

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS,  
QUÍMICAS Y NATURALES DE ZARAGOZA

**GEOLOGÍA PIRENAICA VISTA DESDE EL SUR**

*DISCURSO DE INGRESO LEÍDO POR EL ACADÉMICO ELECTO*

**Ilmo. Sr. D. ANDRÉS POCOVÍ JUAN**

*EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN SOLEMNE  
CELEBRADO EL DÍA 4 DE ABRIL DEL AÑO 2019*

*Y*

*DISCURSO DE CONTESTACIÓN POR EL*

**Ilmo. Sr. D. JUAN PABLO MARTÍNEZ RICA**

*ACADÉMICO NUMERARIO*



ZARAGOZA

2019

Depósito legal: Z 592-2019

*Imprime:*

Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza

**GEOLOGÍA PIRENAICA VISTA DESDE EL SUR**

**POR EL**

**Ilmo. Sr. D. ANDRÉS POCOVÍ JUAN**



## PREÁMBULO

Excmo. Sr. Presidente, Excmos. e Ilmos. Sres. académicos, distinguidos compañeros, amigos... Ante todo, debo decirles que me siento enormemente halagado de acudir a esta convocatoria para que se estime si puedo relevar satisfactoriamente al Excmo. Profesor Doctor Joaquín Villena Morales, hasta hace poco titular de la medalla 28 de la Academia.

Acudo a esta cita con una carga de emociones que me abrumba y que resalta mis habituales torpezas. El honor aquí se me hace viene acentuado por el hecho de que el Dr. Joaquín Villena Morales goza de buena salud y su renuncia se ha producido por ausentarse de Zaragoza en términos de disfrute de su jubilación. La trayectoria docente e investigadora del Profesor J. Villena es ejemplar, como también lo es su paso por los puestos de gestión, desde su participación en la organización de la Sección de Geológicas, como Catedrático y Director del Departamento de Estratigrafía y Geología Histórica, miembro del Equipo Decanal de la Facultad de Ciencias, Director del Departamento de Ciencias de la Tierra, etc. En su labor investigadora, desde su Tesis Doctoral, defendida en la Universidad de Granada, pero realizada en la Cadena Ibérica, siempre estuvo vinculado al territorio aragonés; muy especialmente a la Cuenca del Ebro de la que es un referente fundamental, y los autores de las tesis doctorales que ha dirigido son actualmente destacados profesores e investigadores de la misma especialidad. Así mismo, los aspectos metodológicos de las “unidades tectosedimentarias” que desarrolló y cultivó, han sido muy fructíferos especialmente en el estudio de cuencas continentales. De ello dejó constancia en sus numerosos trabajos y en el propio discurso de investidura de esta Institución (Villena Morales 1990).

Debo confesarles que mi trayectoria investigadora no es escrupulosamente académica. Mis trabajos se dispersan entre colaboraciones de distintas especialidades y ámbitos territoriales y no se puede decir que haya creado una línea de investigación definida ni desarrollado aspectos metodológicos de interés general. Más o menos en estos términos me expresé en un encuentro con los académicos Juan Pablo Martínez Rica y Eustoquio Molina Martínez en el que me dijeron que estimaban que la Academia podría tomarme en consideración como candidato a Académico Electo. Más tarde recibí escrito del Presidente (Excmo. Sr. Antonio Elipe) que notificaba la concesión de dicha consideración. Me sentí muy halagado y, por supuesto, me rondaba la duda de que podía tratarse de un error. Luego pude pensar que la Academia quería mostrar su lado humano (errar es humano) y que los Académicos tendrían su opción a actuar como sabios y rectificar. Este acto da la opción a los Sres. Académicos a que rectifiquen, pero no es mi deseo que lo hagan.

Entre el mencionado encuentro y el momento actual ha trascurrido un tiempo más largo que lo deseable considerando el calendario de la Academia, y el acontecimiento más impactante de este periodo, en el que se han redactado estas páginas, ha sido el inesperado prematuro fallecimiento de Eustoquio Molina Martínez. La pérdida de Eustoquio, Académico, Catedrático de Paleontología, amigo y, sin duda, primer animador de mi candidatura me deja a mí, como a todo su entorno, un vacío vertiginoso. Su trayectoria científica fue ejemplar y desde la micropaleontología, línea central de su labor investigadora, elaboró grandes aportaciones al conocimiento de los mecanismos y causas de las extinciones, precisiones referentes a los límites Cretácico-Terciario y Paleoceno-Eoceno, a la valoración del patrimonio paleontológico y al conocimiento de las series estratigráficas de Pirineos (como veremos más adelante) y Béticas. Su papel como organizador de cursos y editor de textos formativos y actas de congresos deja un amplio y valioso legado y, por otra parte, sus artículos de divulgación y de desmitificación de conceptos pseudocientíficos también le han dado reconocimiento internacional. Eustoquio al completo nos acompaña.

Antes de entrar propiamente en materias pirenaicas; antes de hablar de la formación de los Pirineos, quiero añadir, a modo de justificación y llamada a su benevolente comprensión, algunos aspectos relativos a mi formación como geólogo.

Hace 50 años la licenciatura en Ciencias Geológicas se impartía en la Sección de Geológicas, de reciente creación (1954) en las Facultades de Ciencias que hasta entonces impartían Ciencias Naturales. Los planes de estudios y el propio ambiente de la Sección de Geológicas eran más “naturalistas” que en la actualidad, que van adquiriendo matices tecnológicos, y contaban con menos opciones de materias aplicadas y menos disponibilidad instrumental. Explorar, observar, describir, inventariar, relacionar, . . . eran términos esenciales en nuestros proyectos y actividades. “*Recuerden ustedes, los geólogos, que antes que geólogos son naturalistas. ¡Tienen que ser observadores!*” nos decía en sus clases el catedrático de Zoología –Invertebrados no Artrópodos–, Dr. Antonio Gadea Buisán [1923-2013]. Lo he tenido siempre presente a lo largo de estos ya largos años. Entiéndase que mi formación básica me ha limitado mucho a la hora de entender, por ejemplo, el fundamento de ciertos métodos geofísicos, petrofísicos o geodésicos. . . , pero tengo el convencimiento de que me ha servido para potenciar la capacidad de dar crédito a los hechos de observación.

# Índice

<b>PREÁMBULO</b>	<b>7</b>
<b>La geología pirenaica</b>	<b>12</b>
PRESENTACIÓN . . . . .	12
<b>Historias del conocimiento geológico de los Pirineos</b>	<b>13</b>
EL TIEMPO DE LOS NEPTUNISTAS Y LOS PLUTONISTAS . . . . .	13
EL ACTUALISMO . . . . .	20
EL ROMANTICISMO: inconformistas, barbudos, extravagantes. . . . .	23
EL REVULSIVO DE LAS <i>NAPPES DE CHARRIAGE</i> : desconfiados y apasionados	28
EL PRIMER TERCIO DEL s. XX: las guerras, los ingenieros, los alemanes . . .	30
Vertiente Sur: más franceses que españoles. . . . .	30
El XIV Congreso Geológico Internacional . . . . .	32
Los franceses tras el armisticio . . . . .	33
Los alemanes . . . . .	34
EL SEGUNDO TERCIO DEL s. XX: las posguerras, el C. S. I. C., el petróleo, los holandeses, la fotografía aérea y otros avances tecnológicos. . . . .	35
A propósito del wolframio . . . . .	35
El C. S. I. C. . . . .	37
Recuperación del I. G. M. E. . . . .	39
La exploración petrolera . . . . .	39
Francia: posguerra, tesis regionales . . . . .	41
Los holandeses . . . . .	43
EL TERCER TERCIO DEL s. XX: tectónica de placas, geólogos con título, proyecto ECORS, paleomagnetismo y otras técnicas . . . . .	45

La cobertera definitivamente alóctona . . . . .	46
Material desprendido de la investigación petrolera . . . . .	46
El Mapa Geológico de España Escala 1:50.000 Segunda serie . . . . .	47
Nuevos focos institucionales: La implantación de las Ciencias Geológicas en otras Universidades . . . . .	48
El análisis estructural . . . . .	48
Organización de ideas básicas: La Zona Azial, el zócalo paleozoico, el Pirineo Hercínico, la estructura del basamento, la cadena varisca, etc. . . . .	49
Los asombrosos primeros resultados del paleomagnetismo . . . . .	51
La anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) . . . . .	53
Los modelos a escala . . . . .	54
<b>Grandes temas propiamente pirenaicos</b>	<b>55</b>
ESTRUCTURA Y DEPÓSITOS SINTECTÓNICOS . . . . .	55
MEGACAPAS MEGATURBIDITAS O MEGABRECHAS . . . . .	56
ROCAS ÍGNEAS . . . . .	57
LAS BANDAS MILONÍTICAS TARDIHERCÍNICAS . . . . .	60
SECUENCIAS DE CABALGAMIENTOS Y CORTES COMPENSADOS . . . . .	61
IBERIA Y LA TECTÓNICA DE PLACAS . . . . .	62
EL PROYECTO “ECORS” . . . . .	63
<b>La estructura de los Pirineos tras dos siglos de estudios</b>	<b>64</b>
<b>Geología del siglo XXI: el futuro con puntos de vista tradicionales</b>	<b>72</b>
NOVEDADES TECNOLÓGICAS . . . . .	72
METODOS GEOFÍSICOS . . . . .	72
SISMICIDAD Y PELIGROSIDAD SÍSMICA . . . . .	72
PALEOMAGNETISMO Y FÁBRICAS MAGNÉTICAS . . . . .	73



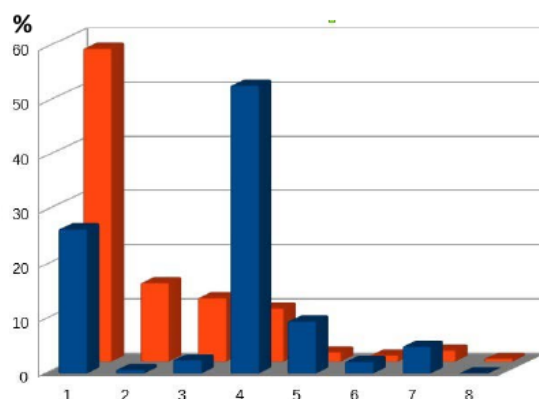
INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA DE CAMBIOS CLIMÁTICOS . . . . .	74
DATAACIONES DE SUPERFICIES POR ISÓTOPOS COSMOGÉNICOS . . . . .	74
TERMOCRONOLOGÍA: TRAZAS DE FISIÓN Y DATACIÓN ISOTÓPICA . . . . .	74
<b>Conclusiones</b>	<b>75</b>
<b>Apuntes inconexos sobre otros aspectos seductores</b>	<b>76</b>
GEOMORFOLOGÍA . . . . .	76
PALEONTOLOGÍA Y PATRIMONIO PALEONTOLÓGICO . . . . .	76
MINERALES Y MINAS . . . . .	77
PATRIMONIO GEOLÓGICO, ACTIVIDADES DIVULGATIVAS Y “GEOTURISMO” . . . . .	80
INSTITUCIONES . . . . .	81
<b>Bibliografía</b>	<b>82</b>

# La geología pirenaica

## PRESENTACIÓN

El año en curso es especialmente prolijo en efemérides pirenaicas y geológicas de la vertiente sur: se conmemora el centenario de la fundación del Parque Nacional de Ordesa (1918), el trigésimo aniversario de la creación de la Comisión de Tectónica de la Sociedad Geológica de España y también de la fundación de la Sociedad Española de Geomorfología (1988). Quizá, por ello, en mis reflexiones haya asomos del ambiente de conmemoraciones. Espero que no sean totalmente inoportunos. Vaya por delante que el principal objetivo de esta disertación es subrayar cómo las miradas con ojos geológicos sobre la Cadena Pirenaica han experimentado un cambio cuantitativo muy espectacular en el último medio siglo. Seguramente en todos los ámbitos científicos ocurre algo muy similar y el número de publicaciones científicas de investigadores españoles ha crecido enormemente a partir del último tercio del siglo pasado. En el caso de trabajos dedicados a la geología pirenaica (artículos de revistas, memorias explicativas de mapas, informe, tesis. . .) este florecimiento es especialmente llamativo. La Figura 1 hace alusión a ello: revisado un número significativo de referencias bibliográficas (casi 1.300) de trabajos tomados al azar de entre los que se han manejado para la redacción de estas líneas y procedentes de distintos países. El conjunto se ha dividido en dos poblaciones atendiendo al año de publicación poniendo el corte en 1975. (Este año no tiene ningún significado paradigmático y posiblemente los resultados serían igualmente significativos a partir de mediados de la década de los sesenta, pero sin duda una década de demora entre aparición de resultados de investigación y su resonancia en una comunidad científica, muy minoritaria y mal comunicada, no está fuera de lugar). La Figura 1 no deja lugar a dudas sobre el incremento de trabajos españoles en los tiempos recientes. Probablemente los resultados están muy condicionados por el muestreo que, indudablemente, está viciado por extraerse solo de los trabajos que he manejado recientemente, pero creo que en un trabajo bibliométrico serio se resaltarían estos mismos resultados y, a su vez, daría pie a tomar en consideración las justificaciones sociales de todas las oscilaciones representadas que aquí no pueden abordarse.

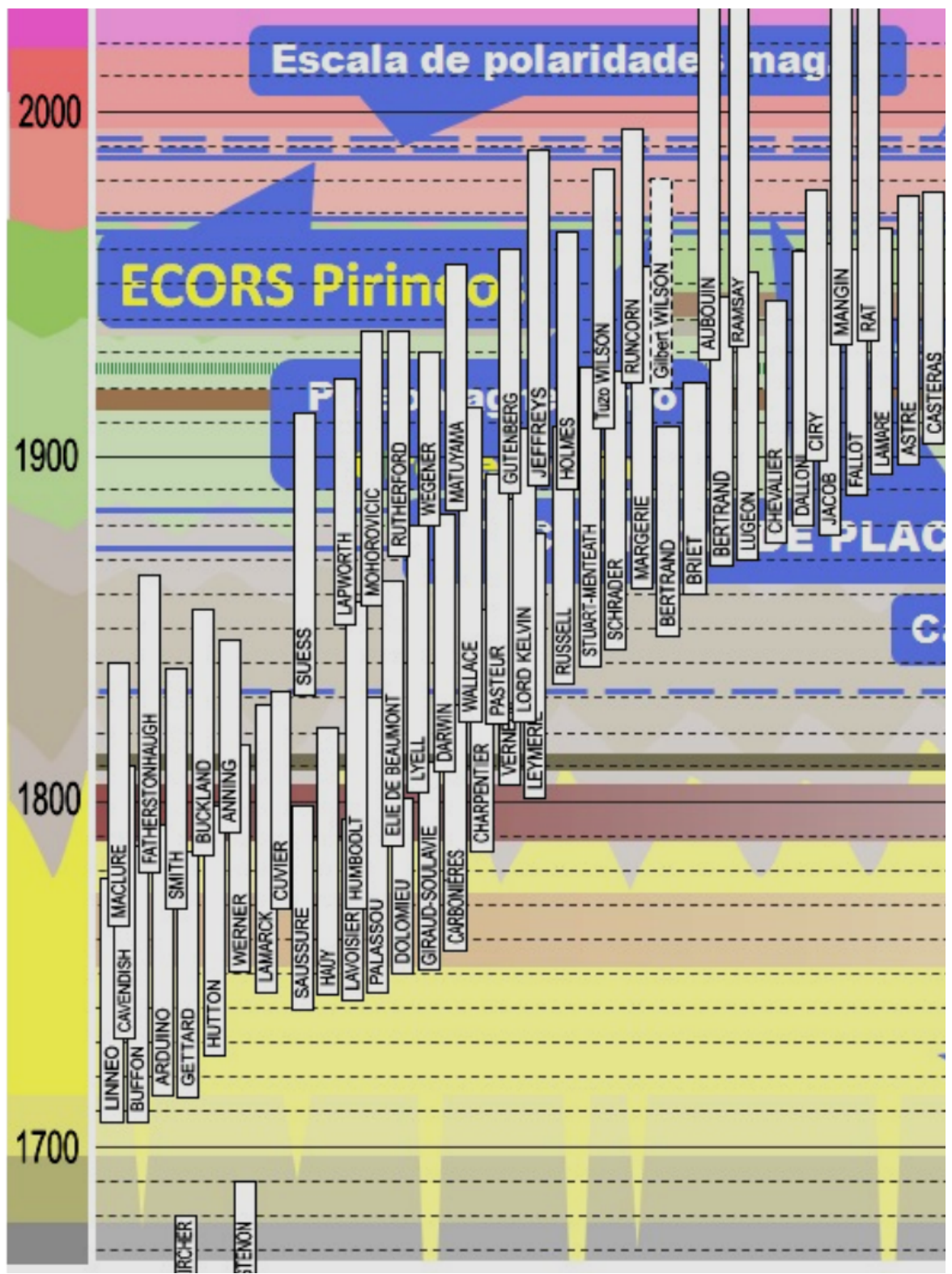
Figura 1: Estimación de la procedencia de los trabajos dedicados al Pirineo en distintas épocas. Al fondo, trabajos anteriores a 1975 (322 datos). Al frente, posteriores 1975 (954 datos). 1) Francia. 2) Alemania. 3) Holanda, 4) España. 5) Reino Unido. 6) Resto de Europa. 7) América. 8) Otros, Los trabajos internacionales se han atribuido al país del primer firmante.



## Historias del conocimiento geológico de los Pirineos

### EL TIEMPO DE LOS NEPTUNISTAS Y LOS PLUTONISTAS

Se suele admitir que las primeras descripciones geológicas de interés científico se deben a Palassou [1745-1830], aunque caben consideraciones referentes a fechas de publicación porque el químico, metalúrgico, académico y parlamentario J. D'Arcet vio publicado antes su "*Discours...*" (D'Arcet 1776) pero Palassou había depositado una memoria en la Académie des Sciences meses antes. Cuando se ponen los datos de los pioneros sobre un cronograma (Figura 2), resulta llamativo que los primeros tiempos de la Ilustración no dejaron muchas luces sobre la constitución geológica de los Pirineos, pero ya entrados en los tiempos de la elaboración de la Enciclopedia (1751-1754) y en los años pre-revolucionarios se despierta el interés científico por las montañas. La conquista de la cima del Mont Blanc (1786) estuvo incentivada por Saussure [*Horace Bénédicte de Saussure*, 1740-1777], naturalista y aristócrata ginebrino, y la primera expedición científica, organizada y llevada a cabo por el mismo Saussure al año siguiente, se toman como origen del Alpinismo. Esta expedición iba equipada para llevar a cabo observaciones geológicas, topográficas y meteorológicas. El libro de Saussure (*Voyages dans les Alpes*, 4 volúmenes aparecidos entre 1779 y 1796) debió ser muy motivador para la naciente afición al alpinismo.



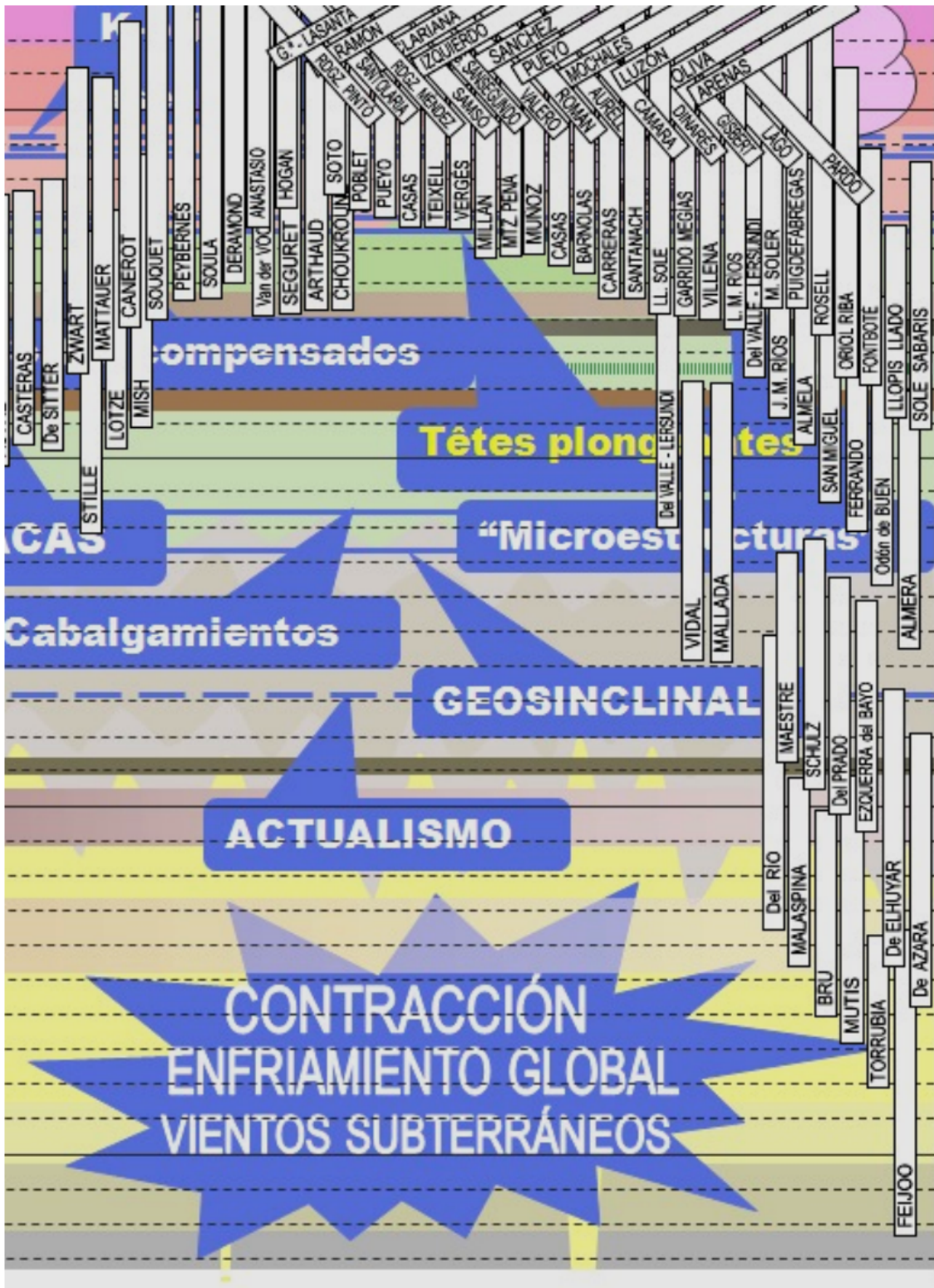


Figura 2: Cronograma de autores representativos de la geología pirenaica con obras de interés relativo a tectónica y geología estructural, junto con algunos referentes de la historia de la ciencia. La escala temporal vertical solo es válida para los autores de las bandas verticales. Las bandas oblicuas de la parte superior derecha corresponden a autores que han realizado toda o parte de su investigación en el presente siglo y su posición en la figura no atiende a la escala vertical.



En los Pirineos también un aristócrata, Ramond de Carbonières [*Louis François Elisabeth Ramond, barón de Carbonières, 1755-1827*], representa el papel de pionero del Pireneísmo. Carbonières estudió derecho en Estrasburgo, su ciudad natal, y se inició en la naciente literatura romántica. Llegó a los Pirineos en curiosas circunstancias: encabezaba el séquito del cardenal-arzobispo de Estrasburgo, el príncipe *Louis René Édouard de Rohan*, que habiendo sido víctima de una bochornosa estafa (el asunto del collar de la reina), decidió pasar un verano en las termas pirenaicas. Así es como durante el verano y otoño de 1787 Ramond de Carbonières, desde Bagnères entró en contacto con los parajes de Gavarnie y Maladeta y se propuso explorar las cumbres, animado por la polémica de mucha resonancia acerca de la constitución granítica de las cumbres montañosas, como había observado Saussure en el Mont-Blanc, o si podía haber cumbres calcáreas, y en este caso si se trataba de calizas primarias, como discutían Dolomieu, Picot de Lapeyrouse y otros, más o menos dentro de los esquemas de las ideas neptunistas defendidas por Werner [*Abraham Gottlob Werner, 1749-1817, recién cumplido el bicentenario de su muerte*] y la prestigiosa escuela de Freiberg.

En los años de la Revolución, Carbonières, por su condición de aristócrata significativo del antiguo régimen estuvo a punto de pasar por la guillotina. Por ello vivió en Tarbes, refugiado y apartado de la política. A partir de 1796 impartió cursos de historia natural y se dedicó a planear el ascenso al Monte Perdido (Marsan y Verdenal 2002, San Román y Piedrafita 2018). Como es bien sabido, no alcanzó la cima hasta 1802 con la amargura de que tres de sus acompañantes (dos guías franceses y un pastor de Bielsa) hicieron cima antes que él (Ramond 1803). Aún así se le reconoce como responsable de la primera ascensión a la cumbre, lo cual, junto con el relato de los resultados de anteriores expediciones (Ramond 1801) le valió la entrada en la *Académie* de Paris. Su libro “*Voyages au Mont Perdu et dans la partie adjacente des Hautes Pyrénées*” ha tenido 25 ediciones entre 1801 y la actualidad (Ramond 1801, Suchet 2009). En una de las expediciones de 1802 (22 y 23 de agosto), pasó el puerto de Bujaruelo en dirección a Torla para remontar luego el valle de Ordesa (Ramond 1803). Sus anotaciones de estos días registran las primeras observaciones de geología pirenaica realizadas desde la vertiente Sur.

El antes mencionado Picot de Lapeyrouse [*Philippe-Isidore Picot de Lapeyrouse, 1744-1818*], abogado y funcionario de la Cámara Municipal de Toulouse, en 1775 había heredado la fortuna junto con el título de barón de Lapeyrouse, lo que le permitió dedicarse a sus aficiones naturalistas. En 1797 acompañó a Carbonières en una de las expediciones que no alcanzaron cima, pero donde pudieron comprobar sin lugar a dudas que los estratos

calcáreos que llegaban a la cumbre (entonces aún considerada la más alta de los Pirineos) eran de calizas secundarias (Santanach 2015). Inmediatamente comunicó el descubrimiento a la *Académie des Sciences* en forma de pequeña memoria (Picot de Lapeyrouse 1797). Charbonnières hizo lo mismo, pero en forma de carta dirigida al académico Haüy (Ramond 1797). Ambos trabajos aparecieron en el *Journal de Mines* y la satisfacción por la prioridad del descubrimiento tuvo que ser compartida.

Así mismo, Dolomieu [1750-1801], reconocido por la descripción de las peculiaridades de las rocas de los Alpes Calcáreos (y por los nombres de Dolomites, dolomía, dolomita introducidos en su honor), aunque no fue un pireneísta destacado, en una breve estancia, en 1782, constató que las cumbres del Monte Perdido son calcáreas, lo que le permitió romper lanzas contra los esquemas simplificadores de los neptunistas y su ordenamiento sistemático de la Naturaleza, mientras que él observaba que “todo está mezclado y confuso” (Santanach, 2015).

Como es bien sabido, Dolomieu [*Dieudonné Sylvain Guy Tancrède Gratet de Dolomieu* había nacido en el castillo de los Gratet de Dolomieu, en el entorno de Grenoble (Isère). Fue caballero de la Orden de Malta, comendador de la misma, gobernador de La Valetta y le correspondió pactar la rendición de Malta ante Napoleón. La Revolución había confiscado los bienes de la Orden de Malta, por lo que, careciendo de recursos, participó en la expedición de Egipto, pero desertó por discrepancias con Napoleón, tras lo cual fue perseguido, capturado en Calabria y encarcelado 21 meses en Sicilia. Tras estos episodios pudo conocer los volcanes de Lípari, Estromboli, Vulcano y Etna, y relacionó el origen de los terremotos con la actividad volcánica. Con este bagaje de conocimientos crecieron sus discrepancias con los planteamientos neptunistas.

Poco antes de la gesta de Carbonières se dieron otras demostraciones del interés que despertaba la exploración de las cumbres pirenaicas: En 1786 Henry Reboul, joven físico que frecuentaba las tertulias habituales del entorno de Lavoisier [*Antoine-Laurent de Lavoisier* 1743-1794], donde probablemente los primeros volúmenes del libro de Saussure habían calado hondo, conseguía la primera ascensión al pico de Anie. Reboul dedicó esfuerzos a mejorar las mediciones de alturas de los picos más altos. En 1789 pudo demostrar con sus mediciones, que era el Aneto y no el Perdido el pico de mayor altura de los Pirineos.

Dicho sea de paso, el propio Lavoisier, que había estudiado ciencias naturales y derecho, además de su interés por los instrumentos barométricos y las determinaciones altimétricas tuvo una significativa dedicación a la geología (Ellenberger 1989, Guettard et Lavoisier 1778). Podría decirse que tuvo un papel importante en los inicios del estudio de la geología del Pirineo.

A la par de estas investigaciones “de altura”, llevadas a cabo en las costosas expediciones de los aristócratas, se inician observaciones más apegadas al terreno y con más espíritu

naturalista que geodésico. El más reconocido representante de esta línea es el bearnés Palassou [*Pierre-Bernard Palassou*, 1745-1830]. En los años pre-revolucionarios vivió en París. Se formó como religioso y recibió órdenes mayores (*abbé tonsuré*). Como familiar del académico Guettard [*Jean-Étienne Guettard*, 1715-1786] estuvo en contacto con Lavoisier y en el ambiente de sus tertulias científicas fue animado a estudiar la vertiente francesa de los Pirineos (Durand-Delga 2002). En 1776 había entregado a la Academia “*Description des différentes matières contenues dans les Pyrénées*” y al año siguiente, la memoria “*Sur un voyage mineralogique dans les Pyrénées*”, la cual fue valorada e informada favorablemente por D’Arcy, Lavoisier y Desmarests, recomendando su publicación pero, por cuestiones de liquidez, no pasó a imprenta hasta 1781. Se trata de una obra muy significativa, especialmente por su segunda edición (Palassou 1784) que incorporaba la “*Carte mineralogique des Monts Pyrénées*”, un mapa compuesto de siete hojas que sitúan observaciones de toda la vertiente norte (Santanach 2015).

Los tiempos de la Revolución tampoco debieron ser fáciles en París para Palassou, por lo que se trasladó a Pau, donde subsistió con muy escasos recursos, como académico correspondiente y científico prestigioso. Su nombre va ligado al reconocimiento de grandes formaciones conglomeráticas ligadas a la erosión de la cadena (*poudingue de Palassou*), a la introducción del término “*ophite*”, aun en uso para cierta textura de rocas ígneas, y a la minuciosa descripción de afloramientos de esta roca, aunque no llegó a reconocer su origen volcánico, puesto que su pensamiento estaba en la órbita neptunista, en la que “no se reconocían volcanes en el Pirineo”. También determinó el origen marino de las formaciones calcáreas.

Coetáneo de Palassou, y también clérigo, fue Giraud-Soulavie [*Jean-Louis Giraud-Soulavie*, 1752-1813], personaje sin duda genial, novelesco y un tanto contradictorio. Ordenado sacerdote en 1776, fue canónigo de Sainte-Croix d’Étampes de donde pasó a París y estuvo muy vinculado al entorno de Robespierre. Conocido como “*vicair rouge*”, defendió una polémica reforma del clero. Fue diplomático de la Primera República en Ginebra hasta la caída de Robespierre [1794]. Su obra es muy extensa y consta de trabajos sobre temas geológicos, políticos e históricos. Su “*Histoire naturelle de la France meridionale*” tenía que constar de 8 tomos, pero no se llegó a terminar. Se le considera un importante precursor de la geología moderna, dado que en sus escritos están implícitos conceptos como la sucesión estratigráfica (principio de la superposición) con anterioridad a William Smith, la noción de transformismo de las especies, incluyendo extinciones y migraciones o el modelado del paisaje por los agentes externos. Precisamente una estimación de la edad



de la Tierra basada en el tiempo necesario para excavar los valles pirenaicos provocó una gran polémica y Barruel [*Augustin de Barruel*, 1741-1820, jesuita muy influyente en los medios monárquicos absolutistas y tradicionalistas franceses y españoles], demostrando que sus conceptos eran contrarios al Génesis, le llevó a un serio enfrentamiento con la *Académie*. Al final de sus días se retractó de sus errores contra la religión y se reconcilió con la Iglesia.

Habiendo mencionado a Smith [*William Smith*, 1769-1839], puede ser momento de recordar su admirable aportación a la ciencia aunque su trabajo no se realizó en terreno pirenaico. Desde una infancia de privaciones, con poca formación académica, un empleo de auxiliar de topógrafo a partir de los 18 años le llevó a un lento progreso en el conocimiento del terreno; a reconocer la continuidad de los estratos y formaciones rocosas en superficie y la sucesión faunística, y tras muchos años de observación en campo (afloramientos y excavaciones), dio a conocer su primer mapa geológico (Mapa geológico de Inglaterra, Gales y gran parte de Escocia, 1815) basado en su *Principle of Faunal Succession*, que constituye uno de los cimientos de la geología, conocido como Principio de Smith en su honor. A causa de una desafortunada aventura editorial sin subvenciones (1816-1819), se endeudó y por ello pasó un tiempo en la cárcel y por una vuelta en precario al mundo profesional. Podría decirse que Smith tuvo que ser “redescubierto” por la *Geological Society*, de la mano del presidente Adam Sedgwick, y se le concedió la primera medalla Wollaston en 1831 y más tarde (1835) le gestionó sorpresivamente para el protagonista, el doctorado honoris causa en el *Trinity College* de Dublin, la Universidad fundada por Isabel I (Torrens 1989).

Atendiendo al cronograma (Figura 2) hay que mencionar a Charpentier [*Johann von Charpentier*, 1786-1855]. Nacido en Freiberg, siendo su padre ingeniero jefe de minas de Saxe, estudió ingeniería en la prestigiosa escuela de minas de su ciudad, la más prestigiosa de su tiempo. Poco después pasó a Francia y durante 4 años estudió el Pirineo, estudio que concluyó con una gran síntesis premiada por la *Académie* (Charpentier 1823). Este trabajo se acompaña de un mapa geológico memorable, litografiado y coloreado en acuarelas, acompañado de leyenda y cinco cortes transversales que se acomodan a la concepción neptunista de la constitución de las montañas. Además, la memoria contiene un corte de síntesis dibujado al objeto de justificar esa peculiaridad de la Cadena Pirenaica que causó tanto impacto en los pioneros, es decir, la naturaleza calcárea de determinadas cumbres de la vertiente meridional, particularmente el entorno del Monte Perdido; corte que ha sido citado y reproducido en numerosísimas ocasiones.

Como final de esta época de pioneros y abriendo el camino de la transición al actualismo en los estudios pirenaicos se sitúa a De Serres [*Marcel de Serres de Mesplès*, 1780-1862], primer profesor de mineralogía de la Universidad de Montpellier. De Serres desde muy joven y tras un revés de fortuna de su familia de Montpellier, vivió en París acogido por el general Daru. Al acompañarle en una campaña militar del Este, tuvo ocasión de contactar con el propio Napoleón, al que causó tan buena impresión que le nombró profesor de Geología y Mineralogía de Montpellier, donde ejerció durante 53 años. En la década de 1820 se dedicó de lleno a la geología del Pirineo Oriental y seguramente el principal resultado fue una extensa memoria enviada a la Société Linnéenne de Normandie, que se perdió por los bombardeos de 1944 (Santanach 2015) pero se pueden conocer aspectos de su contenido por un resumen conservado (De Serres 1929) que va acompañado de un mapa geológico del Pirineo Oriental. Este mapa, que aún participa de los conceptos neptunistas, ya utiliza los fósiles para caracterizar y ordenar las formaciones rocosas. Precisamente De Serres contribuyó significativamente en las bases de la estratigrafía. Aunque no se apartó de los tiempos absolutos deducidos del Génesis, introdujo la relación del Cuaternario como época del Hombre (Santanach 2015).

Es evidente que los avances en el conocimiento científico de esta época van muy ligados a la expresión gráfica, y muy particularmente al inicio de la elaboración de los mapas geológicos. Mientras que los textos de los pioneros daban cuenta de los hallazgos (y facilitaban a otros alcanzar los mismos puntos de observación), los mapas permitían relacionar unas observaciones con otras a la par que añadir más observaciones y reflexionar sobre su significado.

## EL ACTUALISMO

Bien entrados en el XIX, en la década de los treinta, hay un cambio significativo en el pensamiento geológico. El libro de Lyell [*Charles Lyell*, 1797-1875] pone fin a “los mitos geológicos” (Virgili 2003). La primera edición, en tres volúmenes apareció entre 1830 y 1833, y la primera traducción española (Lyell 1847) es de Ezquerro del Bayo [*Joaquín Ezquerro del Bayo*, 1793-1859], miembro fundador de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. El libro hizo que la balanza de las polémicas entre plutonistas de la línea de Hutton y Playfair (Edimburgo) y neptunistas de la escuela de Werner (Freiberg), empezase a inclinarse hacia los primeros, aunque el prestigio de la escuela de Freiberg, especialmente en temas afines a la ingeniería de minas, sigue siendo indiscutible. Lyell estuvo en España justo después de publicar el primer tomo de los

“*Principles*”. Después de la visita a los volcanes de Olot emprendió la travesía pirenaica de Puigcerdá a Pau pasando por la Maladeta y por el Monte Perdido (Virgili 2007) para conocer en directo este lugar extraordinario de la literatura geológica. Pudo constatar la presencia de calizas e identificar sus fósiles, de lo que dejó constancia en sus notas y en una carta a su madre (Lyell 2010).

