciones de las direcciones del IGME (Investigación en Recursos Geológicos, Investigación y Prospección Geocientífica, Infraestructura Geocientífica y Servicios)	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 219, de 12.09.2007, páginas 37352 a 37356	https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/08/31/1134
<i>Real Decreto 1183/2008, de 11 de julio, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Ciencia e Innovación</i>	El IGME pasa a depender de la Secretaría de Estado de Investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 171, de 16.07.2008, páginas 31072 a 31080	https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/07/11/1183
<i>Orden CIN/1631/2010, de 15 de junio, por la que se nombra Directora del Instituto Geológico y Minero de España a doña Rosa de Vidania Muñoz</i>	Primera mujer en el cargo de Dirección del IGME. El director del IGME pierde la categoría de director general y consideración de alto cargo	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 150, de 21.06.2010, página 53461	https://www.boe.es/boe/dias/2010/06/21/pdfs/BOE-A-2010-9779.pdf
Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación	Se confirma el carácter del IGME como organismo público de investigación (OPI) y se estructura el personal de investigación en las escalas científicas y técnicas	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 131, de 2.06. 2011, páginas 54387 a 5445	https://www.boe.es/eli/es/l/2011/06/01/14/con
Real Decreto 202/2021, de 30 de marzo, por el que se reorganizan determinados organismos públicos de investigación de la Administración General del Estado y se modifica el Real decreto 1730/2007, de 21 de diciembre, por el que se crea la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas y se aprueba su Estatuto, y el Real decreto 404/2020, de 25 de febrero, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Ciencia e Innovación	El IGME, junto con el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y el Instituto Español de Oceanografía (IEO), se integra en la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con carácter de centro nacional	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 77, de 31.03.2021, páginas 36471 a 36486	https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/03/30/202

2. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA
RELATIVAS A LA HIDROGEOLOGÍA
EN LA HISTORIA DEL IGME

(RECOPIADAS POR
JUAN MARÍA FORNÉS AZCOITI
& JUAN ANTONIO LÓPEZ GETA)

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE*
<i>Real Decreto de 11 de julio de 1910, disponiendo que los Reales decretos de 28 de junio último, deberán interpretarse en el sentido de que sus disposiciones no son aplicables a las aguas subterráneas correspondientes a los terrenos y cauces de dominio público, para las que seguirán rigiendo las disposiciones anteriores a los repetidos reales decretos</i>	Corresponde al Instituto Geológico de España el estudio de las condiciones que para el alumbramiento de aguas subterráneas reúnen las cuencas hidrológicas y el señalamiento de los puntos más adecuados para efectuar trabajos de investigación. Los sondeos, pozos, galerías y demás trabajos de alumbramiento que hayan de emprenderse por cuenta del Estado se han de llevar a cabo siempre bajo la dirección técnica y vigilancia del personal del Instituto	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 195, de 14.07.1910, página 253	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1910/195/A00253-00253.pdf
<i>Decreto de 23 de agosto de 1934, disponiendo, entre otros extremos, que cuando se trate de pueblos con menos de 2000 habitantes, el Estado ejecute por su cuenta los trabajos de alumbramiento. El 15 de octubre de 1934, el Ministerio de Industria y Comercio concreta, mediante Orden Ministerial, las disposiciones necesarias para el cumplimiento del Decreto de 23 de agosto de 1934</i>	El Real Decreto de 28 de junio de 1910, que regula el auxilio informativo y económico que el Estado concede para las obras de alumbramiento de aguas, queda modificado por este decreto en el sentido de que, para pueblos de menos de 2000 habitantes, el Estado, dentro de las posibilidades de su presupuesto y de la más eficaz distribución de las consignaciones, ejecutará por su cuenta y con arreglo a proyecto y presupuesto que apruebe, en cada caso, la Dirección General de Minas a propuesta del Instituto Geológico y bajo su inmediata dirección, las obras de alumbramiento necesarias, devolviendo los Ayuntamientos interesados el importe de las mismas en anualidades prefijadas en el proyecto de concesión antes mencionado	<i>Gaceta de Madrid</i> , n.º 259, de 16.09.1934, páginas 2346 a 2374 (29 págs.)	https://www.boe.es/eli/es/d/1934/08/23/(1)/dof/spa/pdf

* Los enlaces son los de carácter permanente de la normativa en el *Boletín Oficial del Estado*, cuando existe dicho enlace, en caso contrario, son enlaces al archivo PDF del texto publicado.