El actualismo de Lyell, cuya idea central era que en el pasado las cosas ocurrían como en la actualidad y no por una sucesión de acontecimientos extraordinarios, como defendían los catastrofistas (Cuvier, Von Buch, Élie de Beaumont...; Figura 2) porque tenían más opción a encajarse dentro de la cronología bíblica, fue un gran revulsivo en el pensamiento de los naturalistas. El propio Darwin reconocía que fue inspirador para su trabajo. No obstante hasta la actualidad llegan algunas voces discrepantes (Ager 1995) y hechos de observación que encajan mal en una óptica de “actualismo cotidiano” (Molina 1995, 2016).

Por otra parte, el modo de hacer mapas de Smith se fue imponiendo decisivamente y desde esta época, la cartografía (junto con los cortes geológicos) se convierte en la primera herramienta metodológica de la investigación geológica, que pronto se mostró especialmente útil para la minería y las obras públicas, trabajos que aportaron el sustento y los conocimientos del propio Smith.

A partir de estos tiempos nacen los servicios geológicos nacionales, que entre sus principales funciones tienen encomendada la formación de los mapas geológicos: el “*Geological Survey*” se instituye en 1835, la “*Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino*” en 1849, el “*Service de la carte géologique de la France*” en 1868.

Significativo exponente de esta época y estilo en el ambiente pirenaico es Leymerie [*Alexandre-Félix-Gustave-Achille Leymerie*, 1801-1878], profesor de la Facultad de Ciencias de Toulouse, explorador-observador meticuloso y laborioso (Barthélémy 1879) que se impregnó del entusiasmo que irradiaba *Élie de Beaumont* y habiendo conseguido un puesto de profesor de matemáticas de escuela industrial de Lyon en 1833, en 1837 volvió a París para estudiar geología en la Escuela de Minas.

Permitámonos recordar, dicho sea entre paréntesis, que *Élie de Beaumont* [*Jean-Baptiste-Armand-Louis-Léonce Élie de Beaumont*, 1798-1874] fue profesor de la Escuela de Minas de París desde 1835 y coautor del primer mapa geológico de Francia (1841), junto con A. Dufrenoy [*Ours-Pierre-Armand Petit Dufrenoy*, 1792-1857], que fue su director de la Escuela de Minas; trabajo que culminó plasmado, tras años de investigación, en una extensa memoria de 4 tomos (Dufrenoy y *Élie de Beaumont*, 1830-1838). Sin duda obtuvo más reconocimiento en su tiempo como autor e impulsor de una teoría orogénica (teoría de la red pentagonal) según la cual las cadenas montañosas de la Tierra, originadas por la contracción global, se distribuyen en círculos máximos que forman una red pentagonal y las que pertenecen a un mismo círculo máximo son coetáneas. Evidentemente el tiempo

se encargó de desbancar tal teoría, pero se reconoce a Élie de Beaumont una gran capacidad para despertar vocaciones investigadoras y también el inmenso trabajo que dedicó a recopilar pruebas de su teoría. Sus méritos le fueron ampliamente reconocidos en vida: fue miembro de la Academia de Berlín, de la Geological Society, se le concedió la Medalla Wollaston y la Legión de Honor; se le nombró senador por decreto presidencial, secretario perpetuo de la Academia de Ciencias y un cráter lunar lleva su nombre.

Volviendo a Leymerie, entusiasta del trabajo de campo y la recopilación de datos que se puedan plasmar en mapas y cortes, consideraba que la geología había sido por mucho tiempo una ciencia especulativa porque los geólogos siempre habían dispuesto de escasos datos, siempre insuficientes para desarrollar una teoría de la Tierra seria y coherente, pero tras los trabajos de Fuchsel, Hutton, Saussure, Werner... ya es posible manejar muchos más datos. De acuerdo con su maestro Élie de Beaumont, la geología tiene que basarse en observaciones y datos. A veces manifestaba que sentía un horror insuperable por las nuevas teorías. Probablemente guiado por esta actitud entabló una curiosa polémica (Leymerie 1853) con el director del Observatorio de Toulouse cuando éste, en sus mediciones geodésicas, obtuvo valores de desviación de la vertical menores de los que se calculaban a efectos de corrección topográfica, y anunció que el Pirineo podía estar hueco (Petit 1847 a y b, Lamy 2009).

Un logro importante de su trabajo de campo fue contribuir a la redefinición de los límites del Cretácico, proponiendo el término de Epicretácico para las calizas nummulíticas de la cuenca de Paris, que luego D'Orbigny pasaría al Terciario. También es especialmente significativa la definición de un nuevo "piso" o *systeme*, el Garumniense (Leymerie 1863, 1868 a y b, 1875, 1876, 1877) que no cumple requisitos de unidad bioestratigráfica internacional, pero su uso en el Pirineo se mantiene vigente en la práctica habitual ligado a la facies que lo caracteriza (facies Garumn).

Contemporáneo de Leymerie y de mucha influencia en la geología de España fue Verneuil [*Philippe Edouard Poullétier de Verneuil*, 1805-1873]. También alumno de Élie de Beaumont, asistía a sus clases siendo estudiante de derecho y así conoció su verdadera vocación. Colaborando con el escocés Roderick Murchinson puso las bases de la bioestratigrafía del Paleozoico de Europa. Viajó por Europa desde Crimea hasta Escocia, desde Rusia a Portugal, y también por Argelia y América del Norte. Realizó numerosas campañas por España y Portugal estudiando sobre todo las series estratigráficas y faunas del paleozoico, pero en ocasiones también se ocupó de la diferenciación de las calizas nummulíticas de las propiamente cretácicas. En relación con España, "una nación que por lo general atrae menos nuestra atención por los progresos de sus ciencias que por la inestable movilidad de sus instituciones políticas" (en Babin 2005 con referencia a Verneuil et al.

1855), colaboró con geólogos españoles (p. ej. Casiano del Prado) y recopiló información para elaborar el mapa geológico de España y Portugal, en buena parte basado en los mapas provinciales (Schulz 1858, Del Prado , 1864, . . . ) propiciados por la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, creada en 1849, anticipándose por muy poco tiempo al de Amalio Maestre (Verneuil 1864, Verneuil y Collomb 1869, Aragonés Valls 2013, Calvo 2013). Se le reconocieron sus aportaciones con la Gran Cruz de la Orden de Isabel la Católica y la insignia de Comendador de la Orden de Carlos III (Calvo 2013).

## EL ROMANTICISMO: inconformistas, barbudos, extravagantes. . .

Evidentemente este epígrafe no responde a ningún paradigma de índole geológica, sin embargo los protagonistas, un tanto extravagantes y apasionados buscadores de libertad, encajan muy bien en este concepto.

Aquí es imprescindible una alusión al mítico Henry Russell, más que por sus trabajos geológicos, por atraer la atención sobre el Pirineo y propiciar la investigación, por ejemplo como fundador de la *Societé Ramond*.

Russell [conde *Henry-Patrik-Marie Russell-Killough*, 1834-1909] nació en Toulouse porque su padre, irlandés, barón de Killough decidió dejar Irlanda a causa de la discriminación de los católicos, se enroló en los ejércitos del Papa y, por sus gestas, se le otorgó el título papal de Conde. Henry Russell no debió pasar penurias económicas y a los 23 años (1858) pudo viajar por América del Norte para hacer alpinismo. A la vuelta hizo varias ascensiones al Monte Perdido en variadas condiciones atmosféricas y luego emprendió un nuevo viaje que le llevó tres años. Pasó por San Petersburgo, Moscú, cruzó el lago Baikal helado, el desierto de Gobi, la Gran Muralla, Pequín, Hong-Kong, Macao, Australia, Nueva Zelanda, Ceilán, Calcuta, el Himalaya, Suez, Mediterráneo y dominios pirenaicos. A partir de 1861 se anotó numerosos primeros ascensos de cimas pirenaicas. Se prendó tanto del Vignemale que se hizo acondicionas hasta 7 cuevas donde pasaba largas temporadas generalmente en solitario y a veces organizando recepciones suntuosas para notables. Previamente estableció un contrato de alquiler con las autoridades regionales que le autorizaba el uso de unas 200 Ha de esa montaña durante 99 años al precio de 1 FF. Sostenía que solo era feliz por encima de los 2.000 m. Fue conocido como “el Conde del Vignemale” o “el Águila de los Pirineos”. Un pico del macizo de la Maladeta lleva su nombre. Escribió sobre sus viajes, sobre sus ascensiones y sobre las bondades de hacer ejercicio en montaña (Martínez Embid, 2005, Wikipedia, voz: “Henry Russell, explorer”).

La admirable *Societé Ramond* se fundó en 1865 para compartir experiencias montaÑeras, inspirándose en el Alpine Club de Londres, que se había fundado en 1857. Una reunión preparatoria tuvo lugar en el *Hôtel des Voyageurs* de Gavarnie estaban, además de Russell, Charles Packe (alpinista-pireneista británico), Émilien Frossard (pastor protestante y dibujante) y sus dos hijos, Charles-Louis y Émilien Segismond; luego apareció también como fundador Farnham Maxwell-Lyte (fotógrafo y alpinista británico). Unos días después, en casa de los Frossard, se decidió el nombre que hacía honor a Ramond de Charbonnières

y se prepararon los estatutos. A propósito de los estatutos, se dice que Russell proponía que para ser admitido como socio había que acreditar haber alcanzado al menos una cima de 3000 m. La *Société* aportó material al Museo de Ciencias Naturales de Bagnères de Bigorre fundado en 1837, impulsó la creación del Observatorio del Midi de Bigorre y, en particular, edita su boletín desde el año siguiente de su fundación, 1866, con interrupciones solo en relación con las guerras mundiales.

Lucien Briet [*Lucien-Henry-Cesar Briet*, 1860-1921] entra perfectamente en el epígrafe del romanticismo. Conocido como montañero, explorador, fotógrafo y escritor, también se le tilda de misterioso, atractivo, poeta, anticlerical, desertor y vividor. Su primer viaje por el Pirineo, en 1891, transcurrió por Bujaruelo, Torla y Ordesa pero en las siguientes incursiones se metió por lugares insospechados, obsesionado por la belleza del paisaje calcáreo y por obtener fotografías llamativas, extraordinarias para su tiempo. Su legado de 1600 fotos ha estado expuesto en el Museo Pirenaico de Lourdes (Briet 1913, Acín Fanlo 2000, Martínez de Pisón 2004). Sus obras no representan en sí una aportación a la geología pirenaica, pero contribuyeron decisivamente a la creación del Parque Nacional de Ordesa, actualmente ya centenario (Ministerio de Fomento 1918). Así se le reconoce en el monumento erigido en su honor en “la pradera” del Parque y así ha contribuido a atraer miradas geológicas sobre el Pirineo (Bresson 1903, Van de Velde 1967, Ríos Aragüés et al. 1982 a, b y c, Ríos Aragüés et al. 1990 b y c, Ríos Aragüés 2003, García Ruiz y Martí Bono 2001, Roda Marínez et al. 2011, Robador et al. 2013, entre otros).

Un referente fundamental de esta época es Franz Schrader [*Jean-François-Daniel Schrader*, 1844-1924] quien, sin estudios específicos, tiene un destacadísimo papel como cartógrafo y geógrafo, además de dibujante y montañero. Su padre, prusiano afincado en Burdeos, decidió no mandarle a la universidad, con lo que en sus años juveniles fue un modesto empleado. En una breve visita a Pau sintió la atracción de la grandiosidad de la montaña, que se acrecentó con las lecturas de Ramond de Carbonières y Russell. A partir de sus observaciones y dibujos sobre el terreno, y apoyándose en un instrumento topográfico que él mismo diseñó, el *orograph* (Saule-Sorbé 2004), en 1874 terminó un sorprendente mapa del Monte Perdido y su entorno (Schrader, 1874). Hoy mismo resulta incomprensible que se pueda realizar un mapa de esta índole sin disponer de imágenes aéreas y los instrumentos de visión estereoscópica correspondientes. Recordemos, para no perder la perspectiva de su tiempo, que la famosa “Carte d’Etat-Major” aún estaba en ejecución (en 1817, Luis XVIII de Francia y de Navarra, nombró una comisión a tal efecto presidida por Laplace y en 1824 empezó la ejecución, prolongándose hasta 1954 ). En razón del prestigio que le reportó

el mapa del Monte Perdido quedó introducido en el ambiente intelectual de la geografía, tomó parte en la fundación de la sección de Burdeos del Club Alpin Français (CAF) y fue atraído hacia París, contratado como geógrafo por la *Librairie Hachette*, editora de mapas de distinta índole. Dispuso un mapa de toda la Cadena Pirenica (1:400.000) y, en colaboración con E. de Margerie, elaboró una síntesis geológica de gran difusión (Margerie y Schrader 1891 y 1892) y sirvió de base para ediciones a otras escalas (Schrader y de Margerie 1891).

Por cierto, que E. de Margerie [*Emmanuel Jacquin de Margerie*, 1862-1953], siendo considerablemente más joven, aún entra bien en este apartado de los románticos. Nacido en una familia acomodada de París, adquirió su formación estudiantil en el propio hogar familiar, así que ostentaba la rara cualidad de no tener ninguna titulación oficial y no haber pasado examen alguno. A los 15 años (1878) asistió al Primer Congreso Geológico Internacional e ingresó en la *Société Géologique*, de la que fue presidente dos veces (1899 y 1919). Se le considera pionero de la geomorfología en Francia. Tal vez se destaquen sus cualidades de erudito sobre las de explorador, posiblemente a consecuencia de un accidente grave sufrido realizando trabajos de campo en Corbières. Llevó a cabo la versión francesa, incluyendo numerosas notas propias, de *Das Antlitz der Erde* (Suess 1883-1909), que fue sin duda el tratado de geodinámica más influyente en los tiempos comprendidos entre Élie de Beaumont y la tectónica de placas. Participó en programas de intercambio con Estados Unidos, fue director del *Sérvice de la carte géologique d'Alsace et Lorraine*, etc., etc. (Gillet 1954)... Todo ello representa una brillante carrera profesional que no está completamente exenta de algunas sombras (Vogt 1999).

Caso particular en este ambiente es el de Stuart Menteath [*Patrick William Stuart-Menteath*, 1845-1925], por un lado porque en vez de barba lucía un soberbio bigote y por otro, sin duda más decisivo, su carácter temperamental y su constante disposición a entablar agrias polémicas en los encuentros científicos (tal vez como consecuencia de un trauma juvenil en su ambiente familiar muy ligado a la vida castrense, según se desprende de los datos biográficos de Jacqué 2005). Había estudiado química en Edimburgo y geología en la *Royal School of Mines* de Londres, exploró durante años el Pirineo occidental aparentemente por cuenta de *Rio Tinto Limited*. Publicó un largo centenar de trabajos sobre temas pirenaicos, buena parte de ellos refutando interpretaciones de autores franceses. En 1894 pagó una elevada cuota que le daba la consideración de Socio vitalicio de la *Société Géologique*, pero en 1901 presentó la dimisión sin renunciar a la recepción del *Bulletin* y del *C. R. somm.* En 1906 elevó una solicitud de readmisión que, comprensiblemente, no fue atendida (Valero Garcés 1992). Uno de los temas sobre los que descargo sus famosos reproches (Stuart-Menteah 1894) fue precisamente la revolucionaria teoría de los mantos de corrimiento (*nappes de charriage*) en ocasión de un *Mémoire de l'Académie* (Bertrand 1890), y aún más sobre las abusivas reinterpretaciones de estructuras de la vertiente sur de los Pirineos inspiradas en los conceptos de M. Bertrand (Bertrand 1911, Jacob y Fallois 1914 a y b, Viennot 1927). No cabe duda de que su formación de

explorador naturalista guiaba sus principios metodológicos al decir: “En geología, pienso que la teoría es indispensable, pero lo que yo llamo teoría no es otra cosa que el resumen lógico y natural de los hechos observados, interrelacionados por similitudes constatadas por la observación minuciosa del régimen actual de la naturaleza. . .”. Por esta actitud se le consideró sabio de ideas estancadas, sin embargo, poco después de su muerte, aparecieron nuevas y fundadas interpretaciones (Casteras 1933) más afines a sus ideas que a las de Jacob y Fallot, como se vio en ocasión de la Reunión extraordinaria de la *Société Géologique* de 1928 (p. ej. Jacob et al. 1928).

Las desavenencias de Stuart-Menteath con la *Société Géologique* debieron propiciar su mayor acercamiento a la Sociedad Aragonesa de Historia Natural, con la que colaboró (Stuat-Menteath 1903) e incluso llegó a ostentar una presidencia anual (Teixidó Gómez 2012). Es significativo que en el artículo sobre los Pirineos aragoneses expresa su connivencia y el debido respeto por los cortes de Mallada.

Lucas Mallada y Pueyo (1845-1921), nació en la calle San Orencio nº 2 de Huesca, según consta en la placa de mármol de trazas modernistas que le dedicaron el Ayuntamiento de la ciudad y la Academia de Ciencias de Zaragoza poco después de su muerte. Estudió ingeniería de minas en Madrid. Egresado en 1866, hizo un periodo de prácticas en Almadén y de allí pasó a la escuela de capataces de Langreo, y luego a Teruel para evaluar el potencial minero. En 1870 se integra en la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, que ya no tardaría en llamarse Instituto Geológico de España. Le correspondió ocuparse de 10 provincias (la de Huesca entre ellas) y la supervisión general nacional, lo que le supuso viajar por todo el país y recopilar gran cantidad de información y experiencias sobre las que prácticamente no había precedentes. Inmerso en este gran proyecto desarrollo la idea de fijar el criterio bioestratigráfico para los terrenos a distinguir en la cartografía geológica, como había iniciado Smith y difundido el influyente libro de Lyell (Ezquerria del Bayo 1998). En sus propios términos, se propuso “difundir en nuestro país la afición a los estudios geológicos, sobre todo entre los individuos del ramo de Minas que se decidieran a auxiliar las tareas de la Comisión del Mapa al mismo cuerpo de Ingenieros encomendado”, abordó el ambicioso proyecto de la “Sinopsis de las especies fósiles que se han encontrado en España”, de la que forman parte cinco extensas comunicaciones del Boletín de la Comisión del Mapa Geológico [Mallada 1875, 1880, 1884, 1887 y 1891] y las láminas distribuidas en los volúmenes que van de 1875 a 1892. El proyecto no llegó a dar todos los frutos que pretendía, en buena parte porque la naciente actividad científica ya desbordaba toda capacidad de recopilación y la información quedaba anticuada antes de ser introducida adecuadamente en la “Sinopsis” (Mallada 1878, Sequeiros, 1992).

Dejando aparte las dificultades de la “Sinopsis”, elaboró el “Catálogo general” (Mallada 1892) destinado “. . . de preferencia a las personas ya versadas en este ramo de la ciencia que quieran contribuir a obtener algún día un índice completo, exacto y de incuestionable utilidad. . .”. Al parecer concebía la obra como un trabajo útil que habría que mantener vivo y abierto a nuevas aportaciones, que era un magnífico exponente del estado de la ciencia en su tiempo (Mallada 1892, Sequeiros –en línea, Gómez Velasco y Alonso Chavarri 2010, Aragónés Valls 2017).

En lo referente a la geología pirenaica las aportaciones de Mallada se vierten esencialmente en la “*Descripción física y geológica de la provincia de Huesca*” (Mallada 1878), cuyos



trabajos de campo se realizaron entre 1871 y 1877 con interrupciones, una de ellas por hechos de guerra (fuerzas carlistas actuando en el Pirineo oscense) y otras por diversificación de sus actividades investigadoras. No escatimó esfuerzo físico en su exploración, hasta el punto de pasar por ser el primer oscense del que consta que subió el Aneto (Cuchí 2017). Los cortes geológicos intercalados en el texto son un valioso aporte a la descripción de las estructuras; no están condicionados por idearios teóricos y se ciñen al máximo a la objetividad de los hechos observados. Ya se ha mencionado la confianza que merecían a Stuart-Menteath “los admirables cortes del Sr. Mallada” y posiblemente representan los primeros cortes pirenaicos de autor español.

A parte de su extensa obra científica, sus libros y artículos de índole cívico-política tuvieron mucha más difusión en el gran público y son los grandes referentes en el regeneracionismo. *Los males de la Patria* (1890 + 1969), *Cartas aragonesas dedicadas a S. M. el rey Alfonso XIII (q. D. g.)* (1905), *La inmoralidad pública o La futura revolución española* (artículos de 1897-1898 en *Revista contemporánea*), se han reeditado en varias ocasiones (p. ej. Mallada, 1969, 1998 y 2011). Reiteradamente se hace alusión, en ellas y en las notas biográficas, a la permanente vigencia de sus escritos (Liñán 1998, García Alix 1999, Fernández Clemente 1999, ...). Sus méritos se reconocen en buen número de biografías, actos, y monumentos (Cuchí 2017).

Guardando cierto paralelismo con Mallada en edad, formación y ejercicio profesional, e igualmente destacadísimo protagonista de la investigación geológica desde el sur fue Luis Mariano Vidal. Además de los trabajos geológicos (Vidal 1874, 1875, 1877, Vidal y Deperet 1906, ...), publicó numerosas notas para dar contenido científico (geológico o arqueológico) a las actividades del centro excursionista e intervenciones en el Ateneo de Barcelona (del cual también fue presidente).

Prueba de la competencia y prestigio de Vidal es su participación en la reunión de la *Société Géologique de France*, la única celebrada en zona no francófona (Aragonés Valls 1999) hasta entonces. El programa de excursiones preparado para este evento, coordinado por Jaime Almera, incluía el paso por Camarasa y el Montsec (Prepirineo de Lérida), además de la región volcánica de Olot y las minas de sal de Cardona (Vidal 1899 a-d). Vidal era miembro de la *Société Géologique* desde 1875 y Vicepresidente en 1910. También fue miembro correspondiente de la *Société de Spéleologie*, miembro honorario de la *Société d'Études de Sciences Naturelles de Béziers* y presidente de la Sociedad Aragonesa de Ciencias Naturales (1917). Tiene más de 50 especies fósiles dedicadas a su nombre por distintos especialistas (López de Azcona. 1990). Perteneciendo al Cuerpo de

Ingenieros de Minas del Estado pudo conocer a fondo el Pirineo oriental y central ocupando sucesivamente puestos de Jefe de Minas de Gerona y de Lérida. Además, se le considera pionero de los estudios de prehistoria en Cataluña, siendo descubridor de monumentos megalíticos, instrumentos y objetos diversos a los que dedicó numerosas comunicaciones (Puche Riart 2004) y recopiló abundante material que, debidamente referenciado, donó al Museo de Geología de Barcelona. También debe mencionarse su papel de pionero de la fotografía, ya que pasa por ser el autor de las primeras fotografía del Pirineo hechas por un español (Barnadas i Rodríguez 2017).

Luis Mariano Vidal [*Luis Mariano Bolisario Ramón Vidal y Carreras*, 1842-1922], estudió ingeniería de minas en Madrid con la promoción de Mallada, egresado con el número uno. También realizó un periodo de prácticas mineras en Andalucía (Linares y Almadén) y también fue miembro de la Comisión del Mapa Geológico desde 1873 (y director, en 1908). En 1879 ingresó en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona con un discurso sobre el Garumniense, relacionando los terrenos de esta naturaleza en ambas vertientes del Pirineo. Como miembro del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Estado, en 1881 se le nombró jefe del Distrito de Minas de Gerona y, en 1888, responsable de recursos mineros de la provincia de Lérida y se ocupó por el interés mineralógico y arqueológico de la aerinita (Vidal 1882, Besteiro et al. 1982 y 1986). Fue destacado miembro fundador, junto con otros intelectuales catalanes (Pau Ribá, Pompeu Fabra...), de la *Asociació Catalanista d'Excursions Científiques*, origen del *Centre Excursionista de Catalunya* (CEC).

## EL REVULSIVO DE LAS *NAPPES DE CHARRIAGE*: desconfiados y apasionados

A finales del s. XIX el impulso dado a la cartografía geológica por los servicios geológicos de Francia y España (como también se había dado, en general, en los países de occidente), ya había producido unos mapas geológicos generales basados en el reconocimiento bioestratigráfico de los terrenos (Verneuil 1864, Maestre 1864). En lo concerniente a los Pirineos, recopilando información de ambas vertientes se disponía de una visión de conjunto de las observaciones de los pioneros y se prefiguraban sus grandes rasgos estructurales (Margerie y Schrader 1891). A su vez, las teorías orogénicas dominantes, generalmente basadas en la reducción del océano primitivo (Werner y los neptunistas) y en la contracción del globo terráqueo (Élie de Beaumont 1829-30, 1852) acompañada de colapso de cavidades subterráneas o de movimientos de fundidos internos. Las representaciones de los mapas de la época podían dar crédito a estas concepciones puesto que ponían de manifiesto las bandas groseramente paralelas de terrenos “primordiales o primarios” en la parte central, terrenos predominantemente calcáreos, “secundarios” en ambas vertientes y terrenos de aluvión “terciarios” a su alrededor; y tales bandas podían estar delimitadas por grandes fallas más o menos verticales, excepción hecha de lo que ocurría en los Pirineos,

dada la rareza del Monte Perdido, a la que, como se ha visto, Charpentier 1823 ya había encontrado una posible explicación. Por otra parte, estas concepciones se podían encajar sin gran dificultad en una sucesión de acontecimientos catastróficos que no implicaba poner en consideración el tiempo geológico, fuente de conflictos dialécticos. La autoridad de Élie de Beaumont y de Von Buch [*Christian Leopold Friherr Von Buch*, 1774-1853] había dado soporte a esta línea de pensamiento.

Los imparables avances de los estudios paleontológicos que trazaban la gran línea de las sucesiones faunísticas, correlacionaban las grandes extinciones y sostenían la bioestratigrafía, se apartaban del marco catastrofista de Cuvier, Élie de Beaumont, Von Buch... y apoyaban las propuestas de Hutton, Smith, Lyell y Darwin.

La propuesta de los mantos de corrimiento (*nappes de charriage*) de Marcel Bertrand tiene tímidos precedentes en observaciones objetivas de lugares en los que se daban superposiciones “anormales”. La primera que se conoce se debe a H. C. Escher, que en 1807 describe la superposición de grauwacas pérmicas sobre calizas cretácicas en los Alpes de Glarus (Santanach 2011). Posteriormente C. S. Weiss en 1827 y B. Cotta en 1838 describen situaciones en las que rocas graníticas se superponen a rocas sedimentarias en conflicto con los principios neptunistas (Santanach 2011). Ya entrados en tiempos en que la sucesión bioestratigráfica es una herramienta de trabajo cotidiana, se van conociendo situaciones anómalas. Por ejemplo A. Heim en los Alpes, C. Lapworth en Escocia o J. Gosselt en la cuenca carbonífera franco-belga; el primero de ellos incluso hace alusión a diferentes condiciones de plasticidad de las rocas sometidas a compresión (Durand-Delga 2007 b). Incluso Suess, sin duda el autor más influyente del final del XIX en temas orogénicos, dentro de la teoría de los grandes hundimientos de la corteza, había reconocido la realidad de los movimientos horizontales (Durand-Delga 2007 a).

M. Bertrand [*Marcel Alexandre Bertrand*, 1847-1907] no es propiamente un geólogo pirenaico, no obstante, los cambios de interpretaciones estructurales derivadas de sus planteamientos le hacen especialmente significativo y es razonable dedicar aquí unas líneas a su persona: A los 20 años ingresa en la Escuela Politécnica de Paris y después a la Escuela de Minas. Algún tiempo después de obtener el título entra en el *Sérvise de la Carte géologique de France*, donde sus primeras campañas de campo fueron sobre el Jura y después en Provenza. Precisamente en Provenza, que forma parte del dominio de estructuras pirenaicas en sentido amplio, pudo explicar satisfactoriamente la “anomalía estratigráfica” de Beausset en términos de recubrimiento tectónico en 1887. La *Société Géologique* le homenajeó y se le concedieron premios y honores que le animaron a una actividad desbordante especialmente en los Alpes. Nuevas observaciones de campo, reinterpretación de cortes y colaboración con otros expertos (Lugeon, Heim, Argand,...) iniciaron la visión moderna de los Alpes. Recibió otros premios y fue elegido miembro de la *Académie* en 1896. En 1900 su hija mayor, con 13 años, fue arrastrada de su lado por un deslizamiento de tierras revés que no llegó a superar completamente y su actividad investigadora se vio muy mermada hasta el fin de sus días (Durand-Delga 2007 b y 2010).

Las ideas de M. Bertrand, siempre basadas en observaciones objetivas y en cortes de campo muy expresivos (Bertrand 1898, 1908), no estuvieron totalmente exentas de dificultades para su aceptación por expertos coetáneos (Santanach 2011). Es posible que él mismo tuviera sus momentos de falta de confianza cuando impidió la publicación del trabajo que había presentado a la *Académie des Sciences* en 1890, y hubo que esperar hasta su muerte (1908) para que viera la luz. Precisamente en los Pirineos las ideas tectónicas de M. Bertrand tuvieron un banco de pruebas excepcional y tuvieron que pasar por trances difíciles, pero no precisamente de la mano del autor sino a raíz de las interpretaciones un tanto temerarias de autores que tenían en común una indiscutible admiración por sus trabajos (Jacob y Fallot 1914 a-b y 1925, Jacob et al. 1927).

En realidad, la genialidad de M. Bertrand no solo significó la reinterpretación tectónica de buena parte de las cadenas de montañas. También supuso que había que introducir más información en los mapas geológicos, añadir signos convencionales y trazos más precisos.

## EL PRIMER TERCIO DEL s. XX: las guerras, los ingenieros, los alemanes

Sin lugar a dudas es una época bastante fecunda en la investigación pirenaica, incluso para la vertiente sur. Históricamente es un tanto compleja y requiere consideraciones introductorias que exceden el marco pirenaico. Por supuesto, la Primera Guerra Mundial parte este periodo en dos mitades: la primera mitad registra intenso trabajo relacionado con el Service de la Carte géologique (Carez 1903-1909, Mengel 1906). En el caso de Carez [*Léon Louis Hippolyte Carez*, 1854-1932], había realizado su tesis en el norte de España (Carez 1881), pero su más intensa actividad se dedicó a la vertiente francesa, en colaboración con L. Bertrand [*Léon Louis Théophile Bertrand*, 1869-1947], también destacado investigador de campo que más tarde fue significativo en la exploración petrolera. Su frecuente presencia en las actividades de la Société acreditan su interés por los progresos que se registraban en sus especialidades (Carez 1889, Bertrand L. 1911, . . .).

### **Vertiente Sur: más franceses que españoles.**

A su vez, en la vertiente española, Dalloni [*Marius-Gustave Dalloni*, 1880-1959], activísimo estudiante de la Universidad de Marsella que se había pagado los estudios trabajando como periodista de "*Le Radical*", realizó su tesis sobre el Pirineo Aragonés (Dalloni 1910) contando con medios un poco más avanzados que Lucas Mallada, como por ejemplo un fondo topográfico del IGN.

Un considerable golpe de efecto sobre esta línea de la más pura ortodoxia contemporánea debió ser la propuesta de que la parte central de la vertiente sur de los Pirineos era un gran manto de corrimiento de vergencia norte (Jacob y Fallot 1914 a), aunque por entonces los autores aún no eran las influyentes autoridades que fueron un par de décadas más adelante (Charles Jacob por entonces era el joven *professeur* de la cátedra de geología de la *Faculté des Sciences* de Toulouse, pero entre 1902 y 1912 había estado como *préparateur* en Grenoble, donde Paul Fallot era doctorando y estudiaba la Sierra de Mallorca en la órbita de Wilfrid Kilian). El primer manifiesto de desacuerdo debe ser la nota breve de M. Dalloni, que ya era un buen conocedor del Pirineo meridional (Dalloni 1914). Luego siguieron las observaciones de L. M. Vidal (Vidal 1917, 1918) y las extraídas de los estudios realizados en el entorno del embalse de Camarasa (Lugeon y Oulianoff 1924). Asumidos y desmentidos los errores, se reconoce a C. Jacob una indiscutible capacidad de despertar la atracción sobre los temas pirenaicos, incluso más allá del entorno de su cátedra (Bilotte 2011 b, Casteras y Laffitte 1963).

La Gran Guerra no solo supuso una considerable regresión de la investigación geológica. También se le atribuyen consecuencias negativas sobre la recuperación de la situación anterior: por ejemplo, un cierto reparo de postguerra experimentado en Francia hacia las fuentes alemanas podría haber sido causa de que no se relacionasen las “fuerzas tangenciales”, necesarias para explicar los mantos de corrimiento de M. Bertrand, con la deriva de los continentes de Wegener, que, visto fríamente representa opciones más conciliables que las de los levantamientos de la red pentagonal de Élie de Beaumont o de los hundimientos de Suess (Le Vigoroux 2011), dejando de lado las objeciones del geofísico británico Jeffreys [*Sir Harold Jeffreys*, 1891-1989].

Después de la Gran Guerra, la recuperación de la investigación geológica sobre los Pirineos tiene distintos caminos: Por parte española se podría decir que tras Mallada y Vidal hay un periodo de extrema sequía en la investigación geológica pirenaica. Siguiendo los pasos de L. Mallada, el también aragonés, F. Azpeitia y Moros (1859-1934) que para su discurso ante la Real Sociedad Española de Historia Natural se ocupó del “Significado y valor de las especies fósiles, como argumento en Geología para la clasificación y distinción de los terrenos”, muy en la línea de la obra magna de Mallada, luego orientó su vocación hacia la malacología y la diatomología, y el polifacético D. Pedro Ferrando, catedrático y académico de Zaragoza, aunque se ocupó de temas pirenaicos (Ferrando Mas 1932), tuvo más querencia por aspectos mineralógicos y petrológicos que estructurales. En el entorno barcelonés de L. M. Vidal no cabe duda de que Almera [*M. Iltre. Sr. Jaime Almera Comas*,

1845-1919] orientó su inmensa capacidad de trabajo, así como la de orientar vocaciones (vocaciones geológicas), más hacia las Cadenas Costero-Catalanas y la Paleontología que hacia el Pirineo. Los años del Modernismo (~1880-1920) representan un periodo de indudable apertura al progreso científico y tecnológico, al que no es ajeno el espíritu de la Institución Libre de Enseñanza (1876-1939), y de una manera muy directa, la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (la JAE, 1907-1939), que tuvo al propio Santiago Ramón y Cajal como Presidente y entre sus beneficiarios figuran, por ejemplo, José María Albareda, Odón de Buen, Miguel Catalán, José López Ortíz, María de Maeztu, Juan Negrín, Severo Ochoa, Julio Rey Pastor. Entre los geólogos que figuran en las Memorias de la JAE por la concesión de pensiones para sus proyectos se encuentran S. Calderón, E. Hernández Pacheco, J. Dantín Cereceda, B. Darder Pericás, J. Gómez de Larena, J. Royo y Gómez, R. Candel Vila, entre otros (Ordóñez y García-del-Cura 2016).

Ferrando Mas [D. *Pedro Ferrando*, 1876-1966] estudió en las universidades de Zaragoza, Barcelona y Madrid, obtuvo el doctorado en Ciencias Naturales con premio extraordinario. A los 23 fue catedrático de la Universidad de Salamanca, y en 1904 se trasladó a Zaragoza. Realizó estancias de ampliación de estudios en París y en Ginebra. Tras reestructuraciones de planes de estudios estuvo en la cátedra de Biología de la Facultad de Veterinaria desde 1931 hasta 1949, que se jubiló. Investigó y publicó trabajos sobre temas muy diversos, entre ellos se ocupó de mineralogía, petrología de rocas eruptivas, tectónica, botánica, etc. Es coautor de libros de texto de planteamientos modernos sobre teorías orogénicas o la evolución (San Miguel de la Cámara y Ferrando Mas 1927). Fue académico de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza, miembro de la Sociedad Aragonesa de Ciencias Naturales que pasó a ser Sociedad Ibérica de Ciencias Naturales, de la que fue presidente. También fue colaborador significativo de la Sociedad Española de Historia Natural y vicepresidente de su sección de Zaragoza.

## El XIV Congreso Geológico Internacional

Con el paso de los años llegó la celebración del XIV Congreso Geológico Internacional en Madrid auspiciado por Instituto Geológico de España, que estrenaba su actual sede principal. El Congreso, de manera más o menos explícita, tenía el propósito fundamental de “minimizar en la medida de lo posible el daño moral producido por la guerra entre los geólogos de diferentes países” (Ayala-Carcedo et al. 2005 y 2006), muy al contrario de lo que había ocurrido con la edición anterior, la XIII, que tras aplazarse a causa de la guerra, se celebró en Bruselas en 1922 y no se permitió la inscripción de representantes de los países que habían hecho la guerra a Bélgica (Fernández Navarro 1923). Aparentemente no se escatimaron medios en ningún sentido y la neutralidad de España en la contienda debía ser favorable para este objetivo, como lo fue para que se aceptase la candidatura que reiteradamente se había ofrecido. Una mirada sobre los temas del programa de las excursiones (pre, sin y post Congreso), por ejemplo, da a entender que se transparenta

por una parte el interés por los temas mineros de la incipiente industrialización del país y por otra esta diplomática neutralidad que se extiende en temas políticos y puramente científicos. Así es que las excursiones post congreso C-3 (Faura-y-Sans y Marín, 1926) y C-4 (San Miguel de la Cámara y Marcet Riba 1926) que tocan los Pirineos, abundan en temas mineros y en tópicos del Pirineo oriental, dando de lado a los asuntos más enconados entre los franceses, como el del gran manto de corrimiento de la zona central (Jacob y Fallot 1914 a,b y 1925), que se refleja, considerablemente rebajado de tono, en las actas del Congreso (Jacob et al. 1927) y que poco más tarde (1928) serían tema central de la Reunión Extraordinaria de la *Société Géologique* sobre el terreno.

Inmediatamente después del Congreso se iniciaba un época prometedora: El Instituto Geológico de España, recién inaugurada su actual sede, cambió su nombre por de Instituto Geológico y Minero de España (1927) e inició la andadura del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. La primera hoja de los “unocincuentamiles” del entorno pirenaico (prepirenaico) debió ser la de Tafalla, que va fechada en 1928, aunque la memoria debió retrasarse (Del Valle y Aracena 1930). Luego siguieron las de Viana (1932), Eulate (1933), Tudela (1934), Vitoria (1935)... (Del Valle et al. 1932-1935), pero esta actividad quedó casi totalmente interrumpida en el entorno de 1936, hasta iniciar su azarosa recuperación en la posguerra.

### **Los franceses tras el armisticio**

Los investigadores franceses, tras el armisticio (1918 \*conmemoración del centenario\*) no tardaron mucho en reponerse de las consecuencias de la contienda: por ejemplo P. Fallot, oficial condecorado con cruz de guerra y *Légion d'Honneur*, en 1922 pudo leer su magnífica tesis sobre la Sierra de Mallorca y enseguida obtuvo el cargo de director del *Institut de Géologie Appliquée de Nancy*. Desde allí organizó y trabajó, con colegas y estudiantes, en proyectos de las cadenas del Jura, Béticas y Rif. Sus contactos con investigadores españoles fueron fluidos, cordiales y fructíferos, pero en temas pirenaicos no hubo trabajos en común. C. Jacob, que ya era professeur a cargo de la cátedra de geología de la Facultad de Ciencias de Toulouse cuando empezó la guerra, tras un periodo como jefe del Servicio Geológico de Indochina (a consecuencia del “*affaire Deprat*”), regresó en 1922. G. Astre y R. Ciry fueron movilizados siendo estudiantes. Al licenciarse de la milicia, G. Astre, que cursaba a la vez Farmacia y Ciencias pudo leer la tesis de Farmacia en 1920 y consiguió trabajo de profesor ayudante en geología en Toulouse. Jacob le animó a emprender una tesis de geología en el Pirineo Sur (entre el Segre y el Llobregat). El proyecto no llegó a culminar

como tesis pero el autor desarrolló una labor amplísima en muchos temas pirenaicos con los que se acreditó como *maître de recherche* del C. N. R. S., Director del Museo de Historia Natural, Presidente de la Sociedad de Historia Natural de Toulouse, etc. (Bilotte 2011 a). Por su parte R. Ciry acabó sus estudios de química, pero a partir de su afición por la mineralogía entró en contacto con el ambiente de los geólogos, donde el propio P. Jacob le animó a trabajar en la vertiente española. Investigó estando vinculado a la Facultad de Ciencias de Dijon y relacionado con las instituciones académicas. Presidió la *Académie des Sciences, Arts et Belles Lettres de Dijon*, la *Société Géologique de France*, el *Club Spéléologique de Dijon*, etc. (Tintant 1979).

Ya avanzado este tercio de siglo aparece otro trabajo emblemático de la vertiente sur pirenaica. Se trata de una nueva memoria de M. Dalloni, de dimensiones comparables a las de su tesis, algo más elaborada e ilustrada, también publicada en Marsella, y dedicada al dominio surpirenaico situado al E del estudiado en la tesis, es decir la parte catalana del Pirineo meridional (Dalloni 1930). Con esta obra se cierra la producción pirenaica de Marius Dalloni que tras la tesis se había ido a Argelia y consiguió plaza de *assistant* en la *Faculté des Sciences d'Alger*. Allí participó muy activamente en la cartografía geológica 1:50.000 y en la exploración petrolera (Dalloni 1922). En 1921 ya era *professeur de géologie appliquée* en la misma Facultad a la que siguió vinculado de por vida. Ya jubilado, en 1952, presidió la sección argelina del comité organizador del XIX Congreso Geológico Internacional (Durand-Delga 2004) y en 1953, con 73 años, hizo una expedición de 2000 km a pie y en solitario por el macizo de Ennedi. Entre otras distinciones obtuvo el título de *Commendeur de la Légion d'Honneur* en 1957.

## Los alemanes

Hay una tercera vía de entrada en la investigación pirenaica que es la de los universitarios alemanes. En el periodo comprendido entre los últimos años de la década de los 20, con el resurgimiento económico de Alemania, y mediados de los 30, investigadores, doctorandos y estudiantes realizaron trabajos de campo en España, bajo las directrices generales trazadas por H. Stille, que dieron lugar a tesis, publicaciones e informes de distinta índole.

Es de resaltar el papel de Stille [*Hans Wilhelm Stille*, 1876-1966] en la tutela de sus alumnos de Gotinga y Berlín que tocaron temas relacionados con la Península Ibérica (Santanach 2018). Varios de ellos se centraron en temas pirenaicos o se ocuparon de ellos entre otros asuntos. Sus actitudes, hallazgos e interpretaciones se caracterizaron por un gran tesón y meticulosidad, y en sus observaciones, descripciones e ilustraciones se suele reconocer una indiscutible objetividad. También puede decirse que sus trabajos no estaban especialmente condicionados por las polémicas de las escuelas francesas proclives a aceptar o no grandes mantos de corrimiento en la vertiente sur de los Pirineos (p. ej. Carez 1912 o Jacob y



Fallot 1914 b); no obstante tenían un profundo respeto por las teorías defendidas por sus maestros, que pudo limitar o coartar su propia iniciativa y, a su vez también implicaba cierto rechazo a los mantos de corrimiento.

Los trabajos de Ashauer (1934), Lotze (1932, 1934), Misch (1934), Schmidt (1931) y Selzer (1934), que ejemplifican la iniciativa de Stille, sirvieron de base para la cartografía geológica “sistemática” del Instituto Geológico y Minero de España cuando se reactivó su publicación después de la Guerra Civil, y particularmente en los años 50, como se verá más adelante. La labor de H. Stille fue encomiable en términos organizativos y en términos de integrar los resultados científicos de sus pupilos desplegados por buena parte del entorno del Mediterráneo Occidental en una gran síntesis de tectónica de las cadenas alpinas. Las líneas generales de estos grandes objetivos de Stille ya venían trazadas o, al menos, se inspiraban en las ideas de Suess [*Eduard Suess*, 1831-1914], expresadas en *Das Antlitz der Erde* (La Faz de la Tierra), el tratado de tectónica más influyente de este primer tercio del siglo. El libro de E. Suess consta de cuatro tomos, aparecidos entre 1883 y 1904, aparte del gran compendio de los conocimientos de constitución de las montañas, su concepción global se asienta en la idea de la contracción de la Tierra, como la de Elie de Beaumont, la más en boga del siglo XIX. En su caso los procesos orogénicos tendrían lugar en los márgenes de las grandes zonas subsidentes contiguas a las cordilleras, en armonía con la teoría del geosinclinal, que desde Hall (1859) estuvo en boga hasta finales de los años 60 (Aubouin 1959, 1965). Asimismo Suess animaba a “Avanzar en esta vía sintética, agrupar los haces de pliegues en unidades naturales más comprensivas, y explicar de una manera simple, única, una parte tan grande como sea posible del plegamiento terrestre, ésta es la tarea que se ofrece hoy día al geólogo”. Puede decirse que Stille se hizo líder de estas consignas y las extendió en Iberia y otros ámbitos mediterráneos como explica ampliamente Santanach (2018).

EL SEGUNDO TERCIO DEL s. XX: las posguerras, el C. S. I. C., el petróleo, los holandeses, la fotografía aérea y otros avances tecnológicos

### **A propósito del wolframio**

En los años de la guerra las dificultades para realizar trabajos de campo se atisba que debieron ser casi insalvables, no obstante en la España controlada por Franco se organizó una compleja trama de empresas al objeto de investigar, extraer y suministrar minerales al Tercer Reich, el consabido wolframio entre otros. Dicha trama estaba más o menos coordinada por “Montana”, que tenía su sede en Bilbao, camuflada dentro de una empresa

de transportes Hispano-Marroquí (Santanach 2018). La existencia de wolframio en España ya era conocida y divulgada al menos desde el congreso de Düsseldorf (Sánchez Lozano 1910). Entre 1937 y 1941 hubo geólogos alemanes ocupados de prospección, extracción y gestión de minerales, entre ellos algunos que habían adquirido experiencia dentro de los planes científicos de H. Stille, como es el caso de F. Lotze que, aparte de sus trabajos mineros también pudo dedicarse a temas científicos, que en algunos casos fueron retomados y concluidos después de las guerras (Lotze 1958, 1959). Las aportaciones de Lotze a la geología de la Península Ibérica tuvieron gran trascendencia y muchos aspectos de sus trabajos, como la división de los grandes dominios estructurales del Macizo Hespérico, siguen siendo de obligada referencia.

A propósito de Lotze [*Franz Lotze, 1903-1971*], estudió en Gotinga, en el entorno de H. Stille. Defendió su doctorado en 1926 y al poco inició sus investigaciones en la Península Ibérica. Obtuvo la habilitación (Privatdozent) en 1929, y cuando Stille se trasladó a Berlín (1932) e impartió docencia en tectónica. Hacia 1937 aceptó un cargo directivo en “Montana”, renunció a su puesto en Berlín y se instaló en Bilbao hasta 1941, que fue enviado a Viena para dirigir el Servicio Geológico austríaco, dependiente del de Berlín, hasta que fue movilizado por el conflicto bélico, en 1943. Tras el armisticio trabajó un tiempo como hidrogeólogo, hasta que, en 1948 obtuvo cátedra en Münster donde permaneció hasta la jubilación (1968). Sus aportaciones y su buena comunicación con los investigadores ibéricos han sido reconocidas en diversos detalles: Socio Correspondiente de la R. Soc. Esp. Hist. Nat. y del C. S. I.C. (p. ej. Gómez de Llarena 1971, Schroeder 2002, Schroeder y Perejón 2006).

Por la parte republicana, en 1937 aún se pudo tener representación en el Congreso Geológico Internacional de Moscú y Leningrado, que fue encabezada José Royo [*José Royo y Gómez, 1895-1961*] en calidad de Director General de Minas y Combustibles.

La JAE quedó disuelta en 1939 y sus archivos y algunas atribuciones pasaron a depender del Instituto de España, constituido en Burgos el 1937 y de allí fueron a parar al C. S. I. C. Geólogos que se habían significado en el gobierno de la república, como Royo y Gómez, fueron al exilio. Los que asistieron al congreso de Moscú (R. Candel Vila, G. Martín Cardoso y V. Sos Bainat) pasaron frustraciones en sus carreras (Ordóñez y García-del-Cura, 2016), etc.

Dentro de la extrema precariedad de la primera década de la postguerra en España (destrucción, carestía, racionamiento, emigración, exilio, quebranto de relaciones internacionales, etc.) los ambientes cultural y académico se resentían de la situación (Delgado Gómez-Escalonilla 1994). Ya desde 1939 se dedicaron esfuerzos a difundir valores culturales españoles en el extranjero, empezando por restablecer algunas actividades en los países iberoamericanos, a veces esgrimiendo el argumento de la “vocación de imperio”. En 1945 acabada la guerra con el triunfo de los aliados el Ministerio de Asuntos Exteriores

tuvo que ampliar sus horizontes y tener más presente el mundo anglosajón. La Junta de Relaciones Culturales se reactiva dentro de la recién creada Dirección General del mismo nombre y en 1946 sale al extranjero la primera promoción de becarios, con destinos preferentes al Reino Unido y los Estados Unidos, puesto que Alemania estaba arrasada, la frontera francesa con limitaciones de acceso, los países del Este bajo sospecha... (Ribera i Faig, 1988). Tal vez este pueda considerarse como el primer indicio aperturista de la posguerra.

### **El C. S. I. C.**

Como ejemplo de esfuerzo por iniciar la recuperación de la debacle de la guerra y bajo los filtros de la autarquía, ya a partir de 1939, fue la fundación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C. S. I. C.). Sus inicios ilustran los significados de “recuperación” y de “filtro” (Ley fundacional de 24 de noviembre de 1939.- Presidente: José Ibáñez Martín, Ministro de Educación y presidente del Consejo de Estado; Vicepresidente: José López Ortiz, Catedrático de Historia del Derecho y luego obispo de Tuy; Secretario General: José M<sup>a</sup> Albareda Herrera). Las indiscutibles buenas artes del Secretario Albareda permitieron significativo despegue y recuperación de centros y líneas de investigación.

Albareda [*José María Albareda Herrera, 1902-1966*], nacido en Caspe, estudió Farmacia en Madrid y Químicas en Zaragoza. Catedrático de Instituto en Huesca, se formó en edafología y, becado por la JAE, investigó métodos de caracterización de suelos en Alemania. Tras la Guerra Civil volvió a la enseñanza media en Madrid y al poco (1940) obtuvo la Cátedra de Geología Aplicada de Farmacia y fue miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Madrid). Al fundarse la Universidad de Navarra, en 1960, fue su primer Rector. Las fuentes coinciden en decir que, desde su cargo de Secretario General del C. S. I. C. (1939-1960), escudriñó en todo el país con cierta apertura de miras para construir una trama de centros de investigación y personas capaces de animarlos.

En lo concerniente a los temas pirenaicos hay que reconocer la mano de Albareda en la creación, en 1942, de la “Estación de Estudios Pirenaicos” y la decisión de ubicar su sede en Jaca. Lo que inicialmente tenía que ser un centro logístico de apoyo pronto (1948) se convirtió en el Instituto de Estudios Pirenaicos (\*70 aniversario\*), con la consideración de centro propio de investigación (Castillo Genkor y Tomeo Lacrue 1971, Balcells 1981, Carrascosa 2004). Más adelante (1963), bajo la dirección de E. Balcells y de la mano de Albareda (Martínez Rica y Villar Pérez 2008), se crea el Centro Pirenaico de Biología Experimental, y en tiempos más recientes, se incluirían ambos en el Instituto Pirenaico de Ecología (I. P. E.).

A propósito de Balcells [*Enrique Balcells Rocamora, 1922-2007*] durante más de medio siglo fue referente y aglutinador de investigación pirenaica; fundador del Centro Pirenaico

de Biología Experimental, actualmente Instituto Pirenaico de Ecología. Cargos directivos del C.S.I.C. y de grupos internacionales, Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, Socio Honorario de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Doctor Honoris Causa de la Universidad de Zaragoza, una calle de Jaca con su nombre, homenajeado con el “Sueldo Jaqués”... (Pedrocchi 1992, Martí Bono 2007, Martínez Rica y Villar Pérez 2008).

En el marco pluridisciplinar del Instituto de Estudios Pirenaicos la Geología ha tenido su lugar y reconocimiento, y además de llevarse a cabo proyectos geológicos, se ha desarrollado una extensa labor editorial materializada en la revista “*Pirineos*” (173 volúmenes publicados hasta la fecha) y las *Memorias* (con toda probabilidad, la Memoria 104 –Puigdefàbregas 1975– es el trabajo más citado de investigación geológica del Pirineo meridional). Y no menos importante ha sido la organización del Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos (Balcells 1983), celebrado alternativamente en los países fronterizos, con periodicidad cuatrienal, llegando a siete ediciones (San Sebastian 1950, Luchon 1954, Gerona 1958, Pau-Lourdes 1962, Jaca-Pamplona 1966, Gagnères de Bigorre 1971 y Seu d’Urgell 1974). Al menos en el ambiente geológico, se propició la “permeabilidad” en términos de relaciones institucionales, personales y regionales (Casteras 1952, Crusafont 1954, Solé Sabarís 1958, Burollet et al. 1962... ). Por cierto que la celebración del Congreso Internacional ya era proyecto y desideratum de la Academia al menos desde inicios de los 30 (Lorenzo Pardo et al. 1931, Arruga Laviña et al. 2016, Ausejo et al. 2016).

El aludido Solé Sabarís [*Dr. Lluís Solé Sabarís*, 1908-1985], es sin lugar a dudas el geólogo y geógrafo más reconocido del siglo XX en España y especialmente en Cataluña, que es donde está vinculada la mayor parte de sus investigaciones. Después de cursar magisterio en Lérida, obtuvo la licenciatura en geología por la UB en 1929 y se inició en la docencia universitaria como ayudante de la cátedra de Ciencias Geológicas (Dr. San Miguel de la Cámara). En 1932 obtuvo cátedra de Instituto y, a partir de 1933, en comisión de servicios, fue profesor del Instituto Escuela del Parque, centro de principios afines a la Institución Libre de Enseñanza. Lo que le llevó ciertos contratiempos y suspicacias al finalizar la guerra civil. En 1940 obtuvo la cátedra de Geografía física, mineralogía y geología de la Universidad de Granada y en 1943 se trasladó a la Universidad de Barcelona, en los momentos en que el CSIC creaba su delegación de Barcelona, siendo nombrado Secretario. En 1965 se fundó el Instituto Nacional de Geología, del que fue nombrado Director, igual que lo fue del Instituto Jaime Almera. Aunando recursos de fuentes universitarias, del CSIC y otros apoyos institucionales, dio origen a una gran biblioteca modélica en la especialidad, y a la revista *Acta Geologica Hispanica*, posteriormente convertida en *Geologica Acta*, que ha sido la primera revista española de geología indexada en el SCI. Su obra es muy extensa y de temática variada (corales del Eoceno, geomorfología, cartografía geológica, historia de la geología, etc.). Una de sus obras de mayor resonancia es la voluminosa Geografía de Cataluña de la que fue Editor general y autor destacado. En su entorno supo arremolinar un grupo de investigadores muy independientes pero ligados por afinidades con el veterano profesor. Miembro de Academias, Sociedades e Instituciones. Tiene calle en el Campus de la UB, Doctor Honoris Causa por la Universidad de Montpellier, Orden de Alfonso X el Sabio, Creu de Sant Jordi... (Ribau 1981, Bolós y Capdevila 1986).

Otra iniciativa emprendida por el C. S. I. C. en este periodo, muy acorde con la precariedad de la época y muy importante para la geología pirenaica y para la de toda la

Península Iberica, fue la traducción de trabajos realizados en España por investigadores extranjeros, y muy particularmente por los alemanes mencionados en el apartado anterior. Se trataba de trabajos poco accesibles, no solo por la cuestión del idioma, sino también por su ubicación, que quedaron de este modo, al alcance de cualquier biblioteca, centro de investigación o particular interesado. Los trabajos concernientes a la vertiente meridional de los Pirineos (Ashauer, Lotze, Misch, Selzer) dejaron gran impronta en los trabajos de investigación geológica que se llevaron a cabo en las décadas siguientes.

### **Recuperación del I. G. M. E.**

El Instituto Geológico y Minero de España mantuvo su continuidad como institución pero en sus actividades se acusa el trastorno bélico, como quedó reflejado, por ejemplo, en la publicación del Boletín, que prácticamente había mantenido su periodicidad desde 1874, mientras que en el intervalo comprendido entre 1934 y 1940 tan solo tiró un número en 1937 (Díez-Herrero, en línea). Incluso más drástica fue la interrupción de la edición del Mapa Geológico de España Escala 1:50.000, que se había iniciado con bastante decisión en lo referente a las hojas del ambiente prepirenaico antes de la guerra (Del Valle y Aracena 1930; Del Valle et al. 1932, 1933, 1935;). Acabada la guerra, bajo el breve mandato de A. del Valle y luego los más prolongados de A. Marín y de J. García Siñeriz, se reactivó la cartografía de las hojas 1:50.000 y en las dos décadas siguientes se elaboraron y editaron numerosos mapas pirenaicos (Larragan 1949, Alastrué et al.1957, Almela y Ríos 1947, 1950 a y b, 1953, Ríos y Almela 1954). Algunos de ellos se beneficiaron significativamente de los trabajos realizados por los alemanes de la escuela de Stille (Santanach 2018).

Alastrué [*Alastrué Castillo*, 1913-1991] era alcañizano. Estudió Ciencias Naturales en Madrid, obteniendo el doctorado en 1943 y a la par que estudiaba en la Escuela de Minas. Acabó ingeniería en 1944 y este mismo año opositó y obtuvo la cátedra de Geografía Física Geología y Mineralogía de la Universidad de Sevilla. En 1949 se aproximó a sus orígenes como catedrático de Geología en la Facultad de Ciencias de Zaragoza. En su época de Zaragoza colaboró con J. M. Ríos y A. Almela en la extensa memoria sobre la provincia de Huesca (Alastrué et al.1957). En 1957 vuelve a la cátedra de Sevilla y a su vez se vincula como ingeniero a la Jefatura de Minas hasta que, en 1969 se traslada a Madrid como catedrático de Geografía Física y Geología Aplicada de la Facultad de Ciencias, donde permanece hasta la jubilación, en 1983. Publicó numerosos trabajos referidos a las Béticas, además de los referidos a Aragón y Navarra o los dedicados a ilustres personajes como Mallada o McPherson.

### **La exploración petrolera**

Los intereses petroleros pusieron los ojos en la geología pirenaica y movilizaron más recursos y medios técnicos que los centros de investigación básica, dentro de una trama

de empresas con participación estatal y con escasa información pública sobre los avances de las investigaciones. Especialmente desde el primer tercio de siglo las expectativas de los científicos se reflejaban en las publicaciones (p. ej. Sierra Yoldi 1932) y en la actividad empresarial. A las publicaciones llegan aspectos generalmente bastante vagos de las investigaciones (Dupuy de Lôme 1937, Marín, 1947, Bentz 1950, Cantos Figueroa 1950, Candel-Vila 1952, Almela 1954, Lotze 1958...), aunque hay que reconocer a los trabajos de J. M. Ríos la recopilación de la información geológica básica relativa al emplazamiento de los sondeos y sus resultados (Ríos 1958 a y b). Las empresas desarrollan y manejan sus propios centros de investigación con reserva y sigilo. Así C. A. M. P. S. A., que nace en 1927 como gestora del “monopolio de petróleo”, a partir 1941, con el impulso del I. N. I., realiza los primeros sondeos (Tudanca, Zamanzas 1, Zamanzas 2, Zamanzas 3) en las estructuras pirenaicas más occidentales (CAMPSA 1955, Ríos, 1958 b, Carreras Suárez et al. 1979) y la actividad siguió por distintos dominios estructurales al menos hasta avanzados los 70 (Lanaja 1987). A principios de los 80, la entrada en Europa determina la desaparición del monopolio y su relevo por el Grupo REPSOL. Además CEPESA, que se fundó en 1929 como primera empresa de hidrocarburos privada de España, se ocupaba de tratamientos y construyó la primera refinería en Tenerife; más adelante invierte en exploración-investigación y se constituye CIEPSA. Su primer pozo de investigación emplazado en ambiente prepirenaico se abre en 1947 (Oliana 1), en una estructura con características de trampa convencional (Colom 1951, CIEPSA 1955, Ríos 1958 b). En los años 60 la exploración terrestre fue particularmente intensa y en este ambiente ENPASA, que tenía su sede en el P.º Ruiseñores de Zaragoza, llevó una intensa actividad especialmente en Pirineos y Cuenca del Ebro. El campo de gas del Serrablo (Huesca) se investigó en esta época. El emblemático sondeo de Ayoluengo (Burgos) que ha tenido una modestísima producción hasta tiempos muy recientes, data de 1964. Los métodos geofísicos, particularmente la sísmica de reflexión, y la testificación de sondeos dieron mucho juego a la investigación geológica.

A propósito de J. M. Ríos [*José María Ríos García, 1910-1999*], era zaragozano, estudió ingeniería de minas en Madrid y se inició en la investigación de estructuras cristalinas y la difracción de rX de la mano de Julio Palacios y el propio L. Bragg. En 1936 obtuvo una ayuda de la fundación Humboldt en concurso internacional para seguir estudios en Alemania. Estuvo vinculado al CSIC prácticamente desde sus inicios como colaborador del Instituto Lucas Mallada y luego como miembro del Patronato Alfonso X el Sabio. Recondujo su actividad investigadora a la geología básica (cartografía, estratigrafía, tectónica), con atención a la prospección de recursos energéticos y mineros en general (Almela y Ríos 1943, 1946, 1952, etc., Ríos 1948, 1949 a y b, 1951, 1954, 1958 a y b, 1967 a y b, etc., Ríos y Garrido 1945, Ríos et al. 1943, 1945 a, b, Ríos y Almela 1950, etc.), incluyendo la realización de hojas del Mapa Geológico de España Escala 1:50.000 (Almela y Ríos 1947, 1950 a y b, 1953, Ríos y Almela 1954). En 1953 obtuvo la cátedra de Geología General de

la ETSIM desde donde siguió desplegando esta desbordante actividad investigadora. Desde su cátedra influyó decisivamente en la formación de investigadores de geología básica, con especial atención al trabajo de campo con enfoques más generales que los ligados a los informes mineros. Los campamentos de trabajos de campo, corrientemente realizados en Pirineo aragonés (Ríos 1958 c y d) y otras actividades formativas (Ríos 1962) ilustran dicha actitud. Desde 1953 estuvo muy vinculado a las actividades de Adaro y a partir de 1962, por encargo del INI intervino en la creación de la Empresa Nacional Minera del Sahara, de la que fue presidente. Las investigaciones del yacimiento de fosfato de Bu-Craa se realizaron en esta época bajo su dirección. Fue miembro de las sociedades geológicas de Alemania, Francia, Italia y Portugal, de la AAPG, y de la AFTP, de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, etc. En ocasión de su jubilación se le tributó un homenaje nacional e internacional del que una de sus manifestaciones fue la edición de un gran libro (3 volúmenes) de síntesis de la geología de España (Comba, 1983) donde numerosos autores expresaron su reconocimiento.

\* \* \*

Habiendo mencionando también a Colom [D. *Guillermo Colom Casasnovas* 1900-1993], este es buen punto para recordar que se trata de uno de los grandes micropaleontólogos del siglo XX. Esencialmente autodidacta, tenía su taller, laboratorio de levigado, microscopios, biblioteca en su casona de Soller (Mallorca). Su vocación por la micropaleontología se encauzó definitivamente a raíz de los contactos propiciados por la excursión del XIV Congreso Geológico Internacional en Mallorca (Darder y Fallot 1926) y las ulteriores visitas a Cailleux (Paris) y Lapparent (Estrasburgo). Sus determinaciones sobre muestras de perforaciones petroleras de los años cuarenta a los setenta de dieron un merecido prestigio. Además, colaboró desinteresadamente en determinaciones para trabajos de investigación universitaria. Fue requerido en universidades y centros de investigación para impartir cursos y conferencias y su labor se reconoció con el doctorado Honoris Causa (UAB) y, en Mallorca, tiene calle, IES, edificio y cátedra de la UIB con su nombre (Mateu, en línea).

De un modo más generalizado y más asequible a los grupos de investigación básica, la fotografía aérea con recubrimiento estereoscópico se popularizó en estos tiempos, con lo cual la cartografía geológica se benefició en términos de accesibilidad y sobre todo en precisión. Cuando el Ejército permitió el acceso, para uso en investigación, al vuelo regular de los años 50 (el vuelo americano) y a los mapas topográficos basados en métodos fotogramétricos, el trabajo de campo cambió radicalmente. Así mismo, en los 60 se van imponiendo los aspectos metodológicos de geología estructural de modo que esta materia deja de ser solo el elemento descriptivo de las estructuras cartográficas y se hace más analítica. La atención a las estructuras menores (Wilson 1961) y a los indicadores cinemáticos para determinación de paleoesfuerzos se va imponiendo como fundamental para entender la historia deformacional de las formaciones rocosas.

### **Francia: posguerra, tesis regionales**

En la vertiente norte las penurias de la ocupación y los hechos de guerra entre 1939 y 1944 tampoco dieron lugar a un ambiente propicio a la investigación geológica, con inves-

tigadores “investigados”, movilizados o alistados, y dificultades de movimiento por todas partes. Ciñéndonos al entorno pirenaico, la extensa producción de Casteras [*Marcel Casteras*, 1904-1976] y su entorno de la Facultad de Ciencias de Toulouse no tiene novedades en este periodo, y después se dispara el número de aportaciones relacionadas con los mapas geológicos (escalas 1:80.000 y 1:50.000), primero en relación con el Service de la carte géologique de France y luego con el *Bureau de Recherches Géologiques et Minières* fundado en 1959. A su vez, en el entorno de la cátedra de M. Casteras se emprenden trabajos en la vertiente meridional que conducen a la realización de tesis emblemáticas basadas sobre todo en meticulosos estudios de las unidades estratigráficas, sus facies y ambientes sedimentarios, y en el análisis de cuencas. (Souquet 1962, 1965, 1967 c, Peybernès 1969).

También en la Universidad de Dijon se desarrolló el interés por la geología pirenaica, y muy especialmente por la parte occidental de la vertiente, siguiendo los pasos de Ciry, [*Raymond Ciry*, 1898-1978] que entre las dos guerras realizó su tesis (1939) en dominios vasco-cantábricos. Ciry fue movilizado al final de la Guerra del 14, tuvo que esperar hasta 1920 para ingresar en la Universidad de Toulouse, su ciudad natal. Se matriculó en química, pero como aficionado a la mineralogía contactó con C. Jacob, quien le animó a conocer la vertiente S de los Pirineos. Se vinculó a la Universidad de Dijon como assistant mientras realizaba la tesis y luego, ya professeur, fue decano de Ciencias, presidió la *Académie des sciences, arts et belles-lettres de Dijon*, la *Société Géologique de France* y otras instituciones locales. De su mano la *Société Géologique*, en 1967, celebró su reunión extraordinaria en Pirineos occidentales y Asturias (Ciry et al. 1967). P. Rat, P. Mangin, P. Feuillé, M. Floquet, J. Salomon, entre otros, mantuvieron esta vinculación de la Universidad de Dijon con el Pirineo occidental (Rat, 1998 a y b).

Aún en épocas difíciles, los recursos humanos y materiales al servicio de la investigación en Francia están en otro orden de magnitud que los ibéricos. El *Centre National de la Recherche Scientifique* (C. N. R. S.) se crea en 1939 al objeto de desarrollar proyectos de investigación pura y aplicada en las “unidades propias” (UPRs), y de financiar, apoyar y coordinar proyectos de otros centros o grupos, por lo general universitarios, en la “unidades mixtas” (UMRs). El impulso del CNRS sumado al de las instituciones “pre-revolucionarias” (*Académie des Sciences*, 1666, y otras “*sociétés savantes*”), la *Société Géologique* (1830) y el Service de la Carte Géologique de France (1868) configuran el substrato de la investigación en Francia. Más adelante el *Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, fundado en 1959, con funciones de gran Servicio geológico nacional, absorbe las funciones del *Service de la Carte Géologique* (1968) en la elaboración del mapa geológico nacional,



potenciándose la edición del mapa 1:50.000 (sobre fondo topográfico de curvas de nivel) frente al 1:80.000 que seguía usando el fondo con sombreado del mapa “d’État Major” y también la investigación, extracción y gestión de la producción de recursos minerales en Francia metropolitana y en ultramar.

Por su parte, en la Facultad de Ciencias de Montpellier (USTELA), el grupo de trabajo aglutinado en el entorno del *professeur Mattauer* [*Maurice Mattauer*, 1928-2009] puso en juego aspectos metodológicos que, en esencia, consistían en tomar en consideración además de las estructuras de escala cartográfica y de afloramiento sin atender a prejuicios de tradiciones o escuela, las estructuras menores y obtener interpretaciones coherentes a todas las escalas. Las publicaciones con aportaciones metodológicas de este grupo tuvieron considerable impacto en la vertiente sur (Seguret 1964, 1966; Arthaud 1969, Arthaud y Mattauer 1969, Choukroune et al. 1968 a y b). Los geólogos que tenían acceso a los programas de becas para estancias o para cursos de doctorado que convocaba el Gobierno Francés solían considerar la opción Montpellier como preferente. Como veremos más adelante, entrando en los 70 vio la luz la tesis de M. Séguret zanjó las discusiones sobre autoctonía-aloctonía de la vertiente sur, sobre el estilo de las estructuras y sobre la vergencia de los cabalgamientos, descartando con pruebas objetivas las interpretaciones “fijistas” o la aloctonía de la escuela de Stille que también habían adoptado en investigaciones petroleras (Guerin-Desjardins y Latreille 1961,1962).

## **Los holandeses**

Durante la ocupación alemana De Sitter [*Lamoraal Ulbo de Sitter*, 1902-1980], que se vio imposibilitado para salir de Holanda, orientó su investigación en la Universidad de Leiden hacia los modelos a escala y, a la vez, a organizar prácticas de campo para sus estudiantes, con lo que conseguía que se librasen de trabajos forzados de los nazis. En cuanto hubo ocasión volvió al trabajo de campo, lo que le llevó a Cantabria y al Pirineo axial, realizando numerosas estancias entre los últimos años 40 y 1968, en que llegó a la jubilación (Sitter 1954, 1956 b, 1961). Sus colaboradores y ex alumnos (H. J. Zwart, J. A. Hartevelt , P. J. C. Nagtegaal, P. H. W. Mey y otros) continuaron investigando y organizando campañas de campo con estudiantes en los años 70. Sus trabajos se enfocaron a zonas que eran aún muy poco conocidas de la zona axial y realizaron en ellas una cartografía detallada y meticulosa. Se puede decir que introdujeron el análisis estructural basado en recopilación de datos de las estructuras menores en mapas y diagramas, y que el tratamiento estadístico de poblaciones de estos datos en proyección estereográfica se popularizó en estos

dominios. La proyección estereográfica con ayuda de la falsilla de Wulff, ya era de uso corriente en cristalografía desde hacía décadas (la falsilla de proyección fue diseñada por el cristalógrafo ruso-ucraniano George Yuri Viktorovich Wulff 1863-1925), pero en geología estructural no era de uso corriente. La proyección equiareal con ayuda de la falsilla de Schmidt se popularizó y extendió en esta época (Walter Schmidt, murió en la batalla de Berlín en 1945). Libros que detallaban su uso aún tardaron en difundirse en el ámbito académico (Ragan 1973, Phillips 1975). El modelo que elaboraron con sus observaciones sobre la disposición de las estructuras menores y la sucesión de las fases de la deformación hercínica ha estado muy presente en los autores españoles y franceses que han investigado formaciones similares, y sigue tomándose en consideración como posible explicación de los hechos de observación (Matte 1969, Santanach 1974, Carreras y Capella 1994, Carreras y Debat 1996...), aunque sus conceptos de “infraestructura” y “supraestructura” han ido “perdiendo terreno” ante el mejor conocimiento de las sucesivas fases de deformación.

Sus mapas y sus interpretaciones estructurales aparecieron con prontitud en las publicaciones de la Universidad de Leiden y se les dio una notable difusión en universidades y centros de investigación españoles y algunos de sus trabajos se publicaron también en España (p. ej.: Sitter 1957); sin olvidar que su libro “*Structural Geology*” (Sitter 1956 a) se tradujo al español (Editorial Omega), tuvo varias ediciones (1962, 1976) y fue el principal libro de texto de esta materia durante un cuarto de siglo.

La Comisión Nacional de Geología se creó en 1957 para ocuparse de “la coordinación de las investigaciones, estudios y cartografías geológicas y geotemáticas” y todo aparenta que su relación con los holandeses fue buena, lo que facilitó la difusión de sus trabajos.

Mención especial requieren los trabajos referentes a las relaciones tectónica –metamorfismo desarrollados por H. J. Zwart en el pirineo axial. Tras el estudio perseverante de algunos miles de muestras en lámina delgada, elaborando tablas de relaciones entre zonas metamórficas y fases de deformación formó un cuerpo metodológico que sigue vigente en lo esencial. Concretamente el cuadro de las llamadas “nueve diagnosis” de Zwart se reproduce prácticamente en todos los libros de petrología metamórfica del mundo (Zwart 1959, 1963 a y b, 1986).