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Orden de la Presidencia del Gobierno, de 31 de julio de 1959, por la que se dictan normas de aplicación del Reglamento de policía de aguas y sus cauces en la cuenca del río Segura</i>	La Confederación Hidrográfica del Segura ha de recabar la intervención del Instituto Geológico y Minero, y de la Asesoría Geológica del Ministerio de Obras Públicas, para delimitar los límites y extensión del «manto subálveo» de la cuenca del Segura. Los representantes del Instituto Geológico y Minero en esta tarea han de ser designados por el ministerio respectivo	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 185, de 04.08.1959, página 10574	https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1959/185/A10574-10574.pdf
<i>Orden de la Presidencia del Gobierno, de 27 de junio de 1963, por la que se regula el artículo segundo de la Ley 59/1962, de 24 de diciembre, de aprovechamiento de aguas y auxilios a los mismos en Canarias</i>	Señala la competencia específica del Instituto Geológico y Minero, dependiente del Ministerio de Industria, en lo relacionado con los aprovechamientos de aguas y auxilios a los mismos en Canarias, en virtud del Decreto de 23 de octubre de 1941, en los expedientes de alumbramiento de aguas subterráneas auxiliados por el Estado, y, por el Real Decreto de 28 de junio de 1910, en el estudio de las condiciones que reúnen las cuencas hidrológicas para el alumbramiento de tales aguas	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 161, de 06.07.1963, página 10582	https://www.boe.es/boe/dias/1963/07/06/pdfs/A10582-10582.pdf
<i>Decreto-Ley 7/1968, de 17 de julio, por el que se prohíbe temporalmente la captación de aguas subterráneas en determinadas zonas de Andalucía, incluidas en el proyecto de investigaciones hidrogeológicas en la cuenca del Guadalquivir</i>	Se prohíbe, en las zonas que se señalan en el artículo tercero de este Decreto-Ley y por espacio de seis meses, a partir de su entrada en vigor, la ejecución de nuevas labores de alumbramiento y captación de aguas subterráneas, distintas a las de investigación a que se refiere en el Plan de Operaciones del Proyecto de Investigaciones Hidrogeológicas en la cuenca del Guadalquivir. Este Proyecto recibe la ayuda técnica y económica del Fondo Especial de Naciones Unidas, y los trabajos de investigación corren a cargo del Instituto Geológico y Minero	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 175, de 22.07.1968, páginas 10701 a 10702	https://boe.es/boe/dias/1968/07/22/pdfs/A10701-10702.pdf
<i>Decreto-Ley 11/1968, de 16 de agosto, por el que se prohíbe temporalmente el alumbramiento de aguas subterráneas en la isla de Mallorca</i>	Se suspenden de modo inmediato, por un plazo de seis meses, toda clase de labores de captación y ampliación de aprovechamientos de aguas subterráneas en la isla de Mallorca, debido al vertiginoso crecimiento de la demanda hidráulica registrado en los últimos años	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 198, de 17.08.1968, página 12197	https://www.boe.es/boe/dias/1968/08/17/pdfs/A12197-12197.pdf

Continúa en la página siguiente.