## EL TERCER TERCIO DEL s. XX: tectónica de placas, geólogos con título, proyecto ECORS, paleomagnetismo y otras técnicas

Avanzados los años 60 los consabidos cambios que tienen lugar en la geología global son cualitativos y cuantitativos. Los aspectos cualitativos, evidentemente, se ilustran con la difusión de las continuas novedades que se producen tanto en términos de hallazgos como de reinterpretaciones de hechos conocidos en el marco de la naciente tectónica de placas. En lo cuantitativo, la superación de los efectos de las guerras y cierta bonanza económica propician la investigación pura y aplicada. En temas pirenaicos, como en general en España, este aspecto cuantitativo de los trabajos de investigación es muy significativo. . Un decreto del Ministerio de Educación y Ciencia publicado en el BOE de Agosto de 1953 (siendo ministro J. Ruiz Jiménez) dispuso que la Licenciatura en Ciencias Naturales se desdoblase en Ciencias Biológicas y Ciencias Geológicas (Liesa, 2003), de modo que los alumnos de Ciencias que aquel año habían aprobado el “primer curso selectivo común” ya pudieron matricularse de segundo curso en la opción elegida. La primera promoción de geólogos egresó en 1957. Por la misma época la Universidad Central pasó a llamarse Universidad Complutense y se “descentralizaron” algunas de sus prerrogativas. Por ejemplo, a partir de entonces, las otras universidades españolas pueden expedir títulos de Doctor. El primer título de doctor expedido fuera de la Universidad Central fue de Geología (Riba 2003) y la primera tesis conducente a un doctorado en geología y realizada en el Pirineo es de 1963 y está publicada en la revista *Pirineos* (Rosell 1967).

Junto con la incorporación de las primeras promociones de licenciados en Ciencias Geológicas a empresas relacionadas con la minería, el petróleo, las aguas subterráneas, etc., tuvo lugar la expansión de los departamentos universitarios, los organismos públicos de investigación, las partidas de fondos públicos para proyectos y becas de investigación (la Comisión Asesora –CAICYT– se crea en la época del ministro M. Lora Tamayo, 1962-1968)... Todo ello debió contribuir significativamente a lo que algunos han llamado “la revolución geológica de los años sesenta” (p. ej. Ribera i Faig 1988). Esta “explosión” de producción científica se refleja en el número y la diversidad temática de los trabajos científicos, por lo que según transcurre el tiempo se hace cada vez más complicado enumerar objetivamente los resultados más importantes. En todo caso, hay aspectos que no pueden pasar desapercibidos a cualquier observador situado en la vertiente sur:

## **La cobertera definitivamente alóctona**

Como ya se ha mencionado más arriba, las observaciones de las estructuras menores (esquistosidad y lineaciones, fundamentalmente) del grupo de Montpellier dieron la clave para explicar una zona de estructura compleja (la zona de Nogueras) que, a partir de los mapas y los preconceptos dominantes, no se explicaban satisfactoriamente. A partir de los trabajos de Mattauer y sus colaboradores se acuñó el concepto de “*tête plongeante*” para designar las partes frontales de anticlinales de núcleo paleozoico volcados hacia el sur y con las partes caudales desaparecidas por erosión (Mattauer y Seguret 1966, Seguret 1964, 1966, 1969 a). Esta estructura quedaba explicada con la existencia de cabalgamientos alpinos que apilaban grandes volúmenes de rocas paleozoicas empujadas hacia el sur, de forma análoga a lo que ya se había observado mucho antes en Gavarnie (Bresson 1902, 1903). A su vez, la constatación del acortamiento implicado por estas estructuras de la zona axial, exigía que la cobertera sedimentaria secundaria y terciaria aparentemente menos deformada, se comportara con cierta independencia del substrato paleozoico (despegada), formando las unidades alóctonas de la “Unidad Surpirenaica Central”. Toda esta línea de trabajo (recopilación, hallazgos y nuevas interpretaciones) está contenida en la tesis doctoral (Seguret 1972) que es clave para la interpretación de la estructura de la cadena y tiene carácter de paradigma para la vertiente meridional. Tras esta tesis se han añadido muchos nuevos hallazgos, precisiones, reinterpretaciones y nuevos enfoques con novedades metodológicas, pero manteniéndose en el mismo marco (Solé Sugrañes 1978, Cámara y Klimowitz 1985, Fomboté y Santanach 1986, Martínez Peña 1991, Martínez Peña y Pócoví 1988, Martínez y Vergés 1988, Martínez et al. 1988, Millán et al. 2000, Muñoz et al. 1983, Muñoz et al. 1986, Muñoz et al. 2013, Muñoz et al. 2018, Puigdefábregas et al. 1992, Teixell 1992 a y b, 1996, 2004, 2006, Vergely 1970, Vergés 1993 a, b, Vergés et al. 1992, Vergés et al. 1994), siendo muy escasas las observaciones posteriores que no se acomodan a estos esquemas (p. ej.: Masriera et al. 1990, Ullastre et al. 1990, Ullastre y Masriera 2000).

## **Material desprendido de la investigación petrolera**

Las aportaciones de la investigación petrolera en esta época tienen al menos dos frentes: Por una parte, los trabajos científicos basados en informes técnicos de compañías petroleras. Trabajos que se han beneficiado de medios normalmente inaccesibles a grupos de investigación universitarios o afines y que han pasado las reservas por confidencialidad de las empresas. Algunos de estos trabajos son grandes referentes de la geología pirenaica

(Guerin-Desjardins y Latreille, 1961-1962. Garrido Megías y Ríos Aragües 1972; Cámara y Klimowitz 1975). Por otra parte, al menos a partir de mediados los 70, muchísimos documentos de las empresas, elaborados con participación de fondos públicos, se ponen a disposición de investigadores ajenos a las empresas que los soliciten pagando tan solo los gastos de copistería. Al principio por gentileza de las empresas y posteriormente se crearon oficinas gestoras de tales documentos. Numerosas líneas sísmicas realizadas en el Prepirineo en los años 60-70 y mucha información de registros de sondeos petroleros llegó así a la comunidad científica. Además, la información básica de los sondeos petroleros fue objeto de recopilación y publicación por el IGME (Lanaja 1987) que, desde su aparición es de consulta obligada al inicio de cualquier trabajo referido a la estructura de la cobertura mesozoico-terciaria y muchos de los documentos aludidos, especialmente las líneas sísmicas, retomados en consideración desde la óptica de los conocimientos actuales, aportan nueva información a la vez que añaden precisión y detalles a la ya conocida (Labaume y Teixell 2018, Muñoz et al. 2018).

### **El Mapa Geológico de España Escala 1:50.000 Segunda serie**

El Mapa Geológico de España Escala 1:50.000, en los primeros años de la década de los setenta estaba aproximadamente a un 40 % del total de las 1143 hojas que lo componen y, precisamente la parte correspondiente a Pirineos estaba poco activa desde las realizaciones de la década de los cincuenta (Almela y Ríos 1950 a y b, 1953, Bataller et al. 1953, Ríos y Almela 1954,...) o anteriores (Del Valle et al. 1932, 1933, 1935, Solé Sabarís y Llopis LLadó 1947 a y b, Solé Sabarís et al. 1947...). En todo el dominio central del Prepirineo solo se edita una nueva hoja (Rosell 1970) y en 1972 se abandona la edición de esta serie, dando paso a la “Segunda serie” coloquialmente llamada “MAGNA”. El “Plan MAGNA” supuso cambios significativos respecto a la primera serie: Previamente, entre 1970 y 1972 se elaboró una cartografía 1:200.000 de síntesis bibliográfica al objeto de reconocer cómo se distribuía la información disponible y la coherencia de la misma y para establecer la normativa del nuevo mapa 1:50.000. Este mapa de síntesis se editó (la serie azul) con tal éxito que varias de las hojas tuvieron segunda edición en los ochenta (División de Geología. IGME 1980 a y b, Riba et al. 1981, 1986). A partir de 1972 empieza la ejecución del “MAGNA”, con numerosos cambios: se adopta el nuevo fondo topográfico del IGN, se aplica una normativa más estricta respecto de la información (leyenda unificada, columnas estratigráficas, cortes, contenido de las memorias explicativas y documentación complementaria) y también hay un cambio muy significativo en el encargo de la elaboración de

las hojas y en las dotaciones de presupuesto. La ejecución de la mayor parte de hojas (o grupos de hojas relacionadas) salía a oferta y se adjudicaba a empresas públicas o privadas que acreditaban mayor solvencia para ello y bajo supervisión del IGME. También equipos del propio IGME tuvieron a su cargo la elaboración de hojas MAGNA y, en el caso de los Pirineos, a caballo entre los ochenta y los noventa, el IGME sostuvo a tal fin una oficina de proyectos en Jaca (García Sansegundo 1991, 1992, Teixell 1994, Teixell y Barnolas 1992, Teixell y García Sansegundo 1995, Teixell et al. 1993, 1994) que desempeñó con gran solvencia este cometido. En su conjunto, la ejecución del Mapa Geológico 1:50.000 tuvo un papel importante como dinamizador de la investigación básica (Pérez Estaún 2005). Actualmente, por su contenido y, sobre todo por su fácil acceso y disponibilidad bajo distintos formatos en la página web del IGME, suele ser el primer documento que se consulta al iniciar cualquier proyecto geológico.

### **Nuevos focos institucionales: La implantación de las Ciencias Geológicas en otras Universidades**

La bonanza económica y las inquietudes desarrollistas de los años sesenta llevan emparejada la diversificación de titulaciones, y dotación de plazas docentes e implantación de planes de estudio nuevos, o tradicionales donde antes no existían. En términos de estudios pirenaicos, la implantación de las respectivas Secciones de Geológicas en las facultades de Ciencias ha tenido notable incidencia en los estudios pirenaicos. Las universidades del País Vasco y Autónoma de Barcelona, de nueva creación, y la implantación de la Sección de Geológicas en la de Zaragoza dieron un impulso significativo a la investigación pirenaica.

### **El análisis estructural**

A finales de los sesenta la facilidad con que se accede a la fotografía aérea (vuelo americano) y a la obtención de copias de mapas topográficos a cualquier escala en servicios de reprografía, hacen el trabajo de campo mucho más eficiente y riguroso, muy particularmente la cartografía geológica, estratigrafía y geología estructural. En esta última especialidad, además, se desarrollan muchos aspectos metodológicos que llevan a un mejor conocimiento de la geometría de las estructuras a todas las escalas, hasta poder determinar las “ tres direcciones principales” (ejes) de la deformación y las variaciones de extensión (máxima, mínima e intermedia) experimentada en un punto representativo de un volumen discreto de roca según éstas, o lo que es lo mismo, determinar las proporciones del elipsoide de deformación representativo para dicho punto (Ramsay, 1967). Determinados

los elipsoides de deformación en una malla de puntos adecuada para cada estructura o región y observados los patrones de variación de unos puntos a otros se podrá reconocer el estado anterior a la deformación e indicar las traslaciones de cada punto para llegar al estado actual (cinemática), las diferencias de comportamiento del material y los estados de esfuerzo a que ha estado sometida la roca en el proceso (dinámica). El libro de Ramsay (1967) dio las pautas para reconocer diversos “marcadores” de la deformación y las operaciones geométricas adecuadas para determinar la deformación e inspiró numerosas estudios aplicando algunos de sus aspectos metodológicos o desarrollando otros similares. Por otra parte, donde domina el comportamiento frágil de las rocas lo habitual es que se delimiten volúmenes de cualquier tamaño dentro de los cuales no se aprecia deformación, pero los desplazamientos y giros de estos volúmenes pueden haber dado lugar a estructuras a mayor escala. La fricción entre bloques contiguos a causa de estos movimientos deja los únicos marcadores de deformación en forma de estrías, grietas, escalones... (tectoglifos) que se ciñen a determinados planos. La aparición de métodos capaces de determinar las direcciones de los ejes de la deformación compatibles (estadísticamente) con los indicadores de movimiento de una población de estos planos fue una gran aportación de esta época. Un método desarrollado en ambiente pirenaico (Arthaud 1969) tuvo gran repercusión en el estudio de rocas fracturadas. Pronto aparecieron otros métodos también relativamente sencillos que superaban las limitaciones del anterior (Angelier y Mechler, 1977), con aplicaciones informáticas y con cierta capacidad para discriminar fases sucesivas de deformación a partir de una misma población de datos (Angelier y Manoussis 1980). En ambiente ibérico, aunque no pirenaico, se desarrolló el método de análisis tensorial capaz de discriminar sucesivas etapas de esfuerzo registradas en terreno fracturado, “el método de los diagramas  $\gamma$ -R” (Simón 1984, 1986), que tiene su adecuada repercusión pirenaica (p. ej. Millán et al. 1991, Martínez Peña et al. 1995).

Posiblemente en los temas relacionados con el análisis estructural, que manejan poblaciones de numerosos datos, fue donde las aplicaciones informáticas, aparte de los procesadores de texto, tuvieron más repercusión y rápida difusión.

### **Organización de ideas básicas: La Zona Azial, el zócalo paleozoico, el Pirineo Hercínico, la estructura del basamento, la cadena varisca, etc.**

La banda de materiales paleozoicos con asomos de rocas graníticas que había representado terrenos primigenios y primarios en los esquemas neptunistas (a pesar de la “inexplicable anomalía” de las “calizas secundarias” a más altura que los terrenos primarios en el

entorno del Monte Perdido), al eje de la “undación” o del “geanticlinal” pirenaicos en las teorías de la contracción de la Tierra desde Elie de Beaumont a Saussure, pasó a ser parte sospechosamente afectada por “las fuerzas tangenciales” por la Orogenia Alpina cuando Bresson (1903) observó que en Gavarnie unas capas de sedimentos marinos del Cretácico, depositadas en discordancia sobre materiales paleozoicos, estaban atrapadas bajo otros materiales paleozoicos por los efectos de un gran cabalgamiento difícilmente explicable y, desde entonces, conocido como “cabalgamiento de Gavarnie”. En las seis décadas siguientes hubo, por supuesto, grandes avances basados en los trabajos de campo y en las interpretaciones, siempre muy conducidas por las directrices de las escuelas o las teorías dominantes en cada época. Los alemanes de los años treinta tendían a considerar la estructura hercínica (varisca) con mucha independencia de la alpina (Schmidt 1943) y trataban de relacionar las directrices o arrumbamientos de las estructuras variscas con las del macizo hespérico (Lotze 1955) o de las Cadenas Costero-Catalanas (Schriel 1942), mientras que la estructura de la cadena alpina era el resultado del plegamiento de los geosinclinales situados al norte y al sur de la cadena (Ashauer 1943).

Los holandeses de las décadas de los cincuenta y sesenta (Sitter y Zwart 1960, Zwart 1959, 1960, 1963 b, 1965, 1986. . .) se puede decir que están más atentos a la estructura hercínica y su relación con el metamorfismo que de las modificaciones alpinas. De hecho L. U. de Sitter aceptaba un comportamiento bastante pasivo del zócalo hercínico, tal como se representa en su conocido corte transversal que apoyaba la teoría de Van Benmelen (Sitter 1956, Van Benmelen 1972).

En esta línea de investigación de la estructura hercínica hay que añadir que los dominios de más alto grado de metamorfismo afloran en el Pirineo Oriental, en el Macizo del Canigó y aledaños. Este tema fue cuidadosa y pacientemente estudiado por Guitard [*Gérard Guitard*, 1925-2009], investigador del BRGM y del CNRS, *professeur* de geología estructural y de petrología en la *Université Pierre et Marie Curie*. Guitard era originario de Prepignan y, antes de iniciar los estudios universitarios, sus primeros contactos con el Canigó no fueron siguiendo los pasos de Jacinto Verdaguer sino los de los maquis. En 1945 pudo empezar medicina en Paris y, mientras preparaba la tesis de medicina cursó la licenciatura en geología (Laumonier y Autran 2010). Realizó la cartografía geológica 1:50.000 del macizo del Canigó, que se integró en las hojas de Prades de los mapas 1:80.000 y 1:50.000. Se ocupó de las relaciones entre metamorfismo regional, anatexia e intrusiones de rocas graníticas, y determinó la existencia de vestigios de un substrato del Precámbrico bajo



las series del Paleozoico inferior metamórfico (Guitard 1970, Guitard et al. 1996, Autran et al. 1996).

Las etapas tardías de la deformación hercínica también están expuestas de manera particularmente interesante en el Pirineo Oriental. Las zonas de cizalla y las bandas miloníticas de Cap de Creus y Canigó son referentes mundiales del estudio de deformación dúctil en medios anisótropos (Carreras 1975 a y b, 1986 a y b, Carreras y Debat 1996, Carreras y Druguet 2013, Soula et al. 1986 a y b).

Las interpretaciones que atribuyen un papel activo al basamento en la estructuración alpina de los Pirineos, desarrollando un “apilamiento antiformal” bloques sobre margen continental ibérico, que culmina en la Zona Axial, y está originado por la colisión continental, son relativamente recientes. Estas interpretaciones se basan, por una parte, en la necesidad de justificar, en el substrato, el mismo acortamiento que se deduce de la estructura de la cobertera al realizar cortes compensados, y por otra parte, en la de explicar el engrosamiento litosférico que pone de manifiesto la geofísica (Muñoz et al. 1983. Cámara y Klimowitz 1985, ECORS 1988, Berastegui et al. 1993, Laumonier 2015, etc).

### **Los asombrosos primeros resultados del paleomagnetismo**

Diversos instrumentos cuyos prototipos empezaron a construirse en los años cincuenta permitían determinar en laboratorio las propiedades magnéticas de muestras de rocas. Particularmente permitían conocer intensidad y orientación del campo magnético terrestre que quedó registrado por algunos de los minerales de la roca en el momento de enfriarse (rocas ígneas) o depositarse (rocas sedimentarias), a partir de muestras adecuadamente orientadas en el campo (Runcorn 1956, Creer et al. 1958, Collinson y Runcorn 1960). En la Península Ibérica no dejan lugar a dudas: tanto en rocas ígneas que se emplazaron y enfriaron antes del Cretácico (dique de Plasencia) como en rocas sedimentarias que se depositaron también antes de dicha época (areniscas rojas permotriásicas del Pirineo meridional) se ha conservado el registro del campo magnético existente cuando se formaron, con la particularidad de que, sistemáticamente la orientación de los vectores magnéticos está girada del orden de unos 35 grados hacia el W, respecto a los que se obtienen en rocas de formaciones equivalentes de la vertiente francesa (Van der Voo 1967, 1969, Van der Voo y Zijderveld 1971, Van der Voo y Boessenkool 1973, Roche 1980), dejando sentado que Iberia se movió girando en sentido sinistrorso con respecto a Europa antes del Cretácico superior, aunque recientemente se ha demostrado que los valores de giro son

considerablemente variables para distintos puntos y edades (Palencia Ortas 2006) por lo que Iberia no debió comportarse como un bloque único y completamente rígido.

A partir de los años ochenta se desarrollan instrumentos de medida mucho más precisos y sensibles (magnetómetros criogénicos superconductores), y se difunden en numerosos laboratorios. Con estos se establecen rutinas analíticas mucho más eficientes que las de los instrumentos primitivos. En estas condiciones se puede procesar gran número de muestras, lo que permite plantear muestreos densos ligados a determinadas estructuras y utilizar los vectores magnéticos como marcadores o referencias primarias de las rocas antes de la deformación. Este es el fundamento de la “*magnetotectónica*”, que en Pirineos, y particularmente en la vertiente sur, ha tenido ya un gran campo de aplicación (Dinarés, 1992, Dinarés et al. 1992, Holl y Anatasio 1993, Larrasoña et al. 1996, 2003, Pueyo Morer 1994, 2000, Pueyo Morer et al. 1997, 1999, 2002, 2003 a, b, 2004, Millán et al. 1996, Oliva Urcia 2004). A su vez, y muy especialmente a partir de los años 90, la cronología de las inversiones del campo magnético ya era razonablemente bien conocida (Cande y Kent 1992, 1995) y la determinación de la polaridad magnética en muestras de rocas sedimentarias resultaba relativamente simple dentro de las rutinas del paleomagnetismo. Así surgió la “*magnetoestratigrafía*”. De este modo se potenció de manera explosiva la datación magneto-estratigráfica al objeto de aportar dataciones absolutas paralelas a la zonación bioestratigráfica de tramos de series estratigráficas suficientemente continuos y susceptibles de muestreos densos (p. ej. Rodríguez Pintó 2012, Rodríguez Pintó et al. 2012 a, b, 2013 a). Los métodos magnetoestratigráficos han permitido, con la mejora de la datación de tramos estratigráficos, conocer las correspondientes tasas de sedimentación y, al mismo tiempo, la velocidad de desarrollo simultáneo de algunas estructuras (Pueyo Morer 2000).

En las series terciarias del Pirineo meridional tiene especial relevancia todo lo concerniente al piso Ilerdiense cuyo estratotipo se definió (Hottinger y Schaub 1960, Hottinger 1960, Kapellos y Schaub 1973) en la serie del Paleoceno-Eoceno de la Cuenca de Tresp (Unidad Surpirenaica Central). A efectos prácticos se ha utilizado durante décadas pero sin llegar a incorporarse como piso formal en las tablas de unidades bioestratigráficas de uso internacional. En tiempos recientes, el interés por determinar con precisión los límites de los pisos y los cambios faunísticos que los definen, ha vuelto a poner de actualidad el “estratotipo Ilerdiense” para el estudio detallado del límite Paleoceno-Eoceno (Pascual et al. 1991, 1992, Molina et al. 1992).

## La anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM)

Desde mediados del siglo pasado (Khan 1962) se puede medir la susceptibilidad magnética “**K**” de las rocas (sensibilidad a la magnetización de una roca al someterla a un campo magnético). El valor de la susceptibilidad puede ser diferente en distintas direcciones del espacio (Jelinek 1981). Esta variación de los valores de susceptibilidad en las distintas direcciones del espacio se expresa en forma de elipsoide de tres ejes ortogonales que expresan la susceptibilidad máxima, mínima e intermedia (**K**<sub>1</sub>, **K**<sub>2</sub>, **K**<sub>3</sub>). Hacia los años 80 se comercializan susceptómetros asequibles a centros de investigación modestos que, a partir de muestras estándar y rutinas relativamente sencillas, determinan el elipsoide de susceptibilidad (p. ej. KLY3 / Agico). A partir de entonces se registra gran desarrollo de aplicaciones del método. Ciertas anisotropías de susceptibilidad, en rocas sedimentarias, se adquieren en etapas muy tempranas de la consolidación del sedimento (Pueyo Anchuela 2012, Pueyo Anchuela et al. 2010 a, 2011). Si estas rocas se someten posteriormente a esfuerzos tectónicos estas fábricas se modifican en función de la competencia de la roca y de la orientación e intensidad de los esfuerzos. Generalmente las fábricas sedimentarias se reconocen por su forma y orientación en relación con su posición en los estratos. Si se someten a esfuerzos tectónicos estas fábricas “primarias” se modifican siguiendo pautas previsibles (p. ej. Pueyo Morer et al. 1997, Pueyo Anchuela et al. 2010 b, 2013, Anastasio et al. 2015). Se ha demostrado que con esfuerzos tectónicos de escasa magnitud se modifican las fábricas sedimentarias originales. Es por ello que los efectos de la tectónica pirenaica se han detectado en rocas sedimentarias de la Cuenca del Ebro depositados a considerable distancia de las estructuras tectónicas “observables” (Pueyo Anchuela et al. 2010, Pueyo Anchuela 2012), en dominios donde se puede considerar que las deformaciones más significativas solo son las asociadas al karst (Soriano 1992, Simón et al. 1992, Gutiérrez et al. 2008, . . . ), pero esto es otra historia.

En rocas ígneas, las fábricas magnéticas suelen conservar las características primarias ligadas al emplazamiento, especialmente en cuerpos masivos, y pueden estar más o menos modificadas por la tectónica (Leblanc et al. 1994, Román Berdiel et al. 2006, Izquierdo Lavall 2014 a, Izquierdo Lavall et al. 2012), especialmente en cuerpos tabulares, como sills y coladas (Gil et al. 2002).

## Los modelos a escala

Los experimentos destinados a reproducir estructuras geológicas se realizan por lo menos desde el siglo XIX. Numerosos trabajos dan una buena introducción histórica del tema (véase p. ej. García Cruz 2008). Cabe una buena variedad de planteamientos, objetivos y enfoques al tratar de recrear estructuras geológicas a escala manejable: Los “*modelos estáticos o maquetas*” pueden ser de mucha utilidad para exhibir resultados ante personas poco versadas en la lectura de mapas geológicos y para situar datos u objetos con orientación y proporciones adecuadas en las tres dimensiones. Los “*modelos de simulación pasivos*” pueden tratar de reproducir el estado final “admisible” de determinadas estructuras manipulando un supuesto estado inicial “viable”. Los modelos de arcilla o de plastilina pueden ser de gran ayuda para conocer, por ejemplo, la continuidad en profundidad de estructuras con observación insuficiente en superficie y también reconstruir las partes desaparecidas por la erosión (Millán 1996, Millán et al. 1995 b). Normalmente el estado final del modelo se puede seccionar de la forma más conveniente para extraer toda la información tridimensional. Los modelos de láminas rígidas deslizantes o los de hojas de papel también sirven de ayuda para completar formas o ilustrar mecanismos en determinadas estructuras (Pocoví Juan y Martínez Peña 1984, Millán et al, 1992). Los “modelos analógicos”, en sentido estricto, son los modelos que aplican la “constante de proporcionalidad” que viene dada por la relación entre las dimensiones del “prototipo” o caso natural y el modelo. Constante de proporcionalidad que debe respetarse en lo que concierne a la geometría, cinemática, dinámica y reología, en la relación prototipo-modelo. Por otra parte en un sentido menos estricto, se construyen modelos analógicos destinados a ilustrar el comportamiento de algunos de los parámetros que han intervenido en el desarrollo del prototipo natural, utilizando materiales con la reología adecuada para respetar la proporcionalidad en los parámetros considerados (Malavieille 1984). En lo que concierne a Pirineos, los modelos de arena y silicona han servido, por ejemplo, para constatar la influencia de la distribución del nivel de despegue en la formación de rampas oblicuas y pliegues N-S (Soto 2003, Soto et al. 2002, Soto et al. 2006, Santolaria Otín 2014 y 2015), incluso ilustrar el papel de las estructuras distensivas sobre las compresivas (Roma et al. 2018). También, a escala de la litosfera, los modelos analógicos han permitido acotar ciertos parámetros determinantes en la geometría profunda de la cadena (Izquierdo-Lavall 2014 a y b).

Una de las especialidades que actualmente está en pleno desarrollo y tiene un futuro muy prometedor es la construcción de *modelos numéricos o modelos digitales*. Este

desarrollo, evidentemente se ha hecho posible por los avances de la informática, tanto en lo concerniente a capacidades de instrumentos como a los programas. Por una parte, los programas admiten la introducción de información procedente de fuentes más variadas (topografía, cartografía geológica, registros de sondeos mecánicos, perfiles sísmicos, vectores magnéticos, parámetros de petrofábrica, etc. etc.) y por otra, de la información procesada se pueden obtener cada vez más resultados referentes a propiedades de cualquier punto del modelo por más accesible que sea en la naturaleza, y además, se puede acceder a los resultados bajo distintas modalidades: pantallas gigantes, proyecciones, hologramas, impresoras 3 D, etc. El Pirineo meridional está lejos de registrar una afluencia masiva de modelos digitales de la geología del subsuelo, pero van apareciendo pequeñas experiencias que no son materia reservada de empresas petroleras o informáticas (p. ej. Tavani et al. 2006, Vidal Royo 2010, Rodríguez Pintó 2012, Ramón Ortega 2013, Ramón et al. 2013). Los trabajos mencionados en este último paréntesis tiene la originalidad de manejar superficies “geológicas” plegadas en las que se han vinculado los vectores magnéticos como referencia para restaurar el estado inicial (antes del plegamiento) y a su vez, valora la deformación que introduce en cada elemento finito de la superficie en el paso de la superficie plegada a la restaurada.

## **Grandes temas propiamente pirenaicos**

### **ESTRUCTURA Y DEPÓSITOS SINTECTÓNICOS**

Uno de los mayores atractivos geológicos de la cadena pirenaica, y particularmente de su vertiente sur, es la excepcional exposición de situaciones en las que ha quedado registrado el desarrollo de las estructuras de plegamiento por los cambios que provocaron en los sedimentos que simultáneamente se depositan encima o en las inmediaciones de dichas estructuras. Particularmente desde el inicio de la inversión tectónica que ocurre a finales del Cretácico Superior empiezan a desarrollarse estructuras compresivas que originarán la estructura y el relieve de la cadena. Conforme se desarrollan las estructuras se modifica el espacio que recibe sedimentos así como la forma, extensión y naturaleza de de los cuerpos sedimentarios. Es bien sabido que los Pirineos son un excelente escenario de exhibición de este tipo de situaciones que ilustran las relaciones “tectónica-sedimentación”, tanto en lo concerniente a las cuencas marinas como en las continentales que se han sucedido desde el mesozoico. En este sentido, la definición y desarrollo metodológico del concepto de “unidad tectosedimentaria” (Garrido Megías 1973, Garrido Megías y Ríos Aragiés

1972) en la vertiente meridional, resultó muy clarificador, y se desarrolló y extendió con éxito a otros ambientes, especialmente en depósitos continentales (Arenas et al. 1990, Villena Morales 1990. . .). Por otra parte, los ejemplos de conglomerados sintectónicos localizados al frente de cabalgamientos vergentes al sur se han estudiado reiteradamente y son visitados por estudiosos de todo el mundo (p. ej. los que figuran en Riba 1973, 1976, Nichols 1984, 1987, Hirst y Nichols 1986, Martínez et al. 1988, Vergés y Riba 1991, Vergés et al. 1994, Anastasio 1993, Hogan 1993, Millán et al. 1995 b, Millán et al. 1996, Millán et al. 2000, Arenas et al. 2001).

A propósito de Riba (Oriol Riba Arderiu, 1923-2011), mencionado como referente de las discordancias sintectónicas, obtuvo la licenciatura en Ciencias Naturales por la Universidad de Barcelona y realizó la tesis doctoral sobre la geología de la Sierra de Albarracín. Fue la primera tesis española defendida ante tribunal constituido fuera de la “Universidad Central”. Además, su título de Doctor fue el primero de España con mención “Geología” (Riba 2003), recién publicado el decreto que desdoblaba en Biología y Geología la tradicional licenciatura en Ciencias Naturales (11/08/1953). Intervino en programas de investigación geológica de interés de las compañías petroleras en buena parte de España, incluidas Guinea Española y Sahara Occidental. Fue investigador del CSIC, catedrático de Geología en la UZ (1961-1969) y primer catedrático de Estratigrafía y Geología Histórica de la UB (1969-1994), impulsor de la Geología Marina, miembro de la Institució Catalana d’Història Natural, de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, miembro fundador de la IAS, del Consejo de Protección de la Naturaleza. . . Su *Diccionari de geologia* (Enciclopèdia Catalana, 1997) se ha reeditado en distintos formatos. Es referente en la geología de la Cuenca del Ebro y las discordancias sintectónicas del Pirineo oriental.

## MEGACAPAS MEGATURBIDITAS O MEGABRECHAS

Durante el Eoceno inferior y medio en la cuenca de Jaca-Pamplona existió un ambiente sedimentario particular consistente en un brazo de mar profundo limitado entre las nacientes estructuras pirenaicas del sistema de Larra y Monte Perdido del margen norte y los ambientes someros de plataforma que, por el sur, arrancaban desde la línea de costa bordeando las tierras emergidas que actualmente están bajo las molasas de la cuenca del Ebro. Este mar profundo recibía sedimentos en forma de corrientes de turbidez que arrancaban desde el E, donde el emplazamiento de la Unidad Surpirenaica Central producía tierras emergidas e inestabilidades capaces de originar las avalanchas que alimentaban las corrientes de turbidez (p. ej. Puigdefàbregas et al. 1975, De Federico 1981, Labaume et al 1983, Mutti et al. 1985, Puigdefàbregas y Souquet 1986, Rosell 1988, Remacha y Picart 1991). Entre la potente serie de los depósitos turbidíticos normales (capas de espesores decimétricos con secuencias de Bouma identificables) se intercalan varios cuerpos de espesores decamétricos (hasta 9) que, en algunos casos, se extienden prácticamente por toda la cuenca y están formados por una parte inferior de brecha de elementos muy irregulares

y sin clasificación u ordenación por tamaños, a veces de tamaño métrico y decamétrico, de caliza con alveolinas, y una parte superior en la que progresivamente se reduce el tamaño y aumenta la ordenación estratigráfica, acabando con dominio de pelitas. Desde que estas capas irrumpen en la literatura geológica (Ten Haaf 1969) su origen es tema de discusión (Rupke 1969, Labaume et al. 1985, Barnolas y Teixell 1994, Payros et al. 1999, Barnolas y Gil Peña 2001 a). Generalmente la discusión oscila entre los que estiman que la mayor actividad tectónica de la vertiente norte de la cuenca justifica su procedencia norte, mientras que los que ponen el acento en los foraminíferos bentónicos y la facies de plataforma reconocible en los elementos de las brechas indican que se deben a avalanchas del borde de la plataforma sur.

## ROCAS ÍGNEAS

En abreviado se puede decir que el orógeno alpino de los Pirineos no desarrolló anatexia ni magmatismo asociado. No obstante en la cartografía geológica aparecen numerosos afloramientos de rocas ígneas de distintas edad, composición y extensión. En unos casos, estas masas ígneas forman parte del basamento: son “herencia” de la estructura prealpina y tienen un papel esencialmente pasivo en el desarrollo alpino de la cadena (Debon 1973, 1980, Autran et al. 1996, Carreras Suárez 1986 a, Carreras y Debat 1996, Arranz y Lago 2004, Arranz 2007). La mayor importancia en cuanto a volumen la tienen las intrusiones graníticas en sentido amplio que se emplazaron después del plegamiento principal de la Orogenia Hercínica, hace en torno a 300 Ma, cortando pliegues y esquistosidad de la fase principal, predominantemente en paleozoico superior, (la “supraestructura” de los holandeses). Los complejos plutónicos de Panticosa-Cauterets, Maladeta, Andorra-Mont Lluís, Millas, St. Llorenç-La Jonquera formados predominantemente por granodioritas, monzogranitos y leucogranitos pertenecen a esta categoría y se acompañan de gran variedad de rocas filonianas en los complejos de diques asociados. Por otra parte, con menos extensión y mayoritariamente localizados en el Pirineo oriental están los cuerpos intrusivos que acompañan los dominios metamórficos de alto grado de la “infraestructura” (series cambro-ordovícicas). Los granitos de Bosost, Trois Seigneurs, Astón-Hospitalet, Canigó-Carança, Albères. . . pertenecen a este grupo (Carreras y Debat 1996, Carreras y Capellà 1994, Arranz 2007). Por otra parte, se ha reconocido el emplazamiento de materiales ígneos intercalados en la serie cambro-ordovícica (> 450 Ma) en forma de coladas o filones-capas (Martí et al. 1986).

Por otra parte, mientras se emplazan los cuerpos plutónicos en el seno de las rocas paleo-

zoicas plegadas, tras la fase principal del plegamiento Hercínico numerosas manifestaciones magmáticas ascienden hasta la superficie del terreno o se emplazan entre los materiales que se sedimentan cerca de la superficie, a finales del Carbonífero y el Pérmico inferior. Las andesitas, dacitas, riolitas, etc., de los complejos volcánicos de Anayet y Midi d'Ossau, de la zona de Nogueras y de la Sierra del Cadí se corresponden con esta actividad (Bixel y Lucas 1983, Bixel et al. 1983, 1985, Gisbert 1986, Lucas y Gisbert 1996, Lago et al. 2004 b). Los basaltos y doleritas de los entornos de Anayet y Oza, o del macizo navarro de Cinco Villas, así como los últimos diques que atraviesan los granitos de Panticosa (Lasheras et al. 1999, 2001, Lago et al. 2004 a, b, c, Galé Bornao 2005), entre otros, llegan algo más tarde, durante el Pérmico y delatan la etapa de fracturación que dará inicio a la partición de Pangea.

Ya entrados en el Mesozoico hay otros dos episodios de manifestaciones magmáticas importantes: uno en el Triásico superior y otro en el Cretácico.

El *magmatismo del Triásico superior* se encuentra ligado a las facies Keuper del Triás germánico de prácticamente todo el dominio pirenaico, con características petrológicas y geometría bastante uniformes, aunque con cuerpos estratiformes más voluminosos en la parte occidental (Ramírez del Pozo et al. 1978, Carreras et al. 1979). Se trata de las doleritas toleíticas tradicionalmente llamadas “ofitas”, tal como los denominó Palasou (1784). El modo más habitual de presentarse es el de cuerpos subvolcánicos masivos, moderadamente aplanados según la estratificación (lacolitos), emplazados dentro de los sedimentos arcillosos del Keuper, por debajo de cierto espesor de sedimento todavía no consolidado. La determinación de la edad radiológica, por el método U-Pb en zircones ha dado  $199 \pm 2$  Ma (Rossi et al. 2003). No se reconocen coladas o aparatos volcánicos sub-aéreos, exceptuando los depósitos de tobas “infra-liásicas” de la vertiente norte. El sedimento encajante muestra una moderada afección térmica a todo su alrededor (Thiebaut 1973, Castellarin et al. 1978, Lago 1980, Lago y Pocoví 1980, 1984 Lago et al. 1989, 2000, Azambre et al. 1987). El Keuper, a consecuencia del plegamiento pirenaico y de su comportamiento plástico por contener formaciones salinas, se ha acumulado en los núcleos de los anticlinales y en los frentes de cabalgamientos; además, por “tectónica salina”, se han desarrollado diapiros y se han acentuado las acumulaciones de arcilla yeso y sal en algunos anticlinales (p. ej. Teixell, 2006, Mata Perelló 2009, García Villar et al. 2017). La estructura plegada de la cobertera mesozoico-terciaria y el actual estado de erosión hacen que los afloramientos de Keuper sean muy numerosos en los dominios prepirenaicos, a norte y sur de la zona axial. Dentro de ellos, las masas ofíticas aparecen dispersas, como



si se “dejaran llevar” pasivamente como objetos resistentes dentro de la matriz plástica de arcillas y sales; no obstante, atendiendo a detalles estructurales, se aprecia que registran moderadamente la deformación tectónica (Lago y Pocoví 1980).

Aparte del interés petrológico y geoquímico de este episodio magmático y su relación con la distensión mesozoica y la apertura del Atlántico, las ofitas tienen especial interés mineralógico, tanto por los minerales de su constitución, como por los que se han originado en su entorno en las fases hidrotermales tardías (p. ej. Besteiro et al. 1982, 1986, Calvo et al. 2011). También es significativo su interés aplicado, destacándose su uso tradicional para adoquines (usados en pavimentación de vías urbanas) y su explotación actual para balasto ferroviario y para gravilla de capas de rodadura de carreteras. Además, en las arcillas colindantes, el efecto térmico de su emplazamiento dio lugar a pequeños cambios mineralógicos (Amigó et al. 1987) que las hicieron aptas para usos cerámicos y existieron pequeñas extracciones para este fin.

El *magmatismo del Cretacio*: Se localiza casi exclusivamente en la Cuenca Vasco-cantábrica y especialmente entre los sedimentos marinos del cretácico superior del sinclinatorio de Vizcaya, en una extensa franja que se extiende por el entorno de Argoitia, Guernica, Eibar-Elgoibar, Zumárraga, Vergara... (Espejo 1975, Pignatelli García y Espejo Molina 1973, Martín Fernández 1975, Esnaola Gómez y Martín García 1975). Se trata de coladas basálticas emitidas y expandidas en ambiente submarino, conforme se sedimentaba la potente serie marina que comprende desde el Albiense (final del Cretácico Inferior, hace unos 110 Ma) hasta el Campaniense (avanzado el Cretácico Superior, hace unos 85 Ma); por consiguiente forman cuerpos estratiformes de espesores muy variables, con intercalaciones de sedimento arcilloso. Corrientemente la lava ha sufrido alteraciones propias de la reacción por el contacto del agua marina (espilitización) y brechificación por emplazamiento en fondo accidentado o por la tectónica, pero a veces se identifican las formas almohadilladas propias de la lava emitida bajo una importante columna de agua marina. A menudo son espectacularmente grandes, superando fácilmente el metro de diámetro (mega pillow-lavas). Por su composición, localización y edad, este magmatismo se corresponde con el ambiente geodinámico responsable de la apertura del Golfo de Vizcaya y las emisiones de lavas submarinas similares a las de las dorsales oceánicas (Castañares et al. 1997, Sarrionandia y Carracedo-Sánchez 2012). Por consiguiente, ésta es la actividad magmática más directamente relacionada con la historia geológica de los Pirineos, mientras que los magmatismos permo-carbonífero y triásico se han conservado integrados en las estructuras pirenaicas pero, en realidad forman parte de contextos mu-

cho más extensos y anteriores a la configuración de la cuenca sedimentaria propiamente pirenaica por la separación, con el correspondiente adelgazamiento litosférico, de Iberia y Europa.

En Pirineos hay tener en consideración otras rocas ígneas un tanto excepcionales: *las lherzolitas*, que están presentes en afloramientos alineados sobre la también excepcional falla nortepirenaica (Choukroune 1974, Choukroune y Mattauer 1978, Canerot et al. 2001). No caben muchas dudas acerca de su origen mantélico con más o menos transformaciones (p. ej. Le Roux et al. 2007), pero la complejidad de su historia tectónica junto con la limitada extensión y calidad de sus afloramientos ponen dificultades a su interpretación; no obstante, dada su composición mineral, es obligado aceptar que implican ascenso del manto en relación con el extremo adelgazamiento litosférico previo a la inversión tectónica.

Posteriormente, el volcanismo cuaternario de la parte oriental (Olot, Cap d'Agde, Lodève...), que se manifiesta sobre la estructura pirenaica, también forma parte de unos acontecimientos que desbordan el ambiente pirenaico. Se trata del rifting que se activa entre el Mioceno superior y el Cuaternario reciente en la banda que se extiende desde Europa central hasta el Cabo de Gata (p. ej. López Ruiz et al. 2002), rifting que ya había tenido una amplia manifestación anterior (Oligoceno superior - Mioceno inferior), en la que se desarrollaron las fosas tectónicas alineadas NE-SW, los hundimientos escalonados paralelos a la costa mediterránea (p. ej. Banda y Santanach, 2008).

## LAS BANDAS MILONÍTCAS TARDIHERCÍNICAS

En varias zonas de la parte oriental de la Zona Axial, el tramo inferior de la serie paleozoica (o paleozoica y neoproterozoica), incluidas migmatitas y granitoides, se presentan numerosos ejemplos de fallas muy particulares y en condiciones de accesibilidad extraordinarias. Se trata de fallas que en vez de limitar su movimiento friccional a un plano, tienen una banda amplia (de algunos centímetros a muchas decenas de metros) en las que las rocas están intensamente deformadas de manera dúctil a todas las escalas. El paraje de la “*Reserva Natural Integral i Paratge Natural del Cap de Creus*” es reconocido por ser la mejor “exposición” del mundo para estos accidentes (Carreras 1975 a y b, Carreras et al. 1980, Carreras y Druguet 2013).

## SECUENCIAS DE CABALGAMIENTOS Y CORTES COMPENSADOS

Avanzados los años sesenta y siguientes, principalmente gracias a la exploración petrolera de las sierras que bordean las Montañas Rocosas por el E, en Canadá y Estados Unidos (las Foothills), se estudió cuidadosamente la estructura y se dedicó esfuerzo e ingenio al objetivo de dar coherencia a los cortes geológicos tratando, de asegurar que las estructuras representadas tuvieran correcta correspondencia en la situación interpretada anterior a la deformación (cortes compensados), sin pérdidas o ganancias de volúmenes (áreas, al operar en cortes individuales) no justificadas (p. ej. Dahlstrom 1969, Hossack 1979, Elliot 1983, Hossack y Hancock 1983, Mitra y Namson 1989). En términos de Elliot (1983) un corte compensado ha de ser “admisible” (acorde con todas las observaciones estructurales) y “viable” (ajustado al corte restaurado o corte del estado no deformado construido a la par que el compensado). Al objeto de trazar correctamente los cortes de estructuras plegadas (cinturones de pliegues y cabalgamientos), siempre contando con el acceso limitado que ofrecen los afloramientos, los sondeos y la exploración geofísica se estudió la geometría de los cabalgamientos y su relación con los marcadores (generalmente estratigráficos) en la naturaleza y en modelos analógicos para determinar pautas generales y atribuir formas “admisibles” a las partes de los cortes que no son de acceso directo (p. ej. Price 1981, Boyer y Elliot 1982, Mitra 1986).

En los Pirineos no eran raros los trabajos con cortes, generales o locales, que atendían a expresar estructuras de forma “admisible” con atención a las geometría de pliegues y cabalgamientos (Séguret 1972, Vergely 1970, . . .), pero posiblemente el primer corte compensado de toda la cadena no aparezca hasta entrados en los ochenta (Williams y Ficher 1984). El corte de Williams y Ficher tenía un punto “provocativo” porque ya se estaban realizando estudios previos relativos al proyecto ECORS y porque era sospechosamente más “viable” que “admisible” (“viable” en el sentido de ceñirse a un corte restaurado artificialmente y algo simplón; poco “admisible” en términos de ajuste a las observaciones estructurales de superficie). Representaba un cierto abuso de los conceptos de tectónica de piel fina (*thin skin tectonics*) y desestimaba, por ejemplo, los significativos efectos de deformación dúctil (McCaig 1986). En todo caso, el efecto provocador de dicho trabajo y el efecto dinamizador del proyecto ECORS pronto dieron resultados extraordinarios a escala de toda la cadena (Roure et al. 1989, Muñoz 1992, Muñoz et al. 1992, Berastegui et al. 1993, Teixell 1996, 1998, 2000, Casas y Pardo 2004) y también sobre determinadas estructuras locales (Martínez Peña y Pocoví 1988, Martínez Peña et al. 1988, 1991, 1992, Martínez Torres 1993, Millán et al. 1996 a. . .).

## IBERIA Y LA TECTÓNICA DE PLACAS

El paradigma de mayor trascendencia en la geología del siglo XX es, por supuesto, la tectónica de placas, la teoría geofísica-geológica que reúne en un mismo cuerpo de doctrina todos los conocimientos de la geodinámica. La formulación del armazón conceptual que sostiene la teoría podría decirse que se extiende a lo largo de las décadas en las que van apareciendo los trabajos de A. Wegener (1910), A. Holmes (1944), H. Benioff (1954), S. K. Runcorn (1960), H. Hess (1962), J. T. Wilson (1965), Isacks (1968), que se reproducen reiteradamente en las obras de recopilación y síntesis (Véase p. ej. Le Pichon et al. 1973 o Cox 1973). El gran intervalo temporal que aquí se ha apuntado entre Wegener y Holmes no es una época de total quietud al respecto, sino que la comunidad científica se mantiene a la expectativa alrededor de las distintas posturas: Los geofísicos se oponen, como es razonable, al desplazamiento de los continentes (Jeffreys) y los geólogos por lo general tienen respeto por los argumentos geológicos de Wegener pero se alinean del lado de las “pruebas tangibles” de los argumentos de Suess y de Stille y de la teoría del geosinclinal. Esta situación se mantiene a causa del absoluto desconocimiento de lo que ocurre en la parte sumergida de la Tierra y “la tectónica de placas, como Venus, es hermosa y nacida en el mar” (Trumpy 2001). Cuando irrumpen en el ambiente científico las pruebas irrefutables, como la expansión del suelo oceánico y de la distribución global de los focos sísmicos se precipita la decadencia de la teoría del geosinclinal, omnipresente durante un largo siglo en cualquier explicación concerniente a la dinámica terrestre.

En cuanto a la aceptación generalizada de la tectónica de placas y su consideración de paradigma, se dice que el 26 Congreso Geológico Internacional, París 1980, es el primero que se celebra en el marco de “normalidad” del paradigma. No obstante, a principios de los setenta ya se habían difundido ampliamente obras de recopilación y síntesis de los descubrimientos fundamentales (Cox 1973, Le Pichon et al. 1973...).

En lo concerniente a Pirineos, naturalmente el cambio de paradigma no anula ni reduce valor a la investigación geológica precedente, sino que explica satisfactoriamente los rasgos estructurales mayores y su desarrollo. Numerosos trabajos del entorno de la década de los ochenta ponen de manifiesto la inmersión en los nuevos esquemas (Arthaud y Matte 1977, Boillot y Capdevila 1977, Boillot 1980, 1984 a y b, 1986, Boillot y Malod 1988, Peyber-nès 1982...). Curiosamente, puede decirse que aspectos tan básicos como la extensión de terrenos afectados por estructuras pirenaicas, es decir, el dominio afectado por la compresión alpina generada al norte de la microplaca ibérica a consecuencia de la convergencia entre África y Eurasia no se conoce hasta esta época en que el relieve y las anomalías

magnéticas del fondo del Atlántico son ya suficientemente conocidas. Con este criterio, se reconocen estructuras pirenaicas desde Provenza (donde lindan con las estructuras N-S de los Alpes Marítimos), hasta la anomalía magnética 33, al este de la dorsal atlántica como expresa la Figura 3. Naturalmente, toda las revisiones recientes están ambientadas en este marco (Canérot 2008, Bourrouilh 2008, Biteau y Canérot 2008...), así como, por lo general, los trabajos de divulgación (p. ej. Richert 2008).

## EL PROYECTO “ECORS”

El ECORS fue un proyecto de investigación hispano-francés monumental por la coordinación de instituciones, por la movilización de recursos humanos e instrumentales, por la novedad y osadía del planteamiento y por supuesto, por el presupuesto que tuvo que manejar. Sus principales objetivos fueron, por una parte, reconocer y localizar las variaciones de espesor de la corteza y su relación con la profundidad del zócalo y el espesor de la cobertera sedimentaria, y por otra ayudar a comprender los efectos en profundidad de la inversión tectónica creada por la convergencia pirenaica.

En sus inicios (las primeras gestiones datan de 1981) se hablaba del proyecto “Imagerie Continentale par Reflexion Sismique” (ICORS), pero pronto se pasó a “Étude de la Croûte Continentale par Réflexion Sismique” (ECORS), parece ser que a sugerencia de M. Mattauer y bajo presidencia de Claude Sollé (Comité Gestor) y Claude Allègre (Comité Científico).

El primer perfil que se puso en ejecución (entre 1984 y 1986) fue “ECORS – Pirineos” (Choukroune et al. 1989, 1990 a, Suriñach 1993, Damotte 2010). El perfil tiene dirección aproximadamente N-S y corta perpendicularmente a las estructuras desde las inmediaciones de Toulouse (cuenca de Aquitania) hasta las inmediaciones de Balaguer (Cuenca del Ebro). En la ejecución se combinaron varios métodos geofísicos, pero el principal fue la sísmica de reflexión. El método implicaba el uso de explosivos (cargas de 20 a 30 kg de TNT) que se detonaban en pozos de unos 20 m y la instalación de una red de geófonos para registrar cada tiro. A este fin, el despliegue de medios técnicos era exuberante, en especial una flota de camiones que instalaban y retiraban geófonos o que llevaban instrumentos de registro, perforadoras de sondeos, excavadoras para abrirles caminos, etc.

En cada tiro se registraban tiempos dobles (TWT) de hasta 25 s en gran parte de la traza, al objeto de que la señal atravesara completamente la corteza, incluso en las partes más

engrosadas, de cuya existencia ya se tenía conocimiento por estudios previos (Hirn 1980, Gallart et al. 1979, Gallart et al. 1981).

Los resultados, obtenidos combinando los trabajos geológicos previos (geología de superficie e investigación petrolera) y la lectura del perfil sísmico tras las complejas operaciones de optimización, tuvieron un gran impacto en todos los ambientes relacionados con la geología, por una parte por ser el primer perfil de estas características que se extendía sobre un orógeno completo y por otra porque desmintió ideas preconcebidas sobre el contacto entre Iberia y Eurasia (subducción del margen europeo bajo el ibérico, importancia de la falla norte-pirenaica, ...). Entre los resultados más espectaculares puestos de manifiesto por el ECORS-Pirineos figuran la puesta en evidencia de la “subducción cortical” del margen ibérico bajo el europeo, la existencia de un apilamiento de láminas de corteza superior sobre el margen ibérico como principal causa del engrosamiento cortical y la estimación objetiva de la extensión y el acortamiento registrados perpendicularmente a la cadena en el ciclo Alpino (Berstegui et al. 1993, Losantos et al. 1988, Muñoz 1992, 2002, Muñoz et al. 1992, Roure et al. 1989).

Posteriormente ECORS-Arzacq, en el sector occidental, mostró las diferencias de la estructura en profundidad al norte de los macizos vascos, además de precisar la profundidad del basamento bajo la cuenca de Arzacq, etc. (Dagnières et al. 1994 Choukroune y Garrido 1989. Choukroune et al. 1989, 1990 a, b). Además, los cambios de la estructura hacia el oeste se siguen con los perfiles ECORS-Biscay en la plataforma de Aquitania, paralelo a la costa de Biarritz (Pinet et al. 1987), y los ESCIN que, por sectores, se despliegan por la Cantábrica, entre la cuenca del Duero y el margen continental Atlántico (Pulgar et al. 1996).

## **La estructura de los Pirineos tras dos siglos de estudios**

En las páginas precedentes se ha hecho alusión a la adquisición de los conocimientos sobre la Cadena Pirenaica a la par que evolucionaban las teorías orogénicas en el marco del desarrollo de las ciencias desde la Ilustración a los tiempos contemporáneos. Aquí estamos en un buen punto para presentar un breve resumen de los rasgos más destacados de la estructura de la cadena.

La cadena pirenaica forma parte del orógeno desarrollado en las placas Ibérica y Europea como consecuencia de la convergencia y colisión de sus márgenes por los movimientos alpinos, entre el Cretácico Superior y el Mioceno (Losantos et al. 1988, Muñoz 1992,

Berastegui et al. 1993, Muñoz et al. 2018). Las estructuras desarrolladas a consecuencia de este proceso geodinámico se extienden más allá de los Pirineos entendidos en sentido geográfico, es decir, la parte que forma del istmo de la Península Ibérica. Al oeste se extienden por el margen norte de la Península en perfecta continuidad con las estructuras vasco-cantábricas y siguen con estructuras sumergidas en el Cantábrico y el Atlántico, al menos hasta la “anomalía 13” (banda basáltica originada en la dorsal hace unos 20 Ma). Al este, se extienden por el sur de Francia (Laguedoc y Provenza) hasta interrumpirse en los Alpes Marítimos, y por las partes separadas a consecuencia de la evolución posterior del Mediterráneo Occidental hasta Córcega y Cerdeña (Figura 3).

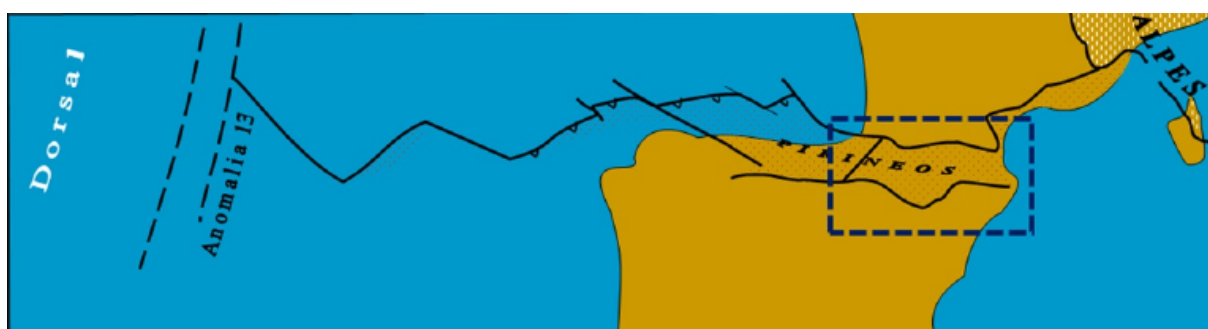


Figura 3: Extensión de las estructuras compresivas “pirenaicas” entre la Dorsal Atlántica y los Alpes. El recuadro corresponde a la parte representada en la Figura 4 y enmarca el “Pirineo ístmico”.

Centrándonos en la Cadena Pirenaica, la orientación casi E-W (N110E) de las alineaciones montañosas se debe a la orientación dominante de las estructuras compresivas formadas por la mencionada convergencia de las placas. Sobre los mapas geológicos se resaltan se distinguen los grandes conjuntos expresados en la Figura 4: Una banda central (Zona Axial) que contiene buena parte de las zonas más elevadas de la cadena (Canigó, Maladeta, . . .) y está formada por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas de la Era Primaria e incluso anteriores; conjunto que afectado por grandes cabalgamientos vergentes al Sur. A ambos lados de esta banda central hay sendas franjas de rocas, sedimentarias en casi su totalidad, de las eras Secundaria y Terciaria, afectadas por pliegues y cabalgamientos de vergencia dominante al norte en la banda norte y al sur en la banda sur. Estas bandas quedan limitadas terrenos de sedimentos de la Era Terciaria en su mayor parte ya poco o nada afectados por el plegamiento.

En la divisoria entre los dominios de vergencias opuestas (norte de la zona axial, Figura 4) se reconoce una banda particular de afloramientos de rocas mesozoicas con metamorfismo de baja presión y alta temperatura y afloramientos discontinuos de lherzolita, roca afín a las peridotitas del manto. Se trata de una banda de extraordinario interés en la formación

de la cadena: la “falla norte-pirenaica” (Sitter 1954, Choukroune 1974, Choukroune y Séguret 1973, Choukroune y Mattauer 1978, Canérot et al. 2001), que se considera que representa la cicatriz del cierre de la parte más interna de la cuenca mesozoica desarrollada sobre la banda litosférica más adelgazada por la separación que tuvo lugar en el Mesozoico, entre Iberia y Europa, antes de la “inversión tectónica” que dio paso a la convergencia ya mencionada. En términos simplistas la falla norte-pirenaica representa nada menos que el registro fósil del contacto entre placas.



Figura 4: Grandes conjunto estructurales de la Cadena Pirenaica: 1) Cuencas Terciarias tardi- y post-tectónicas . 2) Estructuras de vergencia dominante al norte. 3) Estructuras de vergencia dominante al sur. a) Materiales paleozoicos (zócalo). b) Mesozoico plegado. c) Cenozoico principalmente marino, plegado. d) Mesozoico y Cenozoico de la Unidad Sur-pirenaica Central (U. S. P. C.).

Recordemos que las placas que intervienen en esta historia proceden de la ruptura de Pangea y que el Atlántico se forma al separarse Eurasia y África por su lado y América por el otro. Las partes continentales de las placas tienen estructura geológica compleja y, en lo que concierne a Iberia al suroeste de Europa, se encuentran partes pertenecientes a la gran Cordillera Hercínica (o Varisca) que se formó en la Era Primaria (Carbonífero) por la colisión de Gondwana y Laurasia que formó Pangea cerrando el Océano Rheico y los mares contiguos. Los afloramientos de materiales paleozoicos de ambos lados de la falla norte-pirenaica (Figura 4) son restos de aquella Cordillera Hercínica, y identifican sus pliegues, esquistosidad, manifestaciones magmáticas, etc., generalmente diferenciables de las deformaciones alpinas que se les superponen.



Sobre Pangea, con la orografía arrasada por la erosión del final del Carbonífero y el Pérmico, al tiempo que se prefigura la trama de grandes fallas por las que se partirán los continentes, y en las zonas deprimidas se acumulan sedimentos de carácter continental entre abundantes manifestaciones volcánicas (Midi d'Ossau, Anayet, Sierra de Cadí,...). Los dominios en que se configuraría Iberia y el SW de Eurasia se encontraban entonces en latitudes muy bajas, por lo que el ambiente en su superficie oscila entre dominios de bosques tropicales de criptógamas (con abundantes restos conservados en las minas de carbón de Peramera, Erill-Catell, Malpas, Surroca-Ogassa, etc.), la extrema aridez de los desiertos arenosos. De este modo, sobre las estructuras erosionadas de la Orogenia Hercínica se pueden observar los depósitos discordantes del final del Carbonífero y del Pérmico si se han conservado y afloran en superficie.

Entrando en la Era Mesozoica la actividad tectónica en el entorno pirenaico se modera y se hace dominante el ambiente distensivo del margen occidental del Tethys, el brazo oceánico extendido entre Gondwana y Laurasia. El periodo Triásico se inicia con el depósito de sedimentos continentales rojos (facies Buntsandstein) que pueden estar localmente en continuidad con los del Pérmico, pero tienen carácter transgresivo, es decir, se extienden en discordancia sobre cualquier substrato paleozoico erosionado y subsidente. La subsidencia viene condicionada por una trama de fallas que delimitan surcos (*rifting*) de distintas direcciones pero con hundimiento escalonado dominante hacia el margen del Tethys. En el Triásico Medio el mar se extiende (transgresión) hacia el oeste sobre buena parte de Iberia, para retirarse (regresión) de nuevo en el Triásico Superior dejando sedimentos muy característicos y significativos por su peculiar comportamiento más adelante, cuando se someten a plegamiento: son las calizas y dolomías de mar poco profundo (facies Muschelkalk) y las arcillas evaporitas (sulfatos y cloruros) propias de ambientes de marismas (facies Keuper). Al final del Triásico se acentúa la tectónica distensiva en el margen occidental del Tethys y también se anuncia la apertura del Atlántico con la aparición de fenómenos magmáticos que aparentemente tienen pocas manifestaciones en superficie, pero se manifiestan por el emplazamiento de volúmenes importantes de basaltos toleíticos (ofitas, espilitas,...) entre los sedimentos de facies Keuper., seguidos de un nuevo hundimiento y transgresión marina. Al final del Triásico superior una nueva transgresión marina se extiende sobre el margen del Tethys de Iberia y Eurasia. El ambiente marino se mantiene durante todo el Jurásico Inferior y Medio, con depósitos de facies y espectaculares faunas de braquiópodos y cefalópodos relativamente uniformes en dicho extenso ámbito.

En el Jurásico Superior y parte del Cretácico Inferior la situación se complica: hay somerización generalizada sobre dominio ibérico, con ambientes emergidos, y salobres restringidos, y el depósito de las facies Purbeck y Weald que dan pie a situaciones tan excepcionales como las facies lacustres de las calizas litográficas del Montsec (Lacasa-Ruiz 2013) a las que se hará alusión más adelante. En el ambiente norte-pirenaico también se complican los ambientes en el Cretácico Inferior, sobre todo conforme Iberia tiende a separarse de Europa, como si persiguiera a África que ya se ha apartado de América con desplazamiento relativo hacia el este. El movimiento sinistrorso de Iberia origina un borde de placa transcurrente y en sus inmediaciones se forman cuencas pequeñas, independientes, en las que se acumulan importantes espesores de sedimentos. Combinando el movimiento sinistrorso y la separación de las masas continentales, se abre el golfo de Vizcaya, con formación de fondo oceánico. Fracturación y adelgazamiento de la litosfera permiten el ascenso de magma basáltico en la zona Vasco-Cantábrica y la aparición de zonas de gradiente geotérmico anómalo, con altas temperaturas cerca de la superficie. El efecto combinado de rifting y desplazamiento sinistrorso dieron origen a un complejo marco de dominios sedimentarios cambiantes, magmatismo, movilización de fluidos hidrotermales que modifican los sedimentos originales. . . En metamorfismo de la banda ligada a la falla norte-pirenaica y el metasomatismo capaz de concentrar los metales de los carbonados albienses del sector Vasco-Cantábrico están relacionados con este ambiente. Otro efecto muy importante en términos geodinámicos es la rotación anti-horaria de Iberia como consecuencia del mencionado movimiento sinistrorso de la placa o al menos el inicio de la misma, puesto que no hay unanimidad en lo referente a su magnitud y duración. A resultas de este giro, el polo norte magnético de referencia para estudios de paleomagnetismo en rocas de Iberia anteriores a esta edad está desplazado una treintena de grados respecto al de las mismas edades al norte de los Pirineos.

Al entrar en el Cretácico Superior la separación entre Iberia y el margen europeo alcanza su mayor valor que puede ser de unas decenas de km en el sector occidental y se reduce gradualmente hacia la parte oriental. Los valores estimados son considerablemente variables según los criterios en que se basen los cortes restaurados. En cualquier caso la separación y el correspondiente adelgazamiento litosférico originan una extensa área subsidente sobre el margen ibérico, abierta al Tethys y al Atlántico en la que se depositan hasta algunos miles de metros de sedimentos marinos incluso de facies profundas. En cambio sobre el margen Europeo, se instala una trama de cuencas más restringidas y cambiantes, pero que también pueden acumular espesores importantes de sedimentos, especialmente en la parte occidental, abierta al atlántico. La comunicación norte sur no es evidente y, al menos

no es permanente y extensa, puesto que hay elementos del substrato paleozoico de Iberia que permanecen emergidos. Ya muy avanzado el Cretácico Superior, hace unos 75 Ma, se produce la inversión tectónica; es decir, Iberia empieza a aproximarse a Europa y seguirá haciéndolo durante unos 60 Ma. En este tiempo empezarán a producirse estructuras compresivas (pliegues y cabalgamientos) que empiezan a formarse bajo el mar y modifican la extensión, profundidad, corrientes, etc., de modo que la sedimentación sintectónica deja constancia de estos acontecimientos. Al comprimirse uno contra otro los márgenes continentales, sucesivos volúmenes del substrato paleozoico que ya se habían pre-configurado con las fallas distensivas se apilan sobre ambos márgenes, pero en mayor medida sobre el margen Ibérico formando el “apilamiento antiformal” de la zona axial, con la consiguiente formación de relieve emergido, pero no todo el apilamiento crece hacia arriba, sino que la carga a que se somete el margen ibérico tiene como respuesta el hundimiento para recuperar el equilibrio isostático, lo que tiene importantes consecuencias: por una parte, mientras se crean relieves emergidos las cuencas sedimentarias se desplazan hacia el sur y se extienden hacia el sur, con un margen pasivo sobre el bloque ibérico; por otra parte, la corteza inferior, que no participa en los bloques del apilamiento antiformal, puede hundirse bajo el margen europeo en las profundidades mantélicas, determinando lo que se ha llamado “subducción continental” (nótese la diferencia entre este concepto y las subducción propiamente dicha, que es un fenómeno de escala litosférica).

Es importante notar que el acortamiento implicado en la formación del apilamiento de la zona axial tiene su correspondencia en el que se registra en los pliegues y cabalgamientos de la cobertera, es decir, la estructura que afecta a las series sedimentarias depositadas sobre el substrato paleozoico desde el final de Carbonífero hasta el Mioceno, no obstante el estilo de la deformación puede ser muy diferente: mientras los bloques del substrato paleozoico se delimitan preferentemente por las primitivas fallas distensivas, en la cobertera también tienen importancia dichas fallas distensivas, pero aquí adquieren importancia capital las discontinuidades estratigráficas y los comportamientos de ciertos horizontes estratigráficos. Esto significa que distintos tramos de la cobertera tienen sus propios comportamientos tectónicos: en los grandes cabalgamientos que afectan al substrato, los tramos inferiores de la serie de cobertera suelen permanecer solidarios con el substrato, mientras que los tramos superiores están fuertemente plegados y desplazados del lugar donde se depositaron (aloctonía), fenómeno que se hace posible porque determinados tramos de serie tienen la capacidad de deformarse de manera dúctil, comparable a un fluido y actúa como “nivel de despegue”. En la cobertera de ambas vertientes el tramo de serie que actúa como nivel de despegue más importante es el de las arcillas con evaporitas del Triásico Superior (facies

Keuper) y, en este caso, los niveles de la serie que están por debajo (Carbonífero, Pérmico –cuando están presentes– y Triásico Inferior) permanecen solidarios con los bloques del substrato; en cambio la serie comprendida entre el Triásico terminal y el Eoceno está “despegada” y plegada. En la vertiente meridional este fenómeno es especialmente significativo ya que las unidades de cobertera, como la “unidad sur-pirenaica central” (Figura 4), se han desplazado al frente de los cabalgamientos de la zona axial decenas de kilómetros sobre un substrato no deformado. Cuando, por razones de índole estratigráfica, en la serie de cobertera no está el tramo de las facies Keuper, otro nivel estratigráfico puede actuar de nivel de despegue, como es el caso de las Sierras Interiores Aragonesas, donde la serie de cobertera empieza con las calizas del Cretácico superior discordantes sobre el substrato paleozoico. Aquí las “margas de Zuriza” realizan el mismo papel para los cabalgamientos del sistema de Larra (Figura 5), mientras que los tramos inferiores (calizas de los cañones) quedan como tegumento solidario del substrato y la serie del final del Cretácico superior, Paleoceno y Eoceno forma la cobertera plegada.

Uno de los aspectos más atractivos de las investigaciones pirenaicas es lo que concierne a las relaciones tectónica-sedimentación desde el inicio de la inversión tectónica hasta el estado actual de la Cadena, y la vertiente meridional es foco constante de atención para ello. La sucesión de acontecimientos (Figura 5) que se configura con el emplazamiento del cabalgamiento de Lakora-Eaux Chaudes con el correspondiente cierre de espacios sedimentarios del Cretácico terminal-Paleoceno, el emplazamiento de la unidad sur-pirenaica central, el desarrollo de la cuenca turbidítica de Jaca; luego el sistema de cabalgamientos de Larra-Monte Perdido en condiciones submarinas del margen norte de la cuenca turbidítica. Le sigue el emplazamiento de los cabalgamientos de Jaca-Oturia, Leyre, etc. con el cierre de la cuenca turbidítica y la sedimentación molásica en el antepaís meridional, y finalmente los cabalgamientos de las Sierras Exteriores, Sierra de Cantabria, etc., desplazando a sus espaldas las estructuras anteriores y la cuenca molásica de Jaca, mientras recortan espacio por el norte a la cuenca del Ebro, a la vez que se le suministran los aportes de la erosión del relieve que se está generando. Los ajustes de la cronología de los acontecimientos y de las relaciones del desarrollo de las estructuras con los depósitos sedimentarios inspiran numerosos proyectos de investigación con incorporación de nuevas técnicas de estudio (magnetoestratigrafía, magnetotectónica, termocronología,...), generalmente con enfoques de investigación pura y en algunos casos con vistas a la creación de modelos aplicables a la exploración de recursos. También los estudios de la fauna y flora de los variadísimos ambientes sedimentarios de la Cadena Pirenaica animan muchos proyectos de investigación, y en general lo mismo ocurre en lo relacionado con la valoración del patrimonio geológico y la geodiversidad.

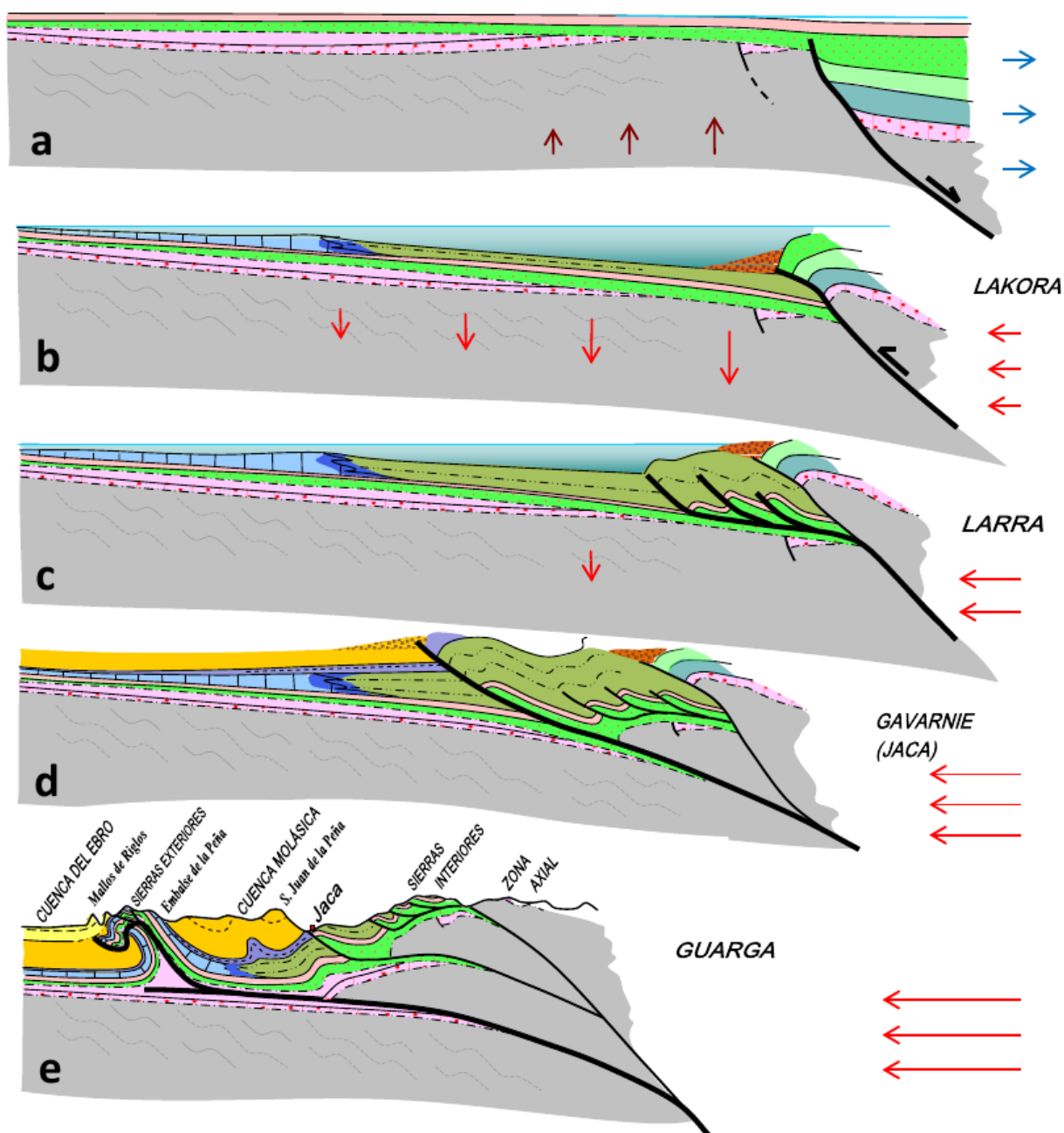


Figura 5: Secuencia de emplazamiento de las principales estructuras de la vertiente sur de la Cadena Pirenaica en el sector centro-occidental. a) Final de la distensión y de la fuerte subsidencia en la zona nortepirenaica. b) Inversión tectónica, emplazamiento de la lámina de cabalgamiento de Lakora-Eaux Chaudes sobre el margen ibérico (Paleoceno). La carga tectónica provoca fuerte subsidencia, hundimiento rápido y formación de la cuenca turbidítica de Jaca (Eoceno inferior). c) Emplazamiento de los cabalgamientos del sistema de Larra-Monte Perdido mientras se sedimentan las turbiditas de la Cuenca de Jaca (Eoceno medio). d) Emplazamiento de los cabalgamientos de Jaca-Oturia y extravasado de la cuenca turbidítica, fin de la sedimentación marina en esta transversal. Sedimentación molásica al frente de las estructuras en continuidad con la Cuenca del Ebro (Eoceno superior-Oligoceno). e) Emplazamiento del cabalgamiento de Guarga, aparición de las Sierras Exteriores, delimitación de la cuenca molásica de Jaca como cuenca de *piggyback* y depósito de abanicos aluviales en el nuevo margen de la cuenca del Ebro (Oligoceno-Mioceno).