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<p><i>Ley 2/1969, de 11 de febrero, prohibiendo temporalmente la captación de aguas subterráneas en determinadas zonas de Andalucía, incluidas en el proyecto de investigaciones hidrogeológicas en la cuenca del Guadalquivir</i></p>	<p>Durante el plazo de dos años, contados a partir de la entrada en vigor de esta ley, y exclusivamente en las zonas pertenecientes a las provincias de Sevilla, Huelva, Cádiz, Granada y Almería que se determinan en el artículo cuarto, queda prohibida la ejecución de nuevas labores de alumbamiento y captación de aguas subterráneas, distintas a las de investigación figuradas en el plan de operaciones del proyecto de investigaciones hidrogeológicas en la cuenca del Guadalquivir, así como introducir modificaciones en los alumbamientos ya existentes o en sus instalaciones elevadoras que impliquen el aumento de caudal o una merma en el manto acuífero. Para este estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir, es designado como organismo de ejecución del proyecto la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y como organismo colaborador del Gobierno el Instituto Geológico y Minero de España</p>	<p><i>Boletín Oficial del Estado</i>, n.º 37, de 12.02.1969, páginas 2142 a 2143</p>	<p>https://www.boe.es/boe/dias/1969/02/12/pdfs/A02142-02143.pdf</p>
<p><i>Ley 58/1969, de 30 de junio, sobre régimen jurídico de los alumbamientos de aguas subterráneas en la isla de Mallorca</i></p>	<p>Con motivo de resolver los problemas planteados en la isla de Mallorca, debido a la escasez de dotaciones de agua para usos de abastecimiento, industria y riegos, se legisla la realización, con carácter urgente, por los Ministerios de Obras Públicas, de Industria y de Agricultura, en forma conjunta y coordinada, de un Estudio Regional de Recursos Hidráulicos Totales, que ha de servir de base a la adopción de medidas encaminadas a su utilización óptima para hacer frente a la demanda actual y futura de los diferentes usos consuntivos de agua</p>	<p><i>Boletín Oficial del Estado</i>, n.º 156, de 01.07.1969, páginas 10306 a 10307</p>	<p>https://www.boe.es/boe/dias/1969/07/01/pdfs/A10306-10307.pdf</p>
<p><i>Decreto 735/1971, de 3 de abril, por el que se dan normas de carácter técnico y administrativo a la explotación de aguas subterráneas en determinadas zonas de Andalucía</i></p>	<p>Los trabajos llevados a cabo por la FAO y el Instituto Geológico y Minero en la cuenca del Guadalquivir ponen de manifiesto la existencia de acuíferos cuyas aguas subterráneas pueden contribuir a la atención de la creciente demanda de agua para abastecimientos, usos industriales y usos agrícolas. Corresponde al Ministerio de Obras Públicas el control y vigilancia de las captaciones en las zonas a que se refiere el Decreto. Las autorizaciones que al efecto otorgue la Comisaría de Aguas de la cuenca del Guadalquivir, requieren informe del Instituto Geológico y Minero, que será vinculante. En este, el Instituto ha de imponer, a la vista de la solicitud presentada, las normas técnicas de ejecución, tales como filtros, sellado de acuíferos, cementaciones, etc., para su mejor uso</p>	<p><i>Boletín Oficial del Estado</i>, n.º 93, de 19.04.1971, páginas 6351 a 6352</p>	<p>https://www.boe.es/boe/dias/1971/04/19/pdfs/A06351-06352.pdf</p>

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Decreto-Ley 3/1973, de 5 de abril, por el que se prohíbe temporalmente el alumbramiento de aguas subterráneas en determinadas zonas de la provincia de Almería</i>	Durante el plazo de seis meses a partir de la entrada en vigor del Decreto-Ley, queda prohibida la ejecución de obras de alumbramiento y captación de aguas subterráneas en las zonas de la provincia de Almería que en él se delimitan, así como la modificación de las que actualmente existen o de sus instalaciones elevadoras, que impliquen aumento del caudal alumbrado. Esta prohibición no afecta a los trabajos y obras necesarios, realizados por los organismos oficiales para el estudio de los recursos hídricos de las zonas a que se refiere este Decreto-Ley, ni al alumbramiento de caudales imprescindibles para el suministro de los establecimientos turísticos, cuya construcción haya sido aprobada con anterioridad a la promulgación de este Decreto-Ley, previo informe vinculante del Instituto Geológico y Minero de España, que ha de determinar en cada caso, los volúmenes máximos a extraer, su régimen de explotación, y las condiciones técnicas de ejecución de las obras	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 88, de 12.04.1973, páginas 7348 a 7349	https://www.boe.es/boe/dias/1973/04/12/pdfs/A07348-07349.pdf
Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas	Se le asignan al Instituto Geológico y Minero de España una serie de atribuciones, entre ellas algunas relacionadas con las aguas subterráneas (mapas hidrogeológicos, perímetros de protección de acuíferos, aguas minerales y termales, etc.)	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 176, de 24.07.1973	https://www.boe.es/buscar/pdf/1973/BOE-A-1973-1018-consolidado.pdf
<i>Decreto 3382/1973, de 21 de diciembre, sobre normas para la ejecución de nuevos alumbramientos y ampliación de los ya existentes en la provincia de Baleares</i>	El Instituto Geológico y Minero de España realizará un balance actualizado de una serie de acuíferos e impondrá las normas técnicas de ejecución, tales como filtros, sellado de acuíferos, cementación, volúmenes a explotar, etc., que han de servir de base para la autorización que otorgue el Servicio Hidráulico de Baleares. Este informe del Instituto es vinculante	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 15, de 17.01.1974, páginas 971 a 973	https://www.boe.es/boe/dias/1974/01/17/pdfs/A00971-00973.pdf
Ley 91/1978, de 28 de diciembre, del Parque Nacional de Doñana	Determina que haya un representante del Instituto Geológico y Minero de España, en el Patronato del Parque Nacional de Doñana	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 11, de 12.01.1979	https://www.boe.es/buscar/pdf/1979/BOE-A-1979-932-consolidado.pdf
<i>Real Decreto 2419/1979, de 14 de septiembre, por el que se determinan la composición y funciones de los órganos de gobierno de las Confederaciones Hidrográficas</i>	Las Asambleas de las Confederaciones Hidrográficas han de incluir entre los miembros vocales que representan a la Administración a un representante del Instituto Geológico y Minero de España, perteneciente al Ministerio de Industria y Energía	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 251, de 19.10.1979, páginas 24335 a 24337	https://www.boe.es/boe/dias/1979/10/19/pdfs/A24335-24337.pdf