# Geología del siglo XXI: el futuro con puntos de vista tradicionales

## NOVEDADES TECNOLÓGICAS

La irrupción de instrumentos que cambian las actitudes de los investigadores frente al trabajo de campo: como primer ejemplo, las aplicaciones de los teléfonos móviles que combinan brújula, acelerómetros y GPS, toman datos de planos y líneas y los guardan en memoria para volcarlos en tablas diagramas o mapas geo-referenciados.

Diversos instrumentos más o menos tradicionales se han hecho ligeros y manejables (susceptómetros, magnetómetros, contadores Geiger, equipos de fluorescencia de rayos X. . . ) que permiten plantear trabajos de mucho detalle con esfuerzos admisibles. Los drones excitan la imaginación para extender su uso más allá de las funciones fotográficas-topográficas que están en boga.

## METODOS GEOFÍSICOS

Por una parte la sísmica de reflexión de la investigación petrolera y por otra la de los ECORS y ESCIN han dejado grandes volúmenes de información susceptible de revisión y reinterpretación alimentando y cosechando datos de los prometedores modelos digitales. Sin lugar a dudas, se podrían hacer planes más ambiciosos, pero el aliciente de la exploración de hidrocarburos no convencionales no parece ser la vía más correcta y a la puramente científica raramente se le abren tales posibilidades.

Se han ensayado métodos eléctricos con resultados tremendamente prometedores (Pous et al. 1995) y que requieren despliegues menos onerosos que la sísmica de reflexión. Posiblemente campañas combinadas de sísmica de refracción o de gran ángulo tienen futuro.

En todo caso, la "pluridisciplinariedad" parece ser una característica del futuro de la investigación geológica (y no solo en el ámbito pirenaico, por supuesto), al efecto de compensación de la creciente especialización de los investigadores.

## SISMICIDAD Y PELIGROSIDAD SÍSMICA

La auscultación sísmica que realizan las redes de observatorios del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y del *Réseau de Surveillance Sismique des Pyrénées* (RSSP) comienza con

el registro y procesado de la actividad sísmica a escala global, que se expone en la red “en tiempo real”. El procesado informático de los datos de los eventos incluye la determinación de las coordenadas del epicentro, intensidad, profundidad del foco, mecanismo focal y estimación de la magnitud. La información recogida por los observatorios contribuye al funcionamiento y desarrollo de los sistemas de alarma por actividad sísmica o volcánica y tsunamis, todo ello potenciado por la vertiginosa expansión de internet a partir de los años noventa. A escala pirenaica, la auscultación sísmica es especialmente relevante por la existencia de la banda sismogénica que se extiende a lo largo de la banda del entorno de la falla norte-pirenaica, especialmente el entorno de Arette, Arudy, Bagnères de Luchon. Del lado español la actividad sísmica es algo más moderada, pero notable en los entornos de la falla de Pamplona y de la fosa de Cerdaña, y tiene especial relevancia la auscultación de la sismicidad inducida (anticipada en algunos foros) por el llenado de grandes embalses (Casas-Sainz 2005, García-Mayordomo y García-Arévalo, 2011, García Sansegundo 2014).

## PALEOMAGNETISMO Y FÁBRICAS MAGNÉTICAS

La disponibilidad de máquinas ligeras para la extracción de muestras estandarizadas y orientadas tiende a minorar los trabajos de análisis estructural en afloramiento en favor de la determinación de los marcadores de petrofábrica magnética o vectores magnéticos tras complejas rutinas de laboratorio. La mayor ventaja de las estaciones de paleomagnetismo respecto a las de análisis estructural clásico es que por lo general se pueden ubicar en posiciones adecuadas para el estudio de estructuras mayores, mientras que para una estación de análisis estructural clásico la calidad del afloramiento está más condicionada por la presencia de estructuras adecuadas y accesibles.

En la actualidad la densidad de estaciones de paleomagnetismo efectuadas en la vertiente sur-pirenaica es considerablemente alta (tal vez una de las más altas del mundo), pero a efectos de investigación magnetotectónica aún están muy limitadas a las estructuras más representativas y accesibles.

En magnetoestratigrafía se tiene información muy detallada de tramos de series estratigráficas que contienen eventos importantes (p. ej. el límite Paleoceno-Eoceno), pero aún son solo una escasa muestra de las enormes posibilidades que ofrece la Cadena Pirenaica.

## INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA DE CAMBIOS CLIMÁTICOS

El registro geológico contiene pruebas de cambios ambientales debidos a distintas causas. La estratigrafía de alta resolución, geoquímica de isótopos y paleomagnetismo han empezado a dar buenos resultados en Pirineos, en sedimentos de lagos actuales (Lewis et al. 2009 a, Lewis et al. 2009 b, Valero-Garcés y Moreno 2011, Oliva-Urcia et al. 2013 y 2018 b), en series sedimentarias cenozoicas (Pujalte et al. 2003, Pujalte et al. 2009, Robador et al. 2009, Molina 2015, Oliva-Urcia et al. 2018 a, Robador et al. 2018), en el Cretácio Inferior (Alonso et al. 2005), o en el tránsito del Carbonífero al Pérmico (Gretter et al. 2015) y abren un campo prometedor.

## DATAACIONES DE SUPERFICIES POR ISÓTOPOS COSMOGÉNICOS

El tiempo que lleva una roca expuesta en superficie puede estimarse por la proporción de radionucleidos generados en los componente minerales por la exposición al bombardeo de partículas (generalmente neutrones) procedentes de la interacción de la radiación cósmica primaria (protones, partículas alfa de alta energía) con los átomos de los gases atmosféricos a baja altura. Por ejemplo, en una roca con granos de cuarzo bombardeados por neutrones se produce  $^{10}\text{Be}$  y  $^{26}\text{Al}$  a partir del O y el Si respectivamente. Las determinaciones no son sencillas, pero si posibles y los resultados prometedores. En Pirineos se ha aplicado en dataciones de superficies expuestas tras el retroceso de glaciares (Pallàs et al. 2006, Rodés 2008, Pallàs et al. 2010, . . .).

## TERMOCRONOLOGÍA: TRAZAS DE FISIÓN Y DATACIÓN ISOTÓPI-CA

El método que esencialmente permite determinar el tiempo transcurrido entre el momento en que un mineral marcador (apatito, circón, esfena, ciertos vidrios volcánicos) se enfrió por debajo de la “temperatura de cierre” y el momento actual (Tagami y O’Sullivan 2005). Ello es posible estudiando la densidad de trazas de fisión que deja en el retículo cristalino del mineral la desintegración natural de los átomos radiactivos (U 238 contenido como componente accesorio en el mineral), marcas que solo se conservan cuando el mineral portador se mantiene debajo de dicha temperatura. Las rutinas de laboratorio son considerablemente complejas (Fleischer et al. 1965, Reiners y Ehler 2005), pero la fiabilidad de los resultados es muy buena y abre posibilidades insospechadas de determinar algunos



aspectos de la historia de las rocas, incluso de las que han desaparecido a causa de la erosión (Yelland 1990, Fitzgerald et al. 1999, Beamud et al. 2011, Filleaudeau 2011).

## Conclusiones

“El conocimiento geológico de los Pirineos es paralelo al progreso de la geología en formación”, afirma Santanach (2015) refiriéndose a la época de los neptunistas y de los primeros mapas geológicos, en los siglos XVIII y XIX. Tal sentencia puede extenderse hasta la actualidad exceptuando serios vaivenes que van desde el abandono casi absoluto por circunstancias de guerras y posguerras a momentos brillantes con detalles de relevancia mundial.

En los últimos cincuenta años, en investigación geológica, el Sur ha pisado el acelerador para atrapar (o al menos no perder) el Norte.

La Cadena Pirenaica contiene ejemplos incomparables de estructuras, yacimientos, formaciones, . . . bien expuestos y fácilmente accesibles para la investigación, divulgación y, muy especialmente, para docencia universitaria de distintas especialidades, sobre los que concurren numerosas actividades internacionales.

La creciente buena disposición de la población, las autoridades y las instituciones y ante la valoración del patrimonio geológico y la geodiversidad ofrece oportunidades a la investigación y comunicación de resultados de la misma.

Tras un esquema tan simplista como el que acaba de ser expuesto por un observador polarizado hacia la “geología estructural” y temeroso de que se manifieste “*la incoherencia que en las personas viejas y lelas pasa a veces por sabiduría*” (Eduardo Mendoza, La ciudad de los prodigios), la imagen geológica que se presenta está deformada y mutilada, así que está justificado añadir a partir de aquí unos breves apuntes inconexos para hacer referencia a aspectos seductores, atractivos, motivadores de investigaciones geológicas en otras materias, mezclados con temas del glosario geológico que tienen valores excepcionales en Pirineos.

## Apuntes inconexos sobre otros aspectos seductores

### GEOMORFOLOGÍA

Bajo este epígrafe habría que hacer alusión a temas diversos. Sin duda entre todos ellos son destacables los relacionados con la glaciología, como los que se refieren a **formas y depósitos glaciares** (Alastrué et al. 1957, Montserrat Martí y Vilapana 1987, Martí Bono y García Ruiz 1994, García Ruiz et al. 1996, Martí Bono 1996, Copons y Bordonau 1997, García Ruiz et al. 2001, Peña et al. 2004, Sancho et al. 2011, García Ruiz et al. 2012, Belmonte 2017. . .) o al presente y futuro de los glaciares actuales (Serrano Cañadas 1991, Biarge 2002, Rodés 2008, San Román y Piedrafita, 2009, 2018. . .); a **dinámica fluvial** con las formas y depósitos relacionados (Peña et al. 1983, Rodríguez Vidal 1986, García Ruiz et al. 1996, Lewis et al. 2009 b); **aguas subterráneas y aguas termales** (Albert Beltrán 1982, Sanchez Navarro 1988, Cuchí et al. 2003 Faci Paricio 2010 entre muchos otros); el **karst**, en sus formas de superficie y muy especialmente las subterráneas, como por ejemplo en entorno de la sima de la *Pierre Saint Martin*, las cuevas de *Mas-d’Azil*, *Cangas*, *Canalettes*, Chaves, y un largo etcétera, incluyendo el interés arqueológico, con ajuares o arte parietal, añadido al del propio karst (Tazieff 1952, López Martínez 1986, López Martínez et al. 1984, A. R. S. I. P. 1985, . . .)

### PALEONTOLOGÍA Y PATRIMONIO PALEONTOLÓGICO

Considerando que en la cadena pirenaica están representados terrenos sedimentarios de edades comprendidas entre el Cámbrico y la actualidad y que la paleontología, bajo alguna de sus facetas, es la especialidad cultivada desde tiempos más remotos, se puede contar con un bagaje inmenso de piedra y de imprenta, de museo y de biblioteca, de centro de interpretación y de folleto, de fotografía y multimedia, etc. (Liñán y Rubio 2001, Rubio Millán et al. 2004, Colectivo de Educación Ambiental S. L. 2018, . . .)

Como ejemplos llamativos de grupos representados en los Pirineos se deben mencionar los conodontos (García-López et al. 1990, Valenzuela-Ríos 1994, Valenzuela-Ríos y Carls 1996, Valenzuela-Ríos y Sanz-López 2002) y los Phacobs (Villalta y Rosell, 1969) del Devónico de la Poble de Segur y Gerri de Sal, la variada flora del Carbonífero (Gómez-Alba 2007), los braquiópodos del Lías de ambas vertientes y los del cretácico superior de la vertiente sur (Dubar 1931, Calzada 1974, 1981, Comas et al. 1989), las variadas fauna y flora de las calizas litográficas del Cretácico inferior de la Sierra del Montsec (Vidal 1902, Sauvage

1903, Ferrer Condal 1951, Bataller Calatayud 1953, Rosell y Llompart 1988, Lacasa 1981, 1989, Martínez-Delclòs 1991, Calzada Badía y Gómez Pallerola 1993, . . . ), los artrópodos excepcionalmente conservados en el ámbar del Aptiense y Albiense de Álava y Burgos (Alonso 1999, Martínez-Torres et al. 2003, Alonso et al. 2005, Martínez-Torres et al. 2011), los corales del Cretácico Superior meridional (Mallada 1892, Bataller Calatayud et al. 1953), los rudistas (Vidal 1877, Douvillé 1889, Ciry 1940, Bataller 1949, Pons 1977 y 1982), los dinosaurios del final del Cretácico (Lapparent y Aguirre 1956 y 1957, Lapparent 1959, Llompart et al. 1984, Casanovas et al. 1987, López-Martínez et al. 2001, Canudo 2014, Rivas et al. 2017, Colectivo de Educación Ambiental S. L. 2018, . . . ), diversos grupos de foraminíferos bentónicos del Cretácico y del Cenozoico (Mangin 1960, Hottinger 1960, Caus 1974, Caus et al. 1988, Tosquella y Samsó 1996, Tosquella y Serra-Kiel 1996, Pujalte et al. 2000, Rodríguez Pintó et al. 2012), los crustáceos decápodos del Eoceno (Vía Boada 1969), los Sirenia del Eoceno (Pilleri et al. 1989, Astibia et al. 2006, Díaz-Berenguer et al. 2018), la variada fauna del Eoceno Superior de de Sossís y Zambrana (Crusafont 1965, Cuenca 1998, Casanovas 1998, Casanovas et al. 1998, López-Martínez et al. 1998, Badiola et al. 2005) o el ambiente en que vivió el oso cavernario (Torres 1984, Torres et al. 1998, Canudo y Cuenca Bescós 2006, Villaluenga 2015), todos ellos entre un sin-número de grupos del dominio de los especialistas.

## MINERALES Y MINAS

La actividad extractiva de recursos minerales se ha reducido extraordinariamente desde el último cuarto del siglo pasado, en unos casos por agotamiento del recurso, en otros por falta de rentabilidad o por incompatibilidades con los criterios de calidad ambiental. Actualmente, dejando aparte la extracción de áridos (calizas, basaltos, y gravas fluviales) la actividad minera es muy escasa o casi nula tanto en recursos energéticos, como metálicos e industriales. La mina de magnesita de Eugui en el Pirineo Navarro (Ruiz de Gaona, 1956) tiene actividad reciente y es famosa por los fantásticos cristales de dolomita que ocasionalmente lleva asociados y que se han distribuido “a todos los museos y colecciones importantes del mundo” (Calvo et al. 1993, Calvo 2012). También se mantiene actividad en algunas extracciones de arcilla y materiales de construcción, a la que se puede sumar la extracción de salmueras para mantener salinas activas, con más interés turístico que propiamente minero (Añana, Salinas de Oro, Naval, Gerri de Sal. . . ).

Pese al abandono casi absoluto de la actividad minera, hay que valorar adecuadamente el patrimonio geominero, sea cual sea su estado y desde distintos puntos de vista: histórico,

tecnológico, didáctico y geoturístico. Por ejemplo, las minas de carbón de Surroca-Ogassa (Gómez Alba 2007), Erillcastell, Peramera (Vidal 1875, Dalloni 1913), y un largo etcétera, que además del mineral dieron a la ciencia una gran aportación al conocimiento de la flora del Carbonífero. Así mismo las extracciones de lignitos del Cretácico Inferior del entorno de Berga han dejado importantes restos patrimoniales; entre ellos, las capas con icnitas de dinosaurios de Fumanya (Figols de Vallcebre), sacadas a la luz por las explotaciones a cielo abierto, y los vertebrados de las minas de lignito del Eoceno superior del entorno de La Pobla de Segur (Sosís, Clavero, Roc de Santa), especialmente restos de reptiles, pero también mamíferos (Crusafont et al. 1956, Crusafont et al. 1963), incluidos restos de primates (Minwer-Barakat et al. 2018). Incluso la “mina de petróleo” de Riutort (Guardiola de Berguedà), y el horno artesanal de destilación de pizarras bituminosas que funcionó entre 1906 y 1916, tras largo tiempo de olvido, empiezan a tener el reconocimiento de valor patrimonial (Ajuntament de Guardiola de Berguedà, en línea).

En el mismo sentido es especialmente importante lo que queda reconocible de minería del hierro del País Vasco, que tuvo una enorme incidencia en la historia industrial y social en los siglos XIX y XX, del entorno de Bilbao. Las concentraciones de Fe en el metalotecto de las calizas del Aptiense (Gil Crespo et al. 1992), producidas por enriquecimiento hidrotermal acendente y metasomatismo formaron “uno de los yacimientos más famosos del mundo” (Ortiz Ramos y Perconig 1975). En gran parte los yacimientos fueron explotados en arriendo por las compañías extranjeras como “*Orconera Iron Ore C.º . Ltd.*” de Londres (desde 1873) y la “*Compagnie Franco-Belgue des Mines du Somorrostro*” (desde 1875), desarrollando un tremendo entramado de extracciones, ferrocarriles mineros, muelle, cargaderos, tranvías aéreos, plantas de concentración, hornos, balsas de decantación (con accidente grave por rotura en 1964 –Pérez Goicoetxea 2003–), etc. Todo ello formaba parte del ambiente periurbano del gran Bilbao hasta bien avanzado el siglo XX.

Además de las grandes concentraciones de minerales de hierro, principalmente siderita y hematites, también se explotaron concentraciones de sulfuros (Pb-Zn) en el mismo metalotecto del tramo carbonático del Aptiense, por ejemplo en la mina Troya, en el domo de Mutiola, en Ormaiztegui (Ojembarrena San Martín et al. 1992). Más al oeste, en Reocín, también se ha extraído esfalerita, galena y otros sulfuros metálicos (Ramírez del Pozo 1976).

En el Paleozoico de la Zona Axial ha habido distintas experiencias mineras; algunas de ellas importantes y duraderas, cuyos ya escasos restos tienen interés patrimonial desde varios de los aspectos ya mencionados. Por ejemplo, el complejo minero de Parzán con

numerosas mineralizaciones hidrotermales de sulfuros y también cierta presencia de fluorita (Fanlo et al. 1998), La *Société des Mines de Parzan (Espagne)* concentraba el producto de labores dispersas en el lavadero del Hospital de Parzán para luego ponerlo accesible al ferrocarril más próximo, lo que se conseguía con un sistema de cables que llevaban las vagonetas de 300 kg de mineral hasta Pont du Moudang, unos 12 km al norte, salvando los 1000 m de desnivel que separan el Hospital (1450 m) y el Puerto de Salcorz (2464 m). Para el servicio de las minas también se construyó una pequeña central hidroeléctrica sobre la que recientemente se ha construido otra nueva. Ciertas partes de la vieja central y de las instalaciones del cable son todavía reconocibles aunque la naturaleza y las obras de la nueva central se apoderan de ellas.

En el Valle de Tena, en el entorno de Sallent y en Yenefrito, cerca de Panticosa, ha habido pequeñas labores sobre mineralizaciones de Pb-Zn, al igual que en Benasque. En el valle de Arán también quedan importantes indicios (Ovejero Zappino 1992), restos y ruinas de extracciones, lavaderos y cargaderos de minera, por ejemplo, la mina Victoria, en el término de Arrés, cerca de Bossost (Bascompte et al. 2003).

Una peculiaridad de la minería pirenaica puede considerarse la prospección y extracción de moderadas cantidades de cobalto motivadas por la escasez y alto precio de este metal que, a mediados del siglo XX, desencadenó un fenómeno comparable a la “fiebre del oro”. Se extrajo mineral con moderado éxito por ejemplo en las minas de Yerri, en el entorno de San Juan de Plan, junto con cierta cantidad de Ni (Calvo et al. 1988) y en la mina Solita de Peramea (Bascompte et al. 2003).

También son importantes por su singularidad algunas mineralizaciones de la banda más meridional de la Cadena, cerca del frente de las Sierras Exteriores-Sierras Marginales. Por ejemplo tienen interés, aunque su extracción no satisfizo las expectativas de rentabilidad, los cobres de Biel emplazados en forma de carbonatos, sulfuros y Cu nativo (Calvo Rebollar 2003, Romero Ortíz 1933, Subías, 1989), en areniscas plegadas, probablemente del Oligoceno, del flanco sur de la Sierra de Salinas, o las concentraciones de óxidos de manganeso (pirolusita) en las arenas de la base de la transgresión del Cretácico Superior de las inmediaciones de Estopiñán (Mata Perelló 1990), donde se conserva un castillete sobre un pozo de una pequeña mina de interior. Por cierto, que en ocasión de la construcción del tramo Zaragoza-Barcelona del AVE, se abrió una cantera de ofitas en uno de los numerosos cuerpos de ofita de las inmediaciones de Estopiñán, y estas ofitas a parte del interés para balasto ferroviario, también cuentan alto interés mineralógico (Amigó et al. 1987, Besteiro et al. 1982, 1986, Lago San José 1980). También son significativas las con-

centraciones de bauxita de las Sierras Marginales en Els Coms, Mont-Roig y Serra Boada (Ríos y Almela 1950, Almela y Ríos 1953), que ocupan bolsadas kársticas desarrolladas en el Cretácico Inferior sobre calizas y dolomías del Jurásico medio, que estuvo emergido antes de la llegada de la transgresión del Cretácico Superior.

Una última curiosidad mineralógica con interés en lo concerniente a desarrollo turístico y lúdico-deportivo la constituyen los placeres auríferos del río Segre. Se conocen al menos desde el s X, según se recoge en las crónicas de Isa ben Ahmed Arrazi (Calvo Rebollar 2003) y se presentan en forma de escamillas diminutas en el sedimento de los remansos del cauce, y también se conoce su presencia en las graveras de las terrazas que se extienden cuando el río sale de los estrechos de las Sierras para extenderse en los llanos de la cuenca terciaria, entre Camarasa y Balaguer. En tiempos recientes en Balaguer se ha instalado el “Centre d’Interpretació de l’Or del Segre” en el marco del Museu de la Noguera, donde se documenta sobre la historia del conocimiento y aprovechamiento del oro, y se organizan sesiones de batea en una pila del Centro y también en el río (Ciutat de Balaguer en línea, Bascompte et al. 2003, Viladevall Solé en línea).

## PATRIMONIO GEOLÓGICO, ACTIVIDADES DIVULGATIVAS Y “GEO-TURISMO”

La valoración de la geodiversidad y el patrimonio geológico es una responsabilidad a asumir y difundir por quien se relaciona con cualquier actividad geológica, especialmente con las que están más ligadas al territorio y sus pobladores. Es un tema que va tomando calado en autoridades e instituciones (p. ej. Portero García et al.). En este sentido, respaldo de la UNESCO a la Red de Geoparques da una gran solidez a esta faceta. Las actividades formativas y divulgativas de los geoparques y Parques Nacionales tienen una gran incidencia en este sentido (García Ruiz y Martí Bono 2001, Belmonte Ribas 2003, Martínez de Pisón 2004, Martínez Rius 2010, Robador et al. 2013, ...).

Los inventarios de Lugares de Interés Geológico (LIGs) y el estudio de posibles figuras de protección es una forma civilizada de contribuir a conocer y mantener la geodiversidad. Los “Geosites” dan realce y visibilidad a los lugares de importancia geológica de relevancia internacional (Carcavilla y Palacio 2010).

Las actividades de divulgación de temas geológicos están en expansión prometedora de buen futuro, en especial las actividades ligadas al reconocimiento del terreno (p. ej. Belmonte et al 2009). Iniciativas de carácter desinteresado, como los “Geolodías”, desde su

creación y sesión inaugural en Teruel (2005) registran participación creciente año tras año (Crespo-Blanc et al. 2011). También surgen actividades “geoturísticas” de iniciativas particulares, de centros de interpretación de la naturaleza con buena concurrencia (museo de los Dinosaurios de Arén, Museo paleontológico de Lamata, Parc Cretaci de la Conca Dellà,...) o de los Geoparques (especial mención merece, en ambiente pirenaico, el Geoparque de Sobrarbe / [www.geoparquepirineos.com](http://www.geoparquepirineos.com)). La edición de guías y folletos de carácter divulgativo con versiones electrónicas cada vez más accesibles a todos los públicos también está en expansión y los parques nacionales dan buen ejemplo (Martínez Rius et al. 2010, Roda Martínez et al. 2011, Robador Moreno et al. 2013, etc.). La información “in situ” con instalación de paneles explicativos estimula la valoración de objetos de interés geológico. El recién reconocido Geoparque de Tremp-Montsec ([www.projectegeoparctrempmontse.com/es/](http://www.projectegeoparctrempmontse.com/es/)) también se organiza en torno a la puesta en valor elementos patrimoniales que ya se han mencionado, muy especialmente los relacionados con la paleontología. La Ruta Geológica Transpirenaica es buen ejemplo de los esfuerzos aplicados a este objeto (GéolVal y GeoAmbiente 2008). La introducción de los “códigos QD” instalados en puntos estratégicos, permite el acceso inmediato a la aplicación en internet que conduce a la correspondiente guía o información complementaria de forma menos invasiva del paisaje que los paneles convencionales.

## INSTITUCIONES

Llegados a este punto de las notas inconexas habría que dejar espacio para expresar reconocimiento a las instituciones que de alguna manera dedican atención y apoyo a los estudios pirenaicos y muy particularmente a las que no son comisiones ministeriales, universidades, organismos públicos de investigación u otros entes cuya existencia lleva implícita la labor de producir, gestionar o apoyar de una forma u otra la labor de investigación en ciencias básicas. Vaya un especial reconocimiento a las organizaciones locales que generalmente disponiendo de recursos modestos ponen entusiasmo, atención y medios al alcance de iniciativas aventureras. Ante el temor de dar pie a agravios comparativos por los olvidos momentáneos, llegue este sincero agradecimiento a todo ente implicado.

## Bibliografía

- Acín Fanlo J. L. 2000. *Tras las huellas de Lucien Briet: Bellezas del Alto Aragón*. Prames, Zaragoza, 396 p.
- Ager D., 1995. *The New Catastrophism: The importance of the rare event in geological history*. Cambridge University Press. Cambridge, 231 p.
- Alastrué E., A. Almela y J. M. Ríos, 1957. *Explicación al mapa geológico de la provincia de Huesca, escala 1:200.000*. Memorias del Instituto Geológico y Minero de España, 58: 253 p.
- Albert-Beltrán J. F., 1982. Los manantiales termales del Pirineo catalán. *Pirineos*, 116:79-88.
- Almela A., 1954. Las investigaciones petrolíferas en la vertiente surpirenaica. *Pirineos*, 31-32: 239-252.
- Almela A., J. M. Ríos, 1943. Contribución al conocimiento de la zona sub-pirenaica catalana.- 2ª parte. Las edades de los yesos del Eoceno catalán y algunas observaciones sobre la estratigrafía del mismo. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 56: 391-452.
- Almela A. y J. M. Ríos, 1946. Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 16: 75-87.
- Almela A. y J. M. Ríos, 1947. *Explicación al mapa geológico de la provincia de Lérida (escala 1:200.000)*. Instituto Geológico y Minero de España, 193 p.
- Almela A. y J. M. Ríos, 1950 a. *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja nº 247 (Ayerbe)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 50 p.
- Almela A., J. M. Ríos, 1950 b. *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja nº 249 (Barbastro)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 58p.
- Almela A., J. M. Ríos, 1952. Estudio geológico de la zona surpirenaica aragonesa y sus sierras marginales. *Actas del Primer Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos. San Sebastián 1950. Instituto de Estudios Pirenaicos*. Zaragoza 2 (1): 327-350.
- Almela A., J. M. Ríos, 1953. *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja nº 328 (Artesa de Segre)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 123 p.
- Alonso J., 1999. El yacimiento de ámbar cretácico de Peñacerrada (Álava). Una extraordinaria prueba de acceso al Aptiense (112-114 Ma). *PH Boletín*, 29: 142-147.
- Alonso J., J. C. Corral, L. M. Martínez Torres, 2005. Los yacimientos ambarígenos del Cretácico Inferior de Sierra Cantabria (Peñacerrada, Álava). *La vida y los ambientes en el Periodo Cretácico* (G. Meléndez, M. Moreno-Azanza, eds.). Seminario de Paleontología, Zaragoza: 81-142.
- Amigó J. M., J. Bastida, M. Lago, A. Pocoví, A. Sanz y J. Soriano (1987): Estudio de la influencia térmica del emplazamiento de doleritas (ofitas) en el área de Estopiñán (Huesca – Lérida) en los sedimentos triásicos encajantes. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 11: 83-96.
- Anastasio D. J., 1993. Structural evolution of the External Sierras, Southern Pyrenees, Spain. *The Structural geology of fold and thrust belts* (S. Mitra, G. W. Fisher, eds.). Johns Hopkins University Press, Baltimore: 239-251.
- Anastasio D. J., J. E. Holl, 2001. Transverse fold evolution in the External Sierras, Southern Pyrenees, Spain. *Journal of Structural Geology*, 23: 379-392.



- Anastasio D., J. M. Parés, K. P. Kodama, J. Troy, E. L. Pueyo, 2015. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) records synsedimentary deformation kinematics at Pico del Aguila anticline, Pyrenees, Spain. *Geological Society, London, Special Publication*, 425: 129-144.
- Angelier J., P. Mechler, 1977. Sur un methode graphique de recherche des contraintes eglement utilisable en tectonique et en seismologie: la methode des dièdres droits. *Bulletin de la Société Géologique de France (7e)*, 19 (6): 1309-1318.
- Angelier J., S. Manoussis, 1980. Classification automatique et distinction des phases superposes en tectonique de failles. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences*. Paris, 290 (D): 651-654.
- Aragonés Valls E., 1999. La Société Geologique de France a Catalunya (setembre-octubre de 1898). *Treballs del Museu Geologic de Barcelona*, 8: 113-155.
- Aragonés Valls E., 2013. Los primeros mapas geológicos de España de Édouard de Verneuil (1850-1855). *Boletín Gelógico y Minero*, 124 (1): 21-39.
- Aragonés Valls E., 2017. Un epistolario inédito de Lucas Mallada: las cartas a Luis Mariano Vidal y Carreras (1873-1902). *Treballs del Museu Geologic de Barcelona*, 23: 27-102
- Arenas C., G. Pardo y J. Villena, 1990. Las unidades tectosedimentarias del margen septentrional de la depresión del Ebro en el sector de Luesia-Riglos (Provincias de Zaragoza y Huesca. *Geogaceta*, 8: 92-94.
- Arenas C., H. Millán, G. Pardo y A. Pocoví, 2001. Ebro Basin continental sedimentation associated with late compresional pyrenean tectonics (NE Iberia): controls on margin fans and alluvial systems. *Basin Research*, 13 (1): 65-89.
- Arranz E., 2007. La Zona Axial: Configuración pre-varisca y evolución posterior. *La geología de los Pirineos: un laboratorio natural para la investigación geológica* (E. Arranz Yague, dir.). Cursos de verano. Jaca. Universidad de Zaragoza: 5-10
- Arranz E., M. Lago, 2004. El plutonismo sin- y tardi-varisco en los Pirineos. *Geología de España* (J. A. Vera, ed. pral.). Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico de España, Madrid: 236-266.
- Arruga Laviña M. V., J. A. Merín Velázquez, J. P. Martínez Rica, M. L. Peleato Sánchez. C. Sánchez Acedo, E. Eustoquio Molina, 2016. Capítulo 4. Sección de Naturales. (Parte II. Contribución de la Academia de Ciencias a la Ciencia en Aragón). En: *Academia de Ciencias de Zaragoza. Un siglo al servicio de la sociedad*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza: 261-308.
- A.R.S.I.P. (Association International de Recherches Spéleologiques Internationales de la Pierre Saint Martin), 1985. Le Karst de la Pierre Saint Martin en quelques chiffres (Pyrénées-Atlantiques France et Navarre Espagne). *Karstología*, 6: 2-6.
- Arthaud F., 1969. Méthode de détermination graphique des directions d'allongement, de raccourcissement et intermédiaire d'une population de failles. *Bulletin de la Société Géologique de France (7e)*, 11: 729-737.
- Arthaud F., M. Mattauer, 1969. Sur les décrochements NE-SW sénestres contemporains des plis pyrénéens du Languedoc. *Compte Rendu sommaire de la Société Géologique de France*, 1969 (8): 290.

- Arthaud F., P. Matte, 1977. Synthèse provisoire sur l'évolution tectonique et les raccords entre les segments hercyniens situés autour du bassin nord baléare (sud de la France, Espagne, bloc corso-sarde). *Éditions du CNRS*, 243: 497-513.
- Ashauer H., 1943. La terminación oriental de los Pirineos. Traducción por J. M. Ríos de "Die östliche Endigung der Pyreäen". *Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse* (3), 10: 1285-1393 (1934), *Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España*, (C. S. I. C.), 2: 201-236.
- Astibia H., X. Pereda Suberbiola, N. Bardet, A. Payros, A. Berreteaga, A. Badiola, 2006. Nuevos fósiles de sirenios en el Eoceno medio de la Cuenca de Pamplona (Navarra). *Revista Española de Paleontología*, 21 (1): 79-91.
- Aubouin J., 1959. A propos d'un centenaire: les aventures de la notion de Géosynclinal. *Revue de Géographie physique et Géologie dynamique (2e)*, 2 (3): 135-188.
- Aubouin J., 1965. *Geosynclines*. Elsevier Publ. Co, Amsterdam, 352p. [ISBN: 9781483274935]
- Ausejo E., M. Gasca, R. Navarro, J. S. Urieta, 2016. Parte I. 100 Años de Historia de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza (1916-2015). *Academia de Ciencias de Zaragoza. Un siglo al servicio de la sociedad*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza: 1-130.
- Autran A., J. Carreras, M. Durand-Delga, B. Laumonier, 1996. Le Cycle Hercinien dans les Pyrénées. Réflexions géodinamiques finales. En: *Synthèse géologique des Pyrénées, vol. 1, Introduction. Géophysique. Cycle Hercynien* (A. Barnolas, J. C. Chinon, eds.). Edition BRGM – ITGE, Orleans – Madrid: 679-693.
- Ayala-Carcedo F. J., A. Perejón, L. Jordá, O. Puche, 2005. The XIV International Geological Congress of 1926 in Spain. *Episodes*, 28 (1): 42-47.
- Ayala-Carcedo F. J., A. Perejón, O. Puche, L. Jordá, 2006. El XIV Congreso Geológico Internacional de 1926 en España. *Boletín Geológico y Minero*, 116 (2): 173-184.
- Azambre B., M. Rossy, M. Lago, 1987. Caractéristiques pétrologiques des dolerites tholéitiques d'âge triassique (ophites) du domain pyrénéen. *Bulletin de Minéralogie*, 4 (110): 379-396.
- Babin C., 2005. Eduouard de Verneuil (1805-1873), un pionnier de la biostratigraphie du Paléozoïque. *Travaux du Comité français d'histoire de la géologie –COFRHIGEO– (3e)*, 19.  
[www.annales.org/archives/cofrhigeo/de-verneuil.html](http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/de-verneuil.html)
- Badiola A., X. Pereda-Suberbiola, H. Astibia, M. A. Cuesta, A. Berreteaga, J. Elorza, N. Etxebarria, 2005. An overview en the Taphonomy and Paleoecology of the Upper Eocene continentl vertebrate fossil assemblage from Zambrana (Álava, Basque-Cantabrian Region) *2nd International Meeting Taphros-05, 4ª Reunión de Tafonomía y Fosilización*, Barcelona: 95-96.
- Balcells E., 1981. Fundación y desarrollo del Instituto de Estudios Pirenaicos. *Llull*, 4: 5-19.
- Balcells E. (dir.), 1983. *Instituto de Estudios Pirenaicos (1942-1982) 40 años al Servicio de la Ciencia y la Cultura pirenaicas*. Instituto de Estudios Pirenaicos (C.S.I.C.), Jaca: 38 p.
- Banda E., P. Santanach, 2008. The Valencia trough (western Mediterranean): An overview. *Tectonophysics*, 208 (1-3): 183-202.

- Barnadas i Rodríguez R., 2017. La fotografía de altura de Lluís Marià Vidal i Carreras (1842-1922). En: *I Jornadas sobre Investigación en Historia de la Fotografía* (J. A. Hernández Latas, ed). Institución Fernando el Católico, Zaragoza: 373-384.
- Barnolas A., A. Teixell, 1994. Platform sedimentation and collapse in a carbonate-dominated margin of a foreland basin (Jaca basin, Eocene, southern Pyrenees). *Geology*, 22: 1107-1110.
- Barnolas A., I. Gil Peña, 2001 a. Ejemplos de relleno sedimentario multiepisódico en una cuenca de antepaís fragmentada: La Cuenca Surpirenaica. *Boletín Geológico y Minero*, 112 (3): 17-38.
- Barnolas A., I. Gil Peña, 2001 b. Estructura secuencial del relleno sedimentario de la cuenca de antepaís surpirenaica y su relación con la evolución del orógeno. *Geotemas*, 2: 37-41.
- Barthélémy A., 1879. Éloge de M. Leymerie. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse* (8), 1: 15-26.
- Bascompte F., E. Vall, C. C. Fernández, M. Puiguirguer, R. Serra, A. Ruiz, J. M. Mata, 2003. *El patrimoni miner de Catalunya*. Direcció General d'Energia i Mines. Generalitat de Catalunya, Barcelona, 91 p. [ISBN : 84-393-6291-9]
- Bataller J. R. 1949. Sinopsis de las especies nuevas del Cretácico de España. Pars VIII – Mollusca. *Anales de la Escuela de Peritos Agrícolas y de Especialidades Agropecuarias*, 6: 2-186.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/39130875.pdf>
- Bataller Calatayud J. R., V. Masachs Alavedra, A. de Gálvez Cañero y González Luna, 1953. *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 290 (Isona)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 113 p.
- Beamud E., J. A. Muñoz, P. G. Fitzgerald, S. L. Baldwin, M. Garcés, L. Cabrera and J. R. Metcalf, 2011. Magnetostratigraphy and detrital apatite fission track thermochronology in syntectonic conglomerates: constraints on the exhumation of the South-Central Pyrenees. *Basin Research*, 23: 309-331.
- Belmonte Ribas A., 2003. *Guía geológica del Pirineo*. Ed. Pirineo, Huesca, 192 p.  
[ISBN : 978-84-8799-757-0]
- Belmonte A., 2017. Los glaciares: un recurso educativo dentro y fuera del aula. *Enseñanza de la Ciencias de la Tierra*, 25 (1): 88-94.
- Belmonte A., F. Beltrán, L. Carcavilla, A. L. Cortés Gracia, P. Coloma López, T. Moreno, J. L. Piedrafita Giménez, E. L. Pueyo Morer, J. C. Rubio y J. San Román, 2009. *Itinerarios geológicos por Aragón*. Parajes Naturales, 8. Prames. Zaragoza, 239 p.
- Benioff H., 1954. Orogenesis and deep crustal structure: Additional evidence from seismology. *Geological Society of America Bulletin*, 65: 385-400.
- Bentz A., 1950. Petróleo en Alemania. Resultados de la investigación geológica del petróleo en el Noroeste de Alemania entre los años 1931-1947 [Traducción e introducción de J. M. Ríos]. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 21: 91 -146.
- Berastegui X., M. Losantos, J. A. Muñoz, C. Puigdefàbregas, 1993. *Tall geològic del Pirineu central 1:200 000*. Servei Geològic de Catalunya, Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, 63 p.  
[ISBN : 84-393-2644-0]

- Bertrand L., 1911. Sur la structure géologique des Pyrénées occidentales et leurs relations avec les Pyrénées orientales et centrales. Essai d'une carte structurale des Pyrénées. *Bulletin de la Société Géologique de France (4e)*, 11: 122-153.
- Bertrand M., 1898. La nappe de recouvrement des environs de Marseille. *Bulletin de la Société Géologique de France (3e)*, 26: 632-652.
- Bertrand M., 1908. Mémoire sur les refoulements qui ont plissé l'écorce terrestre et sur le rôle des déplacements horizontaux (1890). *Mémoires de l'Académie des Sciences*. Paris, 60: 263 p.
- Besteiro J., M. Lago y A. Pocoví (1982): Observaciones sobre una mineralización de aerinita asociada a rocas ofíticas del área de Estopiñán (Prov. de Huesca). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 5: 43-53.
- Besteiro J. M. Lago, A. Pocoví, J. Bastida, J. M. Amigó, R. Moliner, 1986. Nuevos datos mineralógicos sobre un inclasificado aluminosilicato ("aerinita") y consideraciones sobre su atribución al grupo de las ceolitas. *Acta Geologica Hispanica*, 20 (3-4): 257-266.
- Biarge F., coord., 2002. Los glaciares pirenaicos aragoneses. Evolución. Fotografías 1880-1999. *Boletín Glaciológico Aragonés* (Número extraordinario), Zaragoza, 323 p.
- Bilotte M., 2011 a. Gaston Astre, geólogo (Toulouse 1896-1975). *Les Amis des Sciences de la Nature* (ASNAT). Museo de historia natural de Gaillac, 2 p.
- Bilotte M., 2011 b. 1912-1918 : L'aventure pyrénéenne de Charles Jacob. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 146 : 63-70.
- Biteau J.-J. et J. Canérot, 2008. Les Pyrénées et leur avant-pays d'Aquitaine et de l'Èbre. Evolution tectono-sédimentaire et caractéristiques pétrolières comparées. *Pyrénées d'hier et d'aujourd'hui* (J. Canerot, J.-P. Colin, J.-P. Platel et M. Billotte, dirs.). Atlantica, Biarritz: 81-92.
- Bixel F. et C. Lucas, 1983. Magmatisme, tectonique et sédimentation dans les fosées Stephano-Pérmiennes des Pyrénées. *Revue de Géographes Physique et Géologie Dynamique*, 24 (4): 329-342.
- Bixel F., J. Kornprobst, P. Vincent, 1983. Le Massif du Pic du Midi d'Ossau: un chaudron calco-alcalin stéphanopermien dans la Zone Axiale des Pyrénées. *Revue de Géographes Physique et Géologie Dynamique*, 24 (4): 315-328.
- Bixel F., P. Muller. D. Roger, 1985. *Carte géologique. Pic du Midi d'Ossau et haut bassin du río Gállego 1:250.000*. Institut de Géodynamique. Université de Bordeaux, 54 p.
- Boillot G., 1980. De la subduction a la collision: L'exemple des Pyrenees. *Bulletin du BRGM*, 1 (2): 93-101.
- Boillot G., 1984 a. *Geología de los márgenes continentales*. Masson S.A. Barcelona, 141 p.  
[ISBN: 84-311-0340-X]
- Boillot G., 1984 b. Some remarks on the continental margins in the Aquitaine and French Pyrenees. *Geological Magazine*, 121 (5): 407-412.
- Boillot G., 1986. Le Golfe de Gascogne et les Pyrénées. *Les marges continentales actuelles et fossiles autor de la France* (G. Boillot, ed.). Masson, Paris: 5-81.
- Boillot G., R. Capdevila, 1977. The Pyrenees: Subduction and Collision? *Earth and Planetary Science Letters*, 35: 151-160.

- Boillot G., J. Malod, 1988. The north and north-west Spanish continental margin: a review. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1 (3-4): 295-316.
- Bolós y Capdevila M., 1986. El geógrafo Luís Solé Sabarís. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 6: 29-35.
- Bourrouilh, R., 2008. L'Aquitaine et les Pyrénées : Formation et Évolution. *Pyrénées d'hier et d'aujourd'hui* (J. Canerot, J.-P. Colin, J.-P. Platel, M. Bilotte, dirs.). Atlantica, Biarritz: 55-80.
- Boyer S. E., D. Elliot, 1982. Thrust systems. *American Association of Petroleum Geologists*, 66: 1196-1230.
- Bresson A., 1902. La nappe de recouvrement des environs de Gavarnie et de Gèdre. Comparaisons des bassins crétacés des Eaux Chaudes, de Gèdre et de Gavarnie. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 134: 63-66.
- Bresson A., 1903. Étude sur les formations anciennes des Hautes et Basses-Pyrénées (thèse). *Bulletin des Services de la Carte géologique de France*, 14 (93): 45-323.
- Briet L. H. C., 1913. *Bellezas del Alto Aragón*. Diputación de Huesca, 433 p.
- Calvo Rebollar M. 2003. *Minerales y Minas de España. Volumen II: Sulfuros y sulfosales*. Museo de Ciencias Naturales de Álava. Diputación Foral de Álava, 705 p. [ISBN: 84-7821-543-3]
- Calvo Rebollar M., 2012. *Minerales y Minas de España. Volumen V: Carbonatos y nitratos. Boratos*. Museo de Ciencias Naturales de Álava. Diputación Foral de Álava, 712 p. [ISBN: 84-9506-398-0]
- Calvo M., 2013. Edouard de Verneuil, el cinabrio de Almadén y el primer mapa geológico de España. *Revista de minerales*, 2013 (1): 59-63.
- Calvo M., J. Besteiro, E. Soriano, A. Pocoví, 1988. *Minerales de Aragón*. Colección "Temas". Editorial Mira, Zaragoza, 142 p.
- Calvo Rebollar M., F. Gacón Cuello, J. M. Cavia Ortega, 1993. *Minerales de las Comunidades Autónomas del País Vasco y Navarra*. Monografías del Museo de Ciencias Naturales de Álava, 2. Vitoria-Gasteiz, 156 p. [ISBN: 84-7821-145-4]
- Calvo M., G. Calvo, A. Pocoví, M. Lago, J. Viñals, 2011. Epidot und Axinit vom Escales-Stausee, Katalanische Pyrenäen, Nordspanien. *Lapis*, 36 (5): 13-20. Font shape 'T1/cmr/bx/n' in size <16> not available
- Calzada S., 1974. *Almerarhynchia* n. gen. *virgiliana* n. sp. del Maastrichtiense de Figols, Prepirineo catalán. *Acta Geologica Hispanica*, 9: 92-97.
- Calzada S., 1981. Niveles de Braquiópodos del Lias de Camarasa. *Cuadernos de Geología* (Granada), 10: 197-211.
- Calzada Badía S., J. E. Gómez Pallerola, 1993. Un nuevo isópodo (Crustacea) de Sta. María de Meià. *Batalleria*, 4 (1991-1993): 27-30.
- Cámara P., J. Klimowitz, 1985. Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica (Cuencas de Jaca-Tremp). *Estudios Geológicos*, 41: 391-404.
- CAMPESA, 1955. Prospecciones petrolíferas realizadas por CAMPESA. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 38: 3-15.

- Cande S. C., D. V. Kent, 1992. A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 97: 13917-13951.
- Cande S. C., D. V. Kent, 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 100: 6093-6095.
- Candel-Vila R., 1952. Yacimientos petrolíferos de los Pirineos catalanes y comarcas vecinas. *Pirineos*, 26: 711-723.
- Canérot J., 2008. Les Pyrénées alpines: histoire géologique et genèse de la chaîne. *Pyrénées d'hier et d'aujourd'hui* (J. Canérot, J.-P. Colin, J.-P. Platel et M. Bilotte, dirs.). Atlantica, Biarritz: 37-53.
- Canérot J., C. Majesté-Menjoulas, Y. Ternet, 2001. La faille nord-pyrénéenne: mythe ou réalité? *Strata* (2), 37: 36 p.
- Cantos Figueroa J., 1950. Nota breve sobre las investigaciones petrolíferas en el Bajo Pirineo francés. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 20: 99-110.
- Canudo J. I. 2014. Dinosaurios tetrápodos asociados al Maastrichtiense superior (Cretácico Superior) de la provincia de Huesca. *Lucas Mallada*, 16:17-34.
- Canudo J. I., G. Cuenca Bescós, 2006. El Museo del Oso de las Cavernas de Tella (Huesca). *Naturaleza Aragonesa*, 17: 74-79.
- Carbayo A., H. F. Krause, A. Pilger, 1974- *Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja nº 90 (Valcarlos)*. Segunda serie. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 51 p.
- Carcavilla L., J. Palacio, 2010. Geosites: *Aportación española al patrimonio geológico mundial*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 231 p. [ISBN: 978-84-7840-855-9]
- Carez L., 1881. *Étude des terrains crétacées et tertiaires du Nord de l'Espagne*. F. Savy, Paris, 327 p.
- Carez L., 1889. Note sur l'existence de phénomènes de recouvrement dans les Pyrénées de l'Aude. *Bulletin des Services de la Carte géologique de la France et des Topographies subterraines*, 1 (3): 7 p.
- Carez L., 1903. *La géologie des Pyrénées françaises: Feuilles de Bayonne, Saint-Jean-pied-de Port, Orthez, Mauleon, Urdos. Fascicule 1*. Imprimerie Nationale, Paris: 1-744.
- Carez L., 1904. *La géologie des Pyrénées françaises: Feuilles de Tarbes et de Luz. Fascicule 2*. Imprimerie Nationale, Paris: 746-1230.
- Carez L., 1905. *La géologie des Pyrénées française: Feuilles de Bagnères-de-Luchon et Saint Gaudens. Fascicule 3*. Imprimerie Nationale, Paris: 1234-1917.
- Carez L., 1906. *La géologie des Pyrénées françaises. Fascicule 4*. Imprimerie Nationale, Paris: 1922-2679..
- Carez L., 1908. *La géologie des Pyrénées françaises: Feuilles de Prades, Quillan et Carcassonne, Fascicule 5*. Imprimerie Nationale, Paris: 2684-3380.
- Carez L., 1909. *La géologie des Pyrénées françaises. Fascicule 6*. Imprimerie Nationale, Paris: 3382-3899.
- Carez L., 1912. Résumé de la géologie des Pyrénées françaises. *Mémoires de la Société Géologique de France (4e)*, 2 (7), 132 p.
- Carrascosa Santiago A. V., 2004. *Católicos y científicos: José María Albareda*, por Alfonso V. Carrascosa, científico del CSIC.  
<http://www.revistaecclesia.com/catolicos-y-cientificos-jose-maria-albareda-por-alfonso-v-carrascosa-cientifico-del-csic/>

- Carreras F. J., P. del Olmo, J. M. Portero, J. Ramírez del Pozo, G. Giannini, M J. Aguilar, V. Pujalte, 1979. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 58 (Los corrales de Buelma) Segunda serie*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 38 p.
- Carreras J., 1975 a. Las deformaciones tardihercínicas en el litoral septentrional de la península de Cap de Creus (prov. Gerona, España): la génesis de las bandas miloníticas. *Acta Geologica Hispanica*, 10 (3): 109-115.
- Carreras J., 1975 b. Determinación de las relaciones angulares y de la deformación por cizalla en materiales con una heterogeneidad planar. *Acta Geologica Hispanica*, 10 (4): 141-145.
- Carreras J., 1986 a. Els granitoids hercinians i les roques filonianes associades. *Història Natural dels Països Catalans (Vol. 1. Geologia (I))* (P. Santanach, coord.). Enciclopèdia Catalana, S. A. Barcelona: 154-157.
- Carreras J., 1986 b. Les roques metamòrfiques i les roques milonítiques del Cap de Creus. *Història Natural dels Països Catalans (Vol. 1. Geologia (I))* (P. Santanach, coord.). Enciclopèdia Catalana, S. A. Barcelona: 163-167.
- Carreras J., M. Julivert, P. Santanach, 1980. Hercynian mylonite belts in the Eastern Pyrenees: an example of shear zones associated with late folding. *Journal of Structural Geology*, 2: 5-9.
- Carreras J., I. Capella, 1994. Tectonic levels in the Paleozoic basement in the Pyrenees: a review and a New interpretation. *Journal of Structural Geology*, 5 (6): 1509-1524.
- Carreras J., M. Julivert, P. Santanach, 1980. Hercynian mylonite belts in the Eastern Pyrenees; an example of shear zones associated with late folding. *Journal of Structural Geology*, 2: 5-9.
- Carreras J., P. Debat (cords.), 1996. Tectonique hercynienne. En: *Synthèse géologique des Pyrénées, vol. 1, Introduction. Géophysique. Cycle Hercynien* (A. Barnolas, J. C. Chinon, eds.). Edition BRGM – ITGE, Orleans – Madrid: 679-693.
- Carreras J. y E. Druguet, 2013. *Illustrated field guide to the geology of Cap de Creus*. Servei de Publicacions, Universitat Autònoma de Barcelona, 123 p. [ISBN: 978-84-490-3612-5]
- Carreras Suárez F., P. del Olmo Zamora, J. Ramírez del Pozo, 1979. *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Segunda serie. Hoja 109 (Villarcalvo)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 42 p.
- Casanovas L. 1998. Antecedentes de los estudios paleontológicos en el Eoceno Superior de la Poble de Segur. *Geología y Paleontología del Eoceno de la Poble de Segur (Lleida)*. (N. López, J. Civis, M. L. Casanovas, R. Daams, eds.). Universitat de Lleida, Institut d'Estudis Ilerdencs. Lleida: 41-47.
- Casanovas L., J. V. Santafé, J. L. Sanz, A. D. Buscalioni, 1987, Arcosaurios (Crocodylia, Dinosauria) del Cretácico superior surpirenaico de la Conca de Tremp (Lleida, España). *Estudios Geológicos. (Extraordinario Galve-Tremp)*: 95-110.
- Casanovas L., L. Checa, J. V. Santafé, 1998. Los perisodáctilos del yacimiento ludiense de Sosis (Cuenca Prepirenaica, Lleida, España). *Geología y Paleontología del Eoceno de la Poble de Segur (Lleida)*. (N. López, J. Civis, M. L. Casanovas, R. Daams, eds.). Universitat de Lleida, Institut d'Estudis Ilerdencs. Lleida: 235-267.
- Casas-Sainz A., 2005. Sismicidad inducida por el embalse de Itoiz. *ResearchGate*.  
<http://www.researchgate.net/publication/236487762>

- Casas A. M. y G. Pardo, 2004. Estructura pirenaica y evolución de las cuencas sedimentarias en la transversal Huesca-Olorón. *Geo-Guías*, 1: 63-96. [ISBN: 84-930160-2-0]
- Castañares L. M., S. Robles, J. M. Vicente Bravo, 1997. Distribución estratigráfica de los episodios volcánicos submarinos del Albiense-Santoniense en la Cuenca Vasco-Cantábrica (sector Guernika, Plentzia, Bizkaya). *Geogaceta*, 22:43-46
- Castellarin A., F. Lucchini, J. Rosell, P. L. Rossi, R. Satori C. Savelli. 1978. Preliminary data on Mesozoic "ophites" from the Southern Pyrenees. *Mineralogica et Petrographica Acta*, 22: 85-93.
- Casteras M., 1933. Recherches sur la structure du versant nord des Pyrénées françaises entre le Roussillon et l'Andorre. *Bulletin du Service de la Carte Géologique de la France*, 189: 1-595.
- Casteras M., R. Laffitte, 1963. Charles Jacob, 19 fevrier 1878-13 aout 1962. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7e, 5 (5): 662-694.
- Castillo Genkor A., M. Tomeo Lacrue, 1971. *Albareda fue así: Semilla y surco*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Caus E., 1974. Biostratigrafía y micropaleontología del Eoceno medio y superior del Prepirineo catalán. *Revista Española de Micropaleontología*, 7 (2): 297-316.
- Caus E., D. Rodés y L. Solé-Sugrañes, 1988. Bioestratigrafía y estructura del Cretácico Superior de Alinyà. Pirineo oriental, provincia de Lérida. *Acta Geologica Hispanica*, 23 (2): 107-118.
- Charpentier J., 1823. *Essai sur la constitution géognostique des Pyrénées*. F.- G. Levrault. Paris, 633 p.
- Choukroune P., 1974. *Structure et evolution tectonique de la zone nord-pyrénéene. Analyse de la déformation dans une portion de chaîne à schistosité subverticale*. Mémoires de la Société Géologique de France, 127, 116 p.
- Choukroune P., C. Martinez, M. Séguret et M. Mattauer, 1968 a. Sur l'extension, le style et l'âge de la mise en place de la nappe de Gavarnie (Pyrénées centrales). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Paris*, 266: 1360-1363.
- Choukroune P., M. Séguret et M. Mattauer, 1968 b. Sur quelques caractères géométriques de la nappe de Gavarnie (Pyrénées). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. Paris, 267: 2088-2091.
- Choukroune P., M. Séguret, 1973 a. *Carte structural des Pyrénées*. ELF – ERAP. Boussens, 1 carte.
- Choukroune P., M. Mattauer, 1978. Tectonique de plaques et Pyrénées : sur le fonctionnement de la faille transformante nord-pyrénéenne ; comparaison avec les modèles actuels. *Bulletin de la Société Géologique de France (7e)*, 20: 689-700.
- Choukroune P., A. Garrido, 1989. Les Pyrénées vues par ECORS, *La Recherche*, 20: 132-135.
- Choukroune P. and ECORS Pyrenees Team, 1989. The ECORS Pyrenean Deep Seismic Profile. Reflectin data and and the overall structure of an orogenic belt. *Tectonics*, 8 (1): 23-39.
- Choukroune P., F. Roure, B. Pinet, and ECORS Pyrenean team, 1990 a. Main results of the ECORS Pyrenees profile. *Tectonophysics*, 173: 411-423.
- Choukroune P., B. Pinet, F. Roure, Cazes M., 1990 b. Major hercynian thrusts along the ECORS Pyrenees. *Bulletin de la Société Géologique de France (8e)*, 6 (2): 313-320.
- CIEPSA, 1955. Labor de la Compañía de Investigación y Exploraciones Petrolíferas, S. A. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 38: 15-95.



- Ciry R., 1940. Etude géologique d'une partie des provinces de Burgos, Palencia, León et Santander. Thèse, Faculté des Sciences. Paris (1939). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 74, 519 p.
- Ciry R., P. Rat, J. P. Mangin, P. Feuillé, M. Amiot, M. Colchen, J. H. Delance, 1967. Réunion extraordinaire de la Société Géologique de France, des Pyrénées Aux Asturies (11-18 septembre 1967). *Compte Rendu sommaire de la Société Géologique de France* (1967) 2.
- Ciutat de Balaguer, en línea. [www.balaguer.cat/portal/124/](http://www.balaguer.cat/portal/124/) (30/11/2018).
- Colectivo de Educación Ambiental S. L., (2018). *Los últimos dinosaurios de Europa*. Museo paleontológico. Universidad de Zaragoza. [www.dinosauriosdearen.es](http://www.dinosauriosdearen.es)
- Collinson D. W., S. K. Runcorn, 1960. Polar wandering and continental drift-evidence from paleomagnetic observation in the United States. *Geological Society of America Bulletin*, 71 (7): 915-958.
- Colom G. 1951. Micropaleontología aplicada. Estudio del sondeo profundo de Oliana (Provincia de Lérida). *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 63: 167-218.
- Comas M. J., A. Goy, G. Meléndez, H. Millán, J. J. Navarro y A. Pocoví, 1989. Caracterización bioestratigráfica del Lías en San Felices (Extremo occidental de las Sierras Exteriores: Prepirineo). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 13: 175-184.
- Comba J. (ed.), 1983. *Libro Jubilar J. M. Ríos. Geología de España*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 3 vol.
- Copons R., J. Bordonau, 1997. El último ciclo glaciario (Pleistoceno superior-Holoceno) en el Macizo de la Maladeta (Pirineos Centrales). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 10 (1-2): 55-66.
- Cox A. V. (ed.), 1973. *Plate tectonics and geomagnetic reversals*. W. H. Freeman & Co. San Francisco, 702 p. [ISBN: 978-0-86542-313-8]
- Creer K. M., E. Irving, A.E.M. Naim, S. K. Runcorn, 1958. Palaeomagnetic results from different continents and their relation to the problem of continental drift. *Annales de Géophysique*, 14:492-501.
- Crespo-Blanc A., L. Alcalá, L. Carcavilla, J. L. Simón, 2011. Geología: origen, presente y futuro. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19 (1): 95-103.
- Crusafont M., 1965. Los mamíferos, y en especial los primates del Eoceno prepirenaico. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 78: 159-166.
- Crusafont M., J. F. de Villalta, J. Truyols, 1956. Caracterización del Eoceno continental en la Cuenca de Tremp y edad de la orogénesis pirenaica. *Actes II Congrès International d'Études Pyrénéennes. Luchon - Pau, 1954*, 2 (1): 39-53.
- Crusafont M., J. L. Hartenberger, L. Thaler, 1963. Sur les nouveaux restes de mammifères du gisement Éocène supérieur de Sosís, au nord de Tremp (Lérida, Espagne). *Comptes rendus de l'Académie de Sciences Paris*, 258: 1-3.
- Cuchí J. A., 2017. Lucas Mallada en el Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 19: 135-163.
- Cuchí J. A., M. Millán, A. Pocoví, 2003. Quelques informations géologiques sur les eaux thermales en relation avec les calcaires dans le Haut Aragon (Espagne). *Circulations Hydrothermales en Terrains Calcaires* (M. Yvroux, secr.). 10e journée technique du Comité Français de l'AIH. Carcassonne: 39-46.

- Cuenca G., 1998. Los pseudoesciuridos (Rodentia) del Eoceno Superior de la cuenca lacustre de Sossís (Pirineos). *Geología y Paleontología del Eoceno de la Población de Segur (Lleida)*. (N. López, J. Civis, M.L. Casanovas, R. Daams, eds.). Universitat de Lleida, Institut d'Estudis Ilerdencs. Lleida: 181-233.
- Dagnières M., M. Séguret et M. Specht and ECORS team, 1994. The Arzacq-western Pyrenees ECORS deep seismic profile. *Hydrocarbon and Petroleum Geology of France* (A. Mascle, ed.). European Association of Petroleum Geosciences. Special Publication (Springer-Verlag) 4: 199-208.
- Dahlstrom C. D. A., 1969. Balanced cross sections. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6 (4): 743-757.
- Dalloni M., 1910. Étude géologique des Pyrénées de l'Aragon. *Annales de la Faculté des Sciences*, Marseille, 19: 436 p.
- Dalloni M., 1913. Stratigraphie et tectonique de la région des Nogueras (Pyrénées Centrales). *Bulletin de la Société Géologique de France (4e)*, 13: 243-264.
- Dalloni M., 1914. Sur la tectonique des Pyrénées catalanes et la prétendue "nappe du Montsech". *Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Paris*, 158: 1724-1726.
- Dalloni M., 1922. *La géologie du pétrole et la recherche des gisements pétrolifères en Algérie*. Publications de la Faculté des Sciences. Alger, 329 p.
- Dalloni M., 1930. Étude géologique des Pyrénées catalanes. *Annales de la Faculté des Sciences*, Marseille, 26 (3): 373 p.
- Damotte B., 2010. L'étude de la croûte en France par les méthodes sismiques: le programme ECORS (1983-1994), *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie (3)*, 24 (3): 31-70. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00913916>
- Darder B., P. Fallot, 1926. *Excursión C -5. XIV Congreso Geológico Internacional. Madrid, 1926. Isla de Mallorca*. Instituto Geológico de España, Madrid, 125 p.
- Debon F., 1973. Les massifs granitiques de Cauterets-Panticosa. *Pirineos*, 107: 5-11.
- Debon F., 1980. Genesis of the three concentrically-zoned plutons of Cauterets-Panticosa (French and Spanish Western Pyrenees). *Geologische Rundschau*, 69: 107-130.
- De Federico A., 1981. *La sedimentación de talud en el sector occidental de la cuenca paleógena de Aínsa*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Publicacions de Geologia, 12, 271 p.
- Delgado Gómez-Escalonilla L., 1994. Las relaciones culturales de España en tiempo de crisis: de la II República a la Guerra mundial. *Espacio, Tiempo y Forma (V.- Hª Contemporánea)*, 7: 259-294.
- Del Prado C., 1864. *Mapa geológico de la provincia de Madrid*. Junta de Estadística General del Reino Madrid.
- De Serres M., 1829 *Géognosie des Terrains Tertiaires ou Tableau des principaux animaux invertébrés des terrains marins tertiaires du Midi de la France*. Imp. Pomathio-Durville, Montpellier 375 p.
- Del Valle A., C. Aracena, 1930. *Mapa Geológico de España. 1:50.000. Hoja nº 173 (Tafalla)*, formada en 1928 (L. de la Peña, dir.). Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1 mapa.
- Del Valle A., J. Mendizábal, J. Cincúnegui, 1932. *Mapa Geológico de España. 1:50.000. Hoja nº 171 (Viana)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1 mapa.
- Del Valle A., J. Mendizábal, J. Cincúnegui, 1933. *Mapa Geológico de España. 1:50.000. Hoja nº 139 (Eulate)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1 mapa.

- Del Valle A., J. Mendizábal, J. Cincúnegui, 1935. *Mapa Geológico de España. 1:50.000. Hoja nº 112 (Vitoria)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 25 p.
- Díaz-Berenguer E., A. Badiola, M. Moreno-Azanza, J. I. Canudo, 2018. First adequately-known quadrupedal sirenian from Eurasia (Eocene Bay of Biscay, Huesca, north eastern Spain). *Scientific Reports*, 8 (5127).
- Díez Herrero, en línea. *Boletín Geológico y Minero. Historia*. <http://www.igme.es/boletin/historia.htm> (10.11.2018)
- Dinarés J., 1992. *Paleomagnetisme a les Unitats Sudpirinenques Superiors. Implicacions estructurals*. Tesi doctoral. Unversitat de Barcelona, 462 p.
- Dinarés J., E. McClelland, P. Santanach, 1992. Contrasting rotations within thrust sheets and kinematics of thrust tectonics as derived from paleomagnetic data: an example from the Southern Pyrenees. In: *Thrust tectonics* (K. R. McClay, ed.). Chapman and Hall, London, 265-276.
- Dinarés-Turell J., J. García Senz, 2010. Remagnetization of Lower Cretaceous limestones from the Southern Pyrenees and relation to the Iberian plate geodinamic evolution. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B8): 19.405-19.418.
- División de Geología. IGME, 1980 a. *Mapa Geológico de España E. 1:200.000. Síntesis de la Cartografía existente. Hoja nº 11 (Reinosa)*. Segunda edición. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 29 p.
- División de Geología. IGME, 1980 b. *Mapa Geológico de España E. 1:200.000. Síntesis de la Cartografía existente. Hoja nº 21 (Logroño)*. Segunda edición. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 26 p.
- Douvillé H., 1889. Sur quelques Rudistes du terrain Cretacé inferieur des Pyrénées. *Bulletin de la Société Géologique de France (3e)*, 17: 627-653.
- Dubar G., 1925. *Études sur le Lias des Pyrénées Françaises*. Memoires de la Société Géologique du Nord, 9 (1). Lille, 332 p.
- Dubar G., 1931. Brachiopodes liasiques de Catalogne et des regions voisines. *Butlleti de l'Institutió Catalana d'Historia Natural*, 4 (1931): 103-180.
- Dufrénoy A. et A. Élie de Beaumont, 1830-1838. *Mémoires pour servir á une description géologique de la France*. 4 ttomes. F.-G. Levrault, Paris.
- Dupuy de Lôme E., 1937. Las investigaciones de petróleo en España. *Boletín de la Direccion General de Minas y Combustibles*, 54: 333-386
- Durand-Delga M., 2002. Pierre-Bernard Palassou (1745-1830), pioner de la géologie des Monts-Pyrénées. *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie (3e)*, 16. [www.anales.org/archives/cofrhigeo/palassou.html](http://www.anales.org/archives/cofrhigeo/palassou.html)
- Durand-Delga M., 2004. *Le 19e Congrès géologique international – Alger, 1952*. Travaux du Comté Français d'Histoire de l Géologie (3e), 18. [www.anales.org/archives/cofrhigeo/alger.html](http://www.anales.org/archives/cofrhigeo/alger.html)
- Durand-Delga M., 2007 a. Eduard Suess (1831-1914) et sa fresque mondiale La Face de la Terre, deuxième tentative de tectonique globale. *Science Direct*, 339: 85-99.

- Durand-Delga M., 2007 b. *Marcel Bertrand (1847-1907), honneur de la géologie française*. Travaux du Comité français d'Histoire de la géologie (3e sér.), 21.  
<http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/bertrand-dd.html>
- Durand-Delga M., 2010. *Marcel Bertrand (1847-1907), génie de la tectonique*. Collection Histoire, Sciences et Sociétés. Presses des Mines. Paris, 185 p. [ISBN: 978-2-911256-32-5]
- ECORS Pyrenees Team, 1988. The ECORS deep reflection seismic survey across the Pyrenees. *Nature*, 331: 508-511.
- Élie de Baumont L., 1829-30. Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe, présentant différents exemples de coïncidence entre le redressement de couches de certains systèmes de montagnes et les changements soudains qui ont établi les lignes de démarcation qu'on observe entre certains étages consécutifs de sédiment. *Annales des Sciences Naturelles*, 18: 5-25, 284-416 y 19: 5-99, 177-240.
- Élie de Baumont L., 1852. *Notice sur les systèmes de montagnes (3 v.)*. P. Bertrand, Paris, 1543 p.
- Ellenberger F., 1989. *La première coupe historique du stratotype d'Etampes, adressé par Lavoisier en 1767*. Travaux du Comité français d'histoire de la géologie –COFRHIGEO– (3e), 3.  
[www.annales.org/archives/cofrhigeo/stratotype-lavoisier.html](http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/stratotype-lavoisier.html)
- Elliot D., 1983. The construction of balanced cross-sections. *Journal of Structural Geology*, 5 (2): 101-102.
- Esnaola Gómez J. L., L. Martín García, 1975. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 88 (Vergara) Segunda serie*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 20 p.
- Espejo J. A., 1975. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 38 (Bermeo) Segunda serie*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 26 p.
- Ezquerria del Bayo J., 1998. *Elementos de geología de Charles Lyell, traducidos por Don Joaquín Ezquerria del Bayo, con adiciones sobre los terrenos de España (1847)*. Edición Facsimil. Sociedad Geológica de España, Madrid, 560 p.
- Faci Paricio E. (dir.), 2010. *La diversidad geológica de Navarra. Patrimonio Geológico*. Gobierno de Navarra. Pamplona, 238 p.
- Fanlo I., J. C. Touray, I. Subías, C. Fernández Nieto, 1998. Geochemical patterns of a sheared fluorite vein. Parzán, Spanish Central Pyrenees. *Mineralium Deposita*, 33: 620-632.
- Faura y Sans M., A. Marín, 1926. *Cuenca potásica de Cataluña y Pirineo Central*. Excursión C-3. XIV Congreso Geológico Internacional. Instituto Geológico de España, Madrid, 213 p.
- Fernández Clemente E., 1999. *Lucas Mallada y Joaquín Costa*. Caja de Ahorros de la Inmaculada de Aragón (CAI) [ISBN: 84-95306-20-4]
- Fernández Navarro L., 1923. *XIII sesión del Congreso Geológico Internacional tenida en Bruselas en agosto de 1922*. Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes, Madrid, 82 p.
- Ferrando Mas P., 1932. Tectónica y Orogenia Pirenaica. *Curso de conferencias y excursiones sobre el Pirineo dado en la Universidad de Verano de Jaca los días 24-30 de Agosto de 1931*. Publicaciones de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza: 3-17
- Ferrer Condal L. 1951. Nuevos hallazgos en el Jurásico superior del Montsech. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 23:43-60.