Continúa en la página siguiente.

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Real Decreto 3029/1979, de 7 de diciembre, por el que se regula la realización de estudios previos para la planificación hidrológica</i>	Primer texto legal relativo a planificación hidrológica	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 17, de 19.01.1980, página 1444	https://www.boe.es/eli/es/rd/1979/12/07/3029
<i>Ley 6/1980, de 3 de marzo, de actuaciones urgentes en materia de aguas en la provincia de Almería</i>	Se ordena, en plazo no superior a dos años desde la publicación de esta Ley, a la redacción del Plan Hidrológico Integral de la provincia de Almería	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 57, de 06.03.1980, páginas 5156	https://www.boe.es/boe/dias/1980/03/06/pdfs/A05156-05156.pdf
<i>Ley 25/1980, de 3 de mayo, sobre reclasificación del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel</i>	Un representante del Instituto Geológico y Minero de España ha de formar parte del Patronato del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 110, de 07.05.1980, páginas 9829 a 9832	https://www.boe.es/boe/dias/1980/05/07/pdfs/A09829-09832.pdf
<i>Real Decreto 2262/1980, de 26 de septiembre, por el que se levanta la prohibición de alumbramiento de aguas en la zona del Bajo Andárax, en la provincia de Almería</i>	Corresponde al Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, con la colaboración del Instituto Geológico y Minero de España, del Ministerio de Industria y Energía, del Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario, y del Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, del Ministerio de Agricultura, la autorización de nuevos alumbramientos de aguas en la zona del Bajo Andárax (Almería)	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 255, de 23.10.1980, páginas 23652 a 23653	https://www.boe.es/boe/dias/1980/10/23/pdfs/A23652-23653.pdf
Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas	En el artículo 42.1, se dice que el Gobierno puede hacer «la declaración de utilidad pública de los trabajos, estudios e investigaciones requeridas para la elaboración y revisión de los Planes Hidrológicos que se realicen por los servicios del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, por el Instituto Geológico y Minero de España, o por cualquier otro Organismo de las Administraciones Públicas». A su vez, en la sexta disposición adicional del texto, se afirma que «sin perjuicio de las competencias en la gestión del agua establecida por esta Ley», el Instituto Geológico y Minero de España ha de formular y desarrollar «planes de investigación tendentes al mejor conocimiento y protección de los acuíferos subterráneos», y prestar «asesoramiento técnico a las distintas Administraciones públicas en materias relacionadas con las aguas subterráneas»	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 189, de 08.08.1985, páginas 25123 a 25135	https://www.boe.es/boe/dias/1985/08/08/pdfs/A25123-25135.pdf

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<p><i>Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas</i></p>	<p>En el artículo 171, 4, se dice que iniciado el procedimiento, el Organismo de cuenca ha de elaborar «un estudio sobre la situación del acuífero en el que se justifique, en su caso, la procedencia de la declaración» y puede solicitar al efecto «informe del Instituto Geológico y Minero de España». Para la elaboración del estudio se consideran «los datos y determinaciones de los planes hidrológicos que procedan, así como la posible información existente que pudiera complementarlos o actualizarlos». En el artículo 257 («Vertidos de sustancias peligrosas a las aguas subterráneas»), en su punto 2, se dice que la autoridad competente (organismos de cuenca), han de exigir un estudio hidrogeológico del Instituto Geológico y Minero de España con el fin de evitar la introducción de residuos o sustancias peligrosas en las aguas subterráneas. En el artículo 258 («Estudio hidrogeológico previo»), se especifica el contenido mínimo que debe contemplar dicho informe previo del Instituto Geológico y Minero de España</p>	<p><i>Boletín Oficial del Estado</i>, n.º 103, de 30.04.1986</p>	<p>https://www.boe.es/buscar/pdf/1986/BOE-A-1986-10638-consolidado.pdf</p>
<p><i>Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas</i></p>	<p>Al final del documento, se dice que las menciones hechas al Instituto Geológico y Minero de España deben entenderse hechas al Instituto Tecnológico Geominero de España. No hay ninguna mención expresa en el Real Decreto</p>	<p><i>Boletín Oficial del Estado</i>, n.º 209, de 31.08.1988</p>	<p>https://www.boe.es/buscar/pdf/1988/BOE-A-1988-20883-consolidado.pdf</p>
<p><i>Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas</i></p>	<p>En el artículo 44.1 se dice que el Gobierno puede hacer «la declaración de utilidad pública de los trabajos, estudios e investigaciones requeridas para la elaboración y revisión de los planes hidrológicos que se realicen por los servicios del Ministerio de Medio Ambiente, por el Instituto Geológico y Minero de España o por cualquier otro organismo de las Administraciones Públicas». En la disposición adicional cuarta («Actuaciones a realizar por el Instituto Geológico y Minero de España») se afirma que «sin perjuicio de las competencias en la gestión del agua establecidas en la presente Ley», el Instituto Geológico y Minero de España ha de formular y desarrollar «planes de investigación tendentes al mejor conocimiento y protección de los acuíferos subterráneos», y prestar «asesoramiento técnico a las distintas Administraciones públicas en materias relacionadas con las aguas subterráneas»</p>	<p><i>Boletín Oficial del Estado</i>, n.º 176, de 24.07.2001</p>	<p>https://www.boe.es/buscar/pdf/2001/BOE-A-2001-14276-consolidado.pdf</p>

NORMA	COMENTARIO	PUBLICACIÓN	ENLACE
<i>Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica</i>	En el artículo 71.5, se dice que el Gobierno puede hacer «la declaración de utilidad pública de los trabajos, estudios e investigaciones requeridas para la elaboración y revisión de los planes hidrológicos que se realicen por los servicios del Ministerio de Medio Ambiente, por el Instituto Geológico y Minero de España o por cualquier otro organismo de las administraciones públicas»	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 162, de 07.07.2007, páginas 29361 a 29398	https://www.boe.es/boe/dias/2007/07/07/pdfs/A29361-29398.pdf
<i>Real Decreto 1383/2009, de 28 de agosto, por el que se determina la composición, estructura orgánica y funcionamiento del Consejo Nacional del Agua</i>	En el artículo 5 («Vocalías de carácter nato del Consejo Nacional del Agua»), apartado e), figura «el titular de la Dirección General del Instituto Geológico y Minero de España (IGME)»	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 209, de 29.08.2009, páginas 73913 a 73918	https://www.boe.es/boe/dias/2009/08/29/pdfs/BOE-A-2009-13929.pdf
<i>Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro</i>	En el anexo VII («Disposiciones normativas del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir»), en el apéndice 7.7.15 («Asignación y reserva de recursos a 2027 para el Sistema 7: Regulación General, subsistema Resto del Sistema»), punto 4, se dice: «Conforme al “Informe Hidrogeológico relativo al abastecimiento a la localidad de Alamedilla (Granada) y propuesta de perímetro de protección del manantial de Gante”, elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España, dependiente del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, el máximo volumen disponible a asignar en dicho perímetro es de 0,48 hm ³ /año. En el anexo X («Disposiciones normativas del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura»), en el artículo 45.2, se dice: «A los aprovechamientos con pozos, sondeos, galerías o manantiales, situados en zona sin acuífero catalogado, les serán de aplicación las normas y criterios para el otorgamiento de concesiones y autorizaciones correspondientes al acuífero o a la masa de agua subterránea que, en su caso, se considere afectada. A estos efectos, la Confederación Hidrográfica del Segura tendrá en cuenta la mejor información disponible para determinar la afección de una captación a un acuífero determinado, pudiendo potestativamente solicitar informe al Instituto Geológico y Minero de España sobre esta vinculación»	<i>Boletín Oficial del Estado</i> , n.º 35, de 10.02.2023, páginas 19510 a 21315	https://www.boe.es/boe/dias/2023/02/10/pdfs/BOE-A-2023-3511.pdf

Editada bajo la supervisión de Editorial CSIC,
esta obra se terminó de imprimir en Madrid
en julio de 2024