- Filleaudeau P. V., 2011. *Croissance et dénudation des Pyrénées du Crétacé supérieur au Paléogène: apports de l'analyse de bassin et thermochronométrie détritique*. Thèse, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 340 p.  
[https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/678555/filename/Filleaudeau\\_2911\\_these.pdf](https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/678555/filename/Filleaudeau_2911_these.pdf)
- Fitzgerald P. G., J. A. Muñoz, P. J. Coney, S. I. Baldwin, 1999. Asymmetric exhumation across the Pyrenean orogen: implications for the tectonic evolution of a collisional orogen. *Earth and Planetary Science Letters*, 173: 157-170.
- Fleischer R. L., P. B. Price, R. M. Walker, 1965. *Nuclear tracks in solids. Principles and applications*. University of California Press. Berkeley, 605 p.
- Fontboté J. M., P. Santanach, 1986. 1.3. La geologia dels Països Catalans en el marc de la Mediterrània occidental. En: *Història Natural dels Països Catalans (Vol. 1. Geologia (I))* (P. Santanach, coord.). Enciclopèdia Catalana, S. A. Barcelona: 50-82.
- Galé Bornaio C., 2005. *Evolució geoquímica, petrogenètica y de condicions geodinàmiques de los magmatismos pérmicos de los sectores central y occidental del Pirineo*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 457 p.
- Gallart J., M. Daignières, E. Surinach, A. Hirn, 1979. Profils sismiques dans la partie oriental des Pyrénées: Catalogne et Languedoc. *7e Reunion Annuelle des Sciences de la Terre*, Lyon: 202.
- Gallart J., E. Banda, M. Daignières, 1981. Crustal structure of the Paleozoic Axial Zone of the Pyrenees and the transition to the North Pyrenean Zone. *Annales de Géophysique*, 37: 457-480.
- García Alix C., 1999. *Comentarios Historiográficos. Lucas Mallada: Los males de la patria y la futura revolución Española*. <http://perso.ya.com/rpmg/cga/libcomhis/node93.html>
- García Cruz C. M., 2008. El origen de las Montañas (III). Propuesta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16 (2): 135-144.
- García-López S., J. Garcí-Sansegundo, M. Arbizu, 1990. Datos estratigráficos y paleontológicos de la sucesión devónica del área del río Baliera (Zona Axial, Pirineos centrales españoles). *Geogaceta*, 7: 33-35.
- García-Mayordomo J., J. M. García-Arévalo, 2011. Seismic hazard assessment for the Itoiz dam site (Western Pyrenees, Spain). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31 (7): 1051-1063.
- García Ruiz J.M., S. White, C. Martí, B. Valero, M. P. Errea y A. Gómez Villar, 1996, *La catástrofe del barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal*. Instituto Pireanico de Ecología. Zaragoza, 54 p.
- García Ruiz J. M. y C. E. Martí Bono, 2001. *Mapa geomorfológico del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 106 p. [ISBN: 84-8014-360-6]
- García Ruiz J. M., C. Martí Bono, E. Valero Garcés, P. González Samperiz, 2001. La evolución de los glaciares del Pleistoceno superior en el Pirineo Central Español. El ejemplo de los glaciares de Escarra y Lana Mayor. Alto Valle del Gállego. *Cuaternario y Geomorfología*, 15 (1-2): 103-119.

- García Ruiz J. M., J. L. Peña Monné, A. Moreno, C. Martí Bono, 2012. Glacial and fluvial deposits in the Aragón Valley, Central-Western Pyrenees: chronology of the Pyrenean Late Pleistocene Glaciers. *Geografiska Annaler*, 95: 15-32.
- García Sansegundo J., 1991. Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorza (Parte I). *Boletín Geológico y Minero*, 102 (6): 3-51.
- García Sansegundo J., 1992. Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorza (Parte II). *Boletín Geológico y Minero*, 103 (1): 42-93.
- García Sansegundo J., 2014. La estructura geológica del embalse de Itoiz (Navarra, España): un caso de sismicidad inducida por un embalse. *Revue de Géologie Pyrénéenne*, 1 (1): 1-7.  
<http://www.geologie-des-pyrenees.com>
- García Villar A., J. I. Ramírez Merino, J. J. Navarro Juli, 2017. *Mapa geológico de España 1:50.000. Segunda serie. Hoja 289 (Benabarre)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 107 p.
- Garrido Megías A., 1973. *Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del secundario y terciario de la vertiente meridional pirenaica en la zona central*. Tesis doctoral. Universidad de Granada, 395 p.
- Garrido-Megías A. y L. M. Ríos Aragüés, 1972. Síntesis geológica del Secundario y Terciario entre los ríos Cinca y Segre. (Pirineo Central de la vertiente surpirenaica, provincias de Lérida y Huesca). *Boletín Geológico y Minero*, 83 (1): 1-47.
- Geólval, Geoambiente, 2008. *Route géologique transpirénéenne Aspe – Haut Aragón. Ruta geológica transpirenaica Aspe – Alto Aragón. Livret guide*. Patrick Gely, graphiste. Pau, 90 p.  
[rgtp.geolval.fr/img/geolog\\_rec.pdf](http://rgtp.geolval.fr/img/geolog_rec.pdf) (visitada el 29/11/2018).
- Gil Crespo P. P., R. Martínez F. Velasco Roldán, M. A. Casares. 1992. Yacimientos de Carbonatos de hierro en Bilbao. *Recursos minerales de España* (J. García Guinea, J. Martínez Frías, coords.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 585-601.
- Gil A., M. Lago, C. Galé, A. Pocoví, E. Arranz, 2002. Magnetic fabric in folded sills and lava flows . A case study in the Permian basalts of the Anayet massif (Pyrenean Axial Zone, Spain). *Tectonophysics*, 350: 1-15.
- Gillet S., 1954. Notice nécrologique sue Emmanuel de Margerie. *Bulletin du Service de la carte géologique d'Alsace et Lorraine*, 7: 4-7. [http://www.persee.fr/doc/geol\\_0037-2560\\_1954\\_num\\_7\\_1\\_1137](http://www.persee.fr/doc/geol_0037-2560_1954_num_7_1_1137)
- Gisbert J., 1986. 3. Els terrenys tardihercinians. En: *Història Natural dels Països Catalans. Vol. 1 Geologia (I)* (P. Santanach, coord.). Editorial Enciclopèdia Catalana, Barcelona: 197-240.
- Gómez Alba J., 1992. *Luis Mariano Vidal (1842-1922). Selección de obras*. Museu de Geologia de Barcelona, 4 vols. [ISBN: 8476095511]
- Gómez Alba J., 2007. *La cuenca carbonífera de Surroca-Ogassa (Ripollés, Cataluña, España)*. Monografies del Museu de Ciències Naturals, 4. Museu de Ciències Naturals de Barcelona. Institut de Cultura, Ajuntament de Barcelona, 263 p.
- Gómez de Llarena J., 1952. *La magnesita sedimentaria de los Pirineos Navarros*. Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos, 66. Jaca, 20 p.

- Gómez de Llarena J., 1971. Franz Lotze (27-IV-1903 / 23-II-1971). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Geología)*, 69: 127-133.
- Gómez Valasco J., I. Alonso Chavarri, 2010. Lucas Mallada, un geólogo que intentó reformar España. *De Re Metálica*, 14: 91-98.
- Gretter N., A. Ronchi, J. López-Gómez, A. Arche, R. de la Horra, J. Barrenechea, M. Lago, 2015. The Late Paleozoic-Early Mesozoic from the Catalan Pyrenees (Spain): 60 Myr of environmental evolution in the frame of the western peri-Tethyan paleogeography. *Earth-Science Reviews*, 150: 679-708.
- Guerin-Desjardins B. y M. Latreille, 1961. Étude géologique dans les Pyrénées espagnoles entre les ríos Segre et Llobregat (prov. de Lérida et Barcelona). *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 16: 922-940.
- Guerin-Desjardins B. y M. Latreille, 1962. Estudio geológico de los Pirineos españoles entre los ríos Segre y Llobregat (prov. Lérida y Barcelona). *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 73: 329-369.
- Guetard J. E., A. L. Lavoisier, 1778. Description de deux mines de charbon de terre, situées au pied des montagnes des Voyes, l'une en Franche Comté et l'autre en Alsace, avec quelques experiences sur le charbon qu'on en tire. *Mémoires de l'Académie des Sciences, Paris* (1778): 435-441.
- Guitard G., 1970. *Le métamorfisme hercynien mésozonal et les gneiss ocellés du massif du Canigou (Pyrénées Orientales)*. Thèse d'Etat Université de Paris VI (1965). Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 63. Orleans, 353 p.
- Guitard G., A. Autran et M. Fontelles, 1996. Le substratum Précambrien du Paléozoïque. En: *Synthèse géologique des Pyrénées, vol. 1, Introduction. Géophysique. Cycle Hercynien* (A. Barnolas, J. C. Chinon, eds.). Edition BRGM – ITGE, Orleans – Madrid: 137-155.
- Hess H., 1962. History of ocean basins. *Petrologic studies: a volume in honor of A. F. Buddington* (A. E. J. Engel, H. J. James, B. F. Leonard, eds). Geological Society of America: 599-620.
- Hirn A., 1980. III. Le cadre structural profond d'après les profils sismiques. En: *Thème 2: Image géophysique de la France*. (C. Weber, coord.). Evolutions géologiques de la France. Memoires du BRGM, 107: 34-39.
- Hirst J. P. P., G. J. Nichols, 1986. Thrust tectonic controls alluvial distribution patterns, Southern Pyrenees. *Foreland basins* (P. A. Allen, P. Homewood, eds.). IAS Special Publication 8: 247-258.
- Hogan P. J. 1993. *Geochronology, tectonic and stratigraphic evolution of the Southwest Pyrenean foreland basin, Northern Spain*. PhD diss. University of Southern California, 219 p.
- Holl J. E., D. J. Anastasio, 1993. Paleomagnetically derived folding rates, Southern Pyrenees, Spain. *Geology*, 21: 271-274.
- Hossack J. R., 1979. The use of balanced cross-sections in the calculation of orogenic contraction: A review. *Journal of the Geological Society*. London, 136: 705-711.
- Hossack J. R., P. L. Hancock (coords.) 1983. Balanced cross-sections and their geological significance. *Journal of Structural Geology*, 5 (2): 99-224.
- Hottinger L., 1960. Recherches sur les Alvéolines du Paléocène et de l'Éocène. *Mémoires Suisses de Paléontologie*, 75-76: 1-243.

- Hottinger L., H. Schaub, 1960. Zur Stufeneinteilung des Paleocaens und des Eocaens. Einführung der Stufen Ilerdien un Biarritzien. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 53: 453-479.
- Izquierdo Lavall E., 2014 a. *Variaciones longitudinales de la estructura en la Zona Axial Pirenaica: Aportaciones de la fábrica magnética, el paleomagnetismo, la paleotermometría y la modelización analógica*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 354 p.
- Izquierdo-Lavall E., 2014 b. Modelización analógica a escala litosférica: influencia del espesor de la litosfera en la geometría de los orógenos de colisión. *Conferencias y Seminarios del Doctorado en Geología* (Departamento de Ciencias de l Tierra, ed.). Seminarios de Geología, 3. Universidad de Zaragoza: 47-48.
- Izquierdo-Lavall E., T, Román-Berdiel, A. M. Casas, B. Oliva-Urcia, I. Gil Peña, R. Soto and A. Jabaloy, 2012. Magnetic and structural study of the Eaux Chaudes intrusion: understanding the Variscan deformation in the Western Axial Zone (Pyrenees). *International Journal of Earth Sciences*, 101: 1817-1834.
- Jacob C., P. Fallot, 1914 a. La nappe de charriage du Montsech, en Catalogne. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 158: 1222-1224.
- Jacob C., P. Fallot, 1914 b. Á propos de la tectonique de Pyrénées catalanes. *Compte Rendu sommaire de la Société Géologique de France*, 15: 154-155.
- Jacob C., P. Fallot, 1925. A propos de la géologie du Sud des Pyrénées. *Compte Rendu sommaire de la Société Géologique de France*, 25: 80-82.
- Jacob C., P. Fallot, G. Astre, R. Ciry, 1927. Observations tectoniques sur le versant méridional des Pyrénées centrales et orientales. *Comptes Rendus du XIVe Congrès Géologique International (1926)*, Madrid, 2: 335-411.
- Jacob C., L. Mengaud, G. Astre, M. Casteras, 1928. Reunion de la Société geologique de France dans les Pyrénées du 30 septembre au 10 octobre. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 29: 486-562.
- Jacqué M., 2005. Patrick William Stuart-Menteath (1845-1925) ou cinquante ans de controversies géologiques au Pays Basque. *Comité français d'Histoire de la géologie (3e sér.)*, 19: 137-149.  
<http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/stuart-menteath.html>
- Jelinek V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79: 63-70.
- Kapellos C., H. Schaub, 1973. L'Ilerdien dans les Alpes, dans les Pyrénées et Crimée. Corrélation des grands foraminifères et à nannoplankton. *Bulletin de la Société Géologique de France (7e)*, 17: 148-161.
- Khan M. A., 1962. The anisotropy of magnetic susceptibility of some metamorphic rocks. *Journal of Geophysical Research*, 67: 2873-2885.
- Labaume P., E. Mutti, M. Seguret, J. Rosell, 1983. Megaturbidites carbonatées du bassin turbiditique de l'Eocène inférieur et moyen sud-pyrénéen. *Bulletin de la Société Géologique de France (6e)*, 25: 927-941.
- Labaume P., M. Seguret, and C. Seyve, 1985. Evolution of a turbiditic foreland basin an analogy with an accretionary prism: Example of the Eocene South-Pyrenean basin. *Tectonics*, 4: 661-685.



- Labaume P., A. Teixell, 2018. 3D structure of subsurface thrusts in the Eastern Jaca Basin, southern Pyrenes. *Geologica Acta*, 16 (4): 477-498.
- Lacasa Ruiz A., 1981. Estudio del yacimiento infracretácico del Montsec de Rubíes, “La Pedrera de Meià” (España). *Ilerda*, 42: 59-159.
- Lacasa-Ruiz A., 1989. An Early Cretaceous fossil bird from Montsec Mountain (Lleida, Spain). *Terra Nova*, 1: 45-46.
- Lacasa Ruiz A., 2013. Resumen histórico sobre la edad de los yacimientos de calizas litográficas del Montsec. *Batalleria*, 18: 41-44.
- Lago San José M., 1980. *Estudio geológico, petrológico, geoquímico y de aprovechamiento industrial de las rocas ofíticas en el Norte de España*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 444 p.
- Lago San José M. y A. Pocoví Juan, 1980. Observaciones petrográficas y tectónicas sobre las ofitas del área de Aulet (Prepirineo meridional, prov. de Huesca). *Acta Geologica Hispanica*, 15 (5): 141-151.
- Lago M., A. Pocoví, 1984. Aspectos geológicos y tectónicos de las doleritas triásicas (ofitas) de Cantabria. *I Congreso Español de Geología*, 2: 147-160.
- Lago M. R. Vaquer, A. Pocoví, J. Navarro, H. Millán, M. B. Martínez, 1989. Características petrológicas y geoquímicas de las doleritas toleíticas triásicas (“ofitas”) del sector El Grado – Aguinaliu (Provincia de Huesca). *III Congreso de Geoquímica de España. Soria. I*: 109-118.
- Lago San José, M., C. Galé Bornao, E. Arranz Yagüe, R. Vaque Navarro, A. Gil Imaz, A. Pocoví Juan, 2000. Trassic tholeiitic dolerites (“ophites”) of the El Grado diapir (Pirenees, Hueca, Spain): emplacement and composition. *Estudios Geológicos*, 56 (1-2):3-18.
- Lago M., E. Arranz, A. Pocoví, C. Galé, A. Gil Imaz, 2004 a. Upper Permian magmatism and basin dynamics in the southern Pyrenees: a record the late-Hercynian compression to the early Alpine distensión. *Permo-Carboniferous Magmatism & Rifting in Europe* (M. Wilson, E. R. Neumann, G. Davies, M. Timmerman, M. Heeremans , B. T. Larsen, eds.). The Geological Society, London, 498 p.
- Lago M., C. Galé, E. Arranz, A. Gil, 2004 b. El magmatismo pérmico. *Geología de España* (J. A. Vera, ed. pral.). Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España, Madrid: 271-272.
- Lago M., C. Galé, A. Gil, E. Arranz, A. Pocoví, 2004 c. Los lamprófidos alcalinos del Pérmico superior emplazados en el plutón granitoideo de Panticosa (Huesca): Petrología y Mineralogía. *Geotemas*, 6 (1): 61-64.
- Lamy J., 2009. “The Pyrenees are not hollow”: the mountain is a boundary object. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos, Rio de Janeiro*, 16 (3): 789-801.
- Lanaja J. M., 1987. *Contribución de la exploración petrolera al conocimiento de la geología de España*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 465 p. [ ISBN: 84-7474-398-2 ]
- Lapparent A. F., 1959. Descubrimiento de un yacimiento de huevos de dinosaurios en el Cretácico superior de la depresión de Tremp (provincia de Lérida, España). *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 54: 51-54.

- Lapparent A. F., E. Aguirre, 1956. Presence de dinosauriens dans le Cretacé supérieur du bassin de Tremp (province de Lérida, Espagne). *Compte rendu sommaire des séances de la Société Géologique de France* (1956): 261-264.
- Lapparent A. F., E. Aguirre, 1957. Presencia de dinosaurios en el Cretácico superior de la Cuenca de Tremp (provincia de Lérida, España). *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 47: 147-152.
- Larragan A. de-, 1949. *Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja nº 287 (Barbastro)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 32 p.
- Larrasoana J. C., E. L. Pueyo, J. del Valle, H. Millán, J. M. Parés y J. Dinarés, 1996. Datos magneto-tectónicos de la cuenca de Jaca-Pamplona: resultados iniciales. *Geogaceta*, 20 (4): 1058-1061.
- Larrasoana J. C., J. M. Parés, H. Millán, J. del Valle, E. L. Pueyo, 2003 a. Paleomagnetic, structural and stratigraphic constraints on transverse fault kinematics during basin inversion. The Pamplona Fault (Pyrenees, North Spain). *Tectonics*, 22: 1071-1092.
- Lasheras E., M. Lago, J. García-Belles, E. Arranz, 1999. Emplazamiento de sills y diques del Pérmico superior en el macizo de Cinco Villas (Pirineo Navarro). *Geogaceta*, 25: 123-126.
- Lasheras E., M. Lago, J. García-Belles, E. Arranz, A. Gil, 2001. The late Permian alkaline magmatism of the Cinco Villas Massif (Western Pyrenees, Spain): a record of the late Variscan evolution of the Pyrenees. *Natura Brasileira*, 25: 170-180.
- Laumonier B., 2015. Les Pyrénées alpines sud-orientales (France, Espagne) – Essai de Synthèse. *Revue de Géologie pyrénéenne*, 2 (1): 1-44. [www.geologie-des-pyrenees.com](http://www.geologie-des-pyrenees.com)
- Laumonier B., A. Autran, 2010. *Hommage à Gérard Guitard (1925-2009): Une vie consacrée à la géologie Hercynienne de Pyrénées Orientales*. Geologie des Pyrenees. [www.geologie-des-pyrenees.com/histoire-epistemologie/hommage-gerard-guitard-1925-2009](http://www.geologie-des-pyrenees.com/histoire-epistemologie/hommage-gerard-guitard-1925-2009) [29/11/2018]
- Leblanc D., G. Gleizes, P. Lespinasse, P. Olivier, J.-L. Bouchez, 1994. The Maladeta granite polydiapir, Spanish Pyrenees: a detailed magneto-structural study. *Journal of Structural Geology*, 16 (2): 223-235.
- Le Pichon X., J. Francheteau, J. Bonin, 1973. *Plate tectonics*. Elsevier. Amsterdam, 300 p.
- Le Roux V., J.-L. Bodinier, A. Tommasi, O. Alard, J.-M. Dautria, A. Vauchez, A. J. V. Riches, 2007. The Lherz spinel lherzolite: refertilized rather than pristine mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 259 (3-4): 599-612.
- Le Vigoroux P., 2011. La Première Guerre Mondiale et ses conséquences sur la réception de la théorie de Wegener en France. *Travaux du Comité français d'histoire de la géologie (3e)*, 25 (8): 187-206.
- Lewis C., E. V. McDonald, C. Sancho, J. L. Peña, E. J. Rhodes, 2009 a. Climatic implications of correlated upper Pleistocene glacial and fluvial deposits on the Cinca and Gállego Rivers (NE Spain based on OSL dating and soil stratigraphy). *Global and Planetary Change*, 157: 214-231.
- Lewis C., C. Sancho, E. V. McDonald, J. L. Peña-Monné, E. L. Pueyo, E. J. Rhodes, M. Calle, R. Soto, 2009 b. Post-tectonic landscape evolution in NE Iberia using staircase terraces: Combined effects of uplift and climate. *Geomorphology*, 292: 85-103.

- Leymerie A., 1853. Les Pyrénées ne sont pas creuses: notes pour réfuter l'assertion contraire émise par M. Petit. Détermination de la latitude du nouvel Observatoire de Toulouse et de l'influence que la chaîne des Pyrénées exerce sur cet élément. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse (4)*, 2: 285-288.
- Leymerie A., 1863. Note sur le système Garunnién. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 20: 483-488.
- Leymerie A., 1868 a. Sur l'origine et les progrès de la question relative au type Garunnién. *Bulletin de la Société Géologique de France (2e)*, 25: 896-906.
- Leymerie A., 1868 b. Présence de Garunnién en Espagne. *Bulletin de la Société Géologique de France (2e)*, 25: 906-911.
- Leymerie A., 1875. Note sur le garunnién espagnol. *Bulletin de la Société Géologique de France (3e)*, 3: 548-553.
- Leymerie A., 1876. Nota acerca del Garunnién español. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 3: 347-352
- Leymerie A., 1877. Mémoire sur le type Garunnién comprenant une description de la Montagne d'Auseing, un aperçu des principaux gîtes du département de la Haute Garonne et une notice sur la faune d'Auzas. *Annales des Sciences Géologiques*, 9: 1-54.
- Liesa M. (ed.), 2003. *Cinquanta anys de Geologia a la Universitat de Barcelona*. Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, 284 p.
- Liñán E. 1998 a. Lucas Mallada y Pueyo. *Una década de investigación en Aragón (1984-1993)*. Consejo Asesor de Investigación (CONAI). Diputación General de Aragón, Zaragoza: 215-221.
- Liñán E., 1998 b. La Biología y la Geología en la Facultad de Ciencias entre los años 1940-1974. *Doctori Bernal Amicorum Liber*. Universidad de Zaragoza: 83-92.
- Liñán E., C. Rubio, 2001. El patrimonio geológico y paleontológico de las comarcas aragonesas. *Naturaleza Aragonesa*, 10: 16-21.
- Llompart C., L. Casanovas, J. V. Santafé, 1984. Un nuevo yacimiento de icnitas de dinosaurios en las facies garunnienses de la Conca de Tremp (Lleida, España). *Acta Geologica Hispanica*, 19 (2): 143-147.
- López de Azcona J. M., 1990. Mineros destacados del siglo XIX. Luis Mariano Bolisario Ramón Vidal y Carreras (1842-1922). *Boletín Geológico y Minero*, 101 (3): 483-504.
- López Martínez J., 1986. *Geomorfología del macizo kárstico de la Piedra de San Martín. Pirineo occidental*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 529 p.
- López Martínez J., I. Herraiz Sanchez de las Matas, M. R. Llamas Madurga, 1984. Contribución al conocimiento hidrogeoquímico del macizo kárstico de la Piedra de San Martín (Pirineo Occidental). *Congreso Español de Geología (Segovia, 1984)*, 4: 175-188.
- López-Martínez N., J. Civis, M. L. Casanovas, R. Daams (eds.), 1998 a. *Geología y Paleontología del Eoceno de la Poble de Segur (Lleida)*. Universitat de Lleida, Institut d'Estudis Ilerdencs. Lleida: 267 p.

- López-Martínez N., J. I. Canudo, L. Ardévol, X. Pereda-Suberbiola, X. Orue-Exeberría, G. Cuenca Bes-cós, J. I. Ruiz-Omeñaca, X. Murelaga, M. Feist, 2001. New dinosaur sites correlated with Upper Maastrichtian pelagic deposits in the Spanish Pyrenees: implications for the dinosaur extinction pattern in Europe. *Cretaceous Research*, 22: 41-61.
- López Ruiz J., J. M. Cebriá, M. Doblas, 2002. Cenozoic volcanism I: The Iberian Peninsula. *The Geology of Spain* (W. Gibbons, T. Moreno, eds.).
- Lorenzo Pardo M. A. Giménez Soler, D. Miral, R. del Arco, J. Ximénez de Embún, L. Ortíz, P. Galindo, A. Marín, J. C. Lapazarán, D. Mayoral, M. López de Gera, P. Fàbrega, A. de G. Rocasolano 1931. *Curso de conferencias para un Congreso y Exposición Internacional de los Pirineos que tiene en proyecto la Academia*. Publicaciones de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, de Zaragoza. 243 p.
- Losantos M., X. Berastegui, J. A. Muñoz, C. Puigdefàbregas, 1988. Corte geológico cortical del Pirineo Central (perfil ECORS). Evolución geodinámica de la Cordillera Pirenaica. Simposio sobre cinturones orogénicos, *II Congreso Geológico de España*. Granada: 7-16.
- Lotze F., 1932. Sur l'âge des mouvements ayant donné naissance à la nappe des marbres des Pyrénées navarraises. *Compte Rendu sommaire des séances de la Société Géologique de France* (1932): 101-102.
- Lotze F., (1948). Sobre bloques (Klippen) autóctonos con ejemplos de los Pirineos Occidentales. Traducción española de: Über "autochtone Klippen", mit Beispielen aus den Westlichen Pyrenäen (1934). Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physicalische Klasse, IV (Geologie und Mineralogie), 1934 (1): 1-10. *Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España*, 4: 437-449.
- Lotze F., 1955. Estratigrafía y tectónica de las Cadenas paleozoicas Celtibéricas. Traducción española por M. San Miguel de la Cámara de "Stratigraphie und Tektonik des Keltiberischen Grundgebirges (Spanien). Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physicalische Klasse, Neue Folge (1929), 14 (2): 143-462". *Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España*, 8: 5-315.
- Lotze F., 1958. *Mapa geológico de la zona oeste de los Pirineos y este de la Cordillera Cantábrica*. Escala 1:200.000. Compañía Petrolífera Ibérica, Madrid.
- Lotze F., 1959. Das westende der Pyrenäen. *Jahrbuch der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz*, 1958: 279-284.
- Lucas F., J. Gisbert (coords.), 1996. Chapitre 8, Carbonifère Supérieur-Permien. *Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées* ( A. Barnolas, J. C. Chiron, eds.). Bureau de Recherches Géologiques et Minières – Instituto Geológico y Minero de España, volumen 1: 340-359.
- Lugeon M., N. Oulianoff, 1924. Sur la géologie de Camarasa (Catalogne). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. Paris, 179: 863-866.
- Lyell C., (1847). *Elementos de geología por Charles Lyell, Esq. F. R. S. traducidos por Don Joaquín Ezquerro del Bayo, con adiciones sobre los terrenos de España*. Imprenta de don Antonio Yenes, Madrid, 653 p.

- Lyell K. M. (ed.), 2010. *Life, letters and journals of Sir Charles Lyell, Bart.* Vol. 1. Cambridge Library Collection. Reissue edition. Cambridge University Press, 492 p. [ISBN: 978-1108017843]
- Maestre A., 1864. *Bosquejo General Geológico de España a escala 1:2.000.000. Formado con los documentos existentes hasta el fin de 1863.* Junta General de Estadística. Madrid.
- Malavieille J., 1984. Modélisation expérimentale des chevauchements imbriqués: application aux chaînes de montagnes. *Bulletin de la Société Géologique de France (7e)*, 26: 129-139.
- Mallada L., 1878. *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca.* Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España, 15. Madrid, 439 p.
- Mallada L., 1892. *Catálogo General de las Especies fósiles encontradas en España.* Manuel Tello. Madrid, 253 p.
- Mallada L., (1969). *Los males de la patria.* Alianza Editorial, Madrid, 233 p.
- Mallada L., (1998). *La futura revolución española y otros escritos regeneracionistas.* Editorial Biblioteca Nueva, Madrid, 336 p.
- Mallada L., (2011). *La inmoralidad pública.* Col. Mañanas de ayer. Algon Editores, Granada, 84 p. [ISBN: 978-84-937218-9-3]
- Mangin J. P., 1960. Le Nummulitique Sud-Pyrénéen à l'ouest de l'Aragon. *Pirineos*, 51-58: 1-631.
- Margerie M. de- et F. Schrader, 1891. *Carte géologique des Pyrénées.* Club Alpin Français.
- Margerie M. de- et F. Schrader, 1892. Aperçu de la structure géologique des Pyrénées. *Annuaire du Club Alpin Français*, 18 (1891): 537-619.
- Marín A., 1947. El Petróleo en España. Discurso inaugural del curso 1947-1948. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.* Madrid, XX p.
- Marsan G., J. Verdenal, 2002. Vers le Mont Perdu: dessins et gravure de Ramond. *Pyrénées*, 210: 155-166.
- Martí J., J. A. Muñoz, R. Vaquer, 1986. Les roches volcaniques de l'Ordovicien supérieur de la région de Ribes de Freser-Rocabruna (Pyrenees Catalanes). Caracteres et signification. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris.* 266: 657-659.
- Martí Bono C. E. 1996. *El glaciario cuaternario en el Alto Aragón occidental.* Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 254 p.
- Martí Bono C. E., 2007. Recuerdo de Pirineos a Enrique Balcells Rocamora (1922-2007). *Pirineos*, 162: 3-11.
- Martí Bono C., J. M. García Ruiz (eds.), 1994. *El glaciario surpirenaico: nuevas aportaciones.* Geofoma Ediciones, Logroño, 142 p.
- Martín Fernández M., 1975. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 63 (Eibar) Segunda serie.* Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 17 p.
- Martínez Delclòs X. (ed.), 1991. *Les calcàries litogràfiques del Cretaci inferior del Montsec. Deu anys de campanyes paleontològiques.* Institut d'Estudis Ilerdencs, Lleida, 162 p.
- Martínez de Pisón E., 2004. 200 años de pirineismo. *Parques Nacionales de Montaña* (E. Anía, M. García, A. Tornos, E. Viñuales, eds.). Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 59-65.

- Martínez Embid A. 2005. *Monte Perdido. Historias y mitos del gigante pirenaico*. Ediciones Desnivel, Madrid, 352p.
- Martínez Peña M. B., 1991. *La estructura del límite occidental de la Unidad Surpirenaica Central*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 380 p.
- Martínez Peña M. B., H. Millán, J. J. Navarro y A. Pocoví (1988): Secuencia de cabalgamientos en la zona de Camarasa (Prepirineo, provincia de Lérida). *II Congreso Geológico de España*, 2: 153-156.
- Martínez Peña M. B. y A. Pocoví Juan, 1988. El amortiguamiento frontal de la estructura de la cobertera surpirenaica y su relación con el anticlinal de Barbastro – Balaguer. *Acta Geologica Hispanica*, 23 (2): 81-94.
- Martínez Peña M. B., A. González Rodríguez, A. Pocoví Juan, 1991. Los cabalgamientos del sur de la Peña Montañesa (Prepirineo, Huesca). *Congreso del Grupo Español del Terciario. Comunicaciones*: 210-213.
- Martínez Peña M. B. y A. Pocoví Juan, 1992. Láminas cabalgantes del sector central del Pirineo meridional (Provincia de Huesca). *III Congreso Geológico de España, Simposios 2*: 130-139.
- Martínez-Peña M. B., A. M. Casas-Sainz y H. Millán Garrido, 1995. Paleostress associated with thrust sheet emplacement and related folding in the southern central Pyrenees, Huesca, Spain. *Journal of the Geological Society*, 152: 353-364.
- Martínez Rica J. P., L. Villar Pérez, 2008. Enrique Balcells Rocamora (1922-2007). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 105: 38-56.
- Martínez Rius A.. 2010. *Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Guía geológica*. Instituto Geológico y Minero de España, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Editorial Everest S. A. León, 227 p. [ISBN: 978-84-8014-784-2]
- Martínez A., y J. Vergés, 1988. Corte compensado del Pirineo oriental: geometría de las cuencas de antepaís y edades de emplazamiento de los mantos de corrimiento. *Acta Geologica Hispanica*, 23 (2): 95-106.
- Martínez A., J. Vergés y J. A. Muñoz, 1988. Secuencias de propagación del sistema de cabalgamientos de la terminación oriental del manto de Pedraforca y su relación con los conglomerados sinorogénicos. *Acta Geologica Hispanica*, 23 (2): 119-127.
- Martínez Torres L. M., 1993. Corte balanceado de la Sierra de Cantabria (Cabalgamiento de la Cuenca Vasco-Cantábrica sobre la Cuenca del Ebro. *Geogaceta*, 14: 113-115.
- Martínez Torres L. M., V. Pujalte, S. Robles, 2003. Los yacimientos de ámbar del Cretácico inferior de Montoria-Peñacerrada (Álava, Cuenca Vasco-Cantábrica): Estratigrafía, reconstrucción paleogeográfica y estructura tectónica. *Estudios Museo de Ciencias Naturales de Álava*, 18 (Nº especial 1): 9-32.
- Martínez-Torres M. L., J. Alonso, J. del Valle, 2011. The Upper Aptian-Lower Albian Ambar deposits of Peñacerrada Geosite (Basque Cantabrian Basin, Northern Spain): Geological context and Protection. *Geoheritage*, 3 (1): 55-61.
- Masriera A., M. Durand-Delga y J. Ullastre, 1990. Relaciones tectónicas y sedimentarias entre la Sierra de Cadí y la zona de Pedraforca (Pirineo catalán, España). *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, 1: 163-207.

- Mata Perelló J. M., 1990. *Els minerals de Catalunya*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 443 p.
- Mata-Perelló J. M., 2009. Datos para el conocimiento de las salinas continentales pirenaicas de Aragón (comarcas de la Litera, la Ribagorza, el Sobrarbe y el Somontano). *I Congreso sobre la Explotación Histórica de la Sal: investigación y puesta en valor*. Ciempozuelos: 63-72. [ISBN: 978-84-692-4848-5]
- Mateu G., (en línea). *Colom i Casanovas, Guillem*. *Galería de Científicos catalanes*.  
<https://scbcientifics.iec.cat/es/cientifics/colom-casanovas-guillem.html>
- Mattauer M. et M. Seguret, 1966. Sur le style des deformations tertiaires de la zone axiale hercynienne des Pyrénées. *Compte Rendu sommaire de la Société Géologique de France* (1966) 1: 10-12.
- Matte P., 1969. Le problème du passage de la schistosité horizontale à la schistosité verticale dans le dôme de Garonne (Paleozoïque des Pyrénées Centrales). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. Paris. 268: 1841-1844.
- McCaig A. M., 1986. Thick and thin-skinned tectonics in the Pyrenees. *Tectonophysics*, 129: 319-342.
- Mengel O., 1906. Feuilles de Prades et de Ceret. *Bulletin de la Carte géologique de France*, 16: 414 p.
- Millán Garrido H., 1996. *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores Aragonesas*. Tesis Doctoral Universidad de Zaragoza, 330 p.
- Millán H., A. Casas, J. J. Navarro, 1991. Estudio preliminar de la fracturación a escala microestructural de las Sierras Marginales Aragonesas. *Geogaceta*, 9: 42-44.
- Millán H., A. Pocoví y J. M. Parés, 1992. Modelización sencilla de la estructura del sector occidental de las sierras marginales aragonesas (Prepirineo, provincias de Huesca y Lérida). *III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología*. Salamanca, 1992. *Simposios*, 2: 140-149.
- Millán H., A. Pocoví y A. Casas, 1995. El frente de cabalgamiento surpirenaico en el extremo occidental de las Sierras Exteriores: sistemas imbricados y pliegues de despegue. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 8 (1-2): 73-90.
- Millán H., E. L. Pueyo y A. Pocoví, 1996. Estimación del acortamiento en áreas afectadas por rotaciones y su constatación por datos paleomagnéticos. *Geogaceta*, 20 (4): 755-758.
- Millán H., E. L. Pueyo, M. Aurell, A. Luzón, B. Oliva, M. B. Martínez Peña y A. Pocoví, 2000. Actividad tectónica registrada en los depósitos terciarios del frente meridional del Pirineo central. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13 (2): 279-300.
- Ministerio de Fomento, 1918. Real Decreto creando en España, a más del Parque nacional de la Montaña de Covadonga o de Peña Santa, en los Picos de Europa asturiano leoneses, el Parque Nacional del Valle de Ordesa o del Río Ara, el Pirineo del Alto Aragón. *Gaceta de Madrid*, 230 (18 de agosto): 494.
- Minwer-Barakat R., J. Marigó, S. Moya-Sola, 2018. The primate remains from Roc de Santa (Late Eocene, NE Spain) revisited: New taxonomic allocation. *Journal of Human Evolution*, 121.
- Misch P., 1943. La estructura tectónica de la región central de los Pirineos meridionales. Traducción española de "Der Bau der mittleren Südpirenäen. Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse (1934). 3 (12): 1597-1764". por J. Gómez de Llarena. *Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España*, 4: 7-180.

- Mitra S., 1986. Duplex structures and imbricate thrust systems: geometry, structural position, and hydrocarbon potential. *American Association of Petroleum Geologists*, 70: 1087-1112.
- Mitra S., J. S. Namson, 1989. Equal area balancing. *American Journal of Science*, 289: 563-599.
- Molina E., 1995. Modelos y causas de extinción masiva. *Interciencia*, 20 (2):83-89.
- Molina E., 2015. Evidence and causes of the main extinction events in the Paleocene based on extinction and survival patterns of foraminifera. *Earth Science Reviews*, 140: 166-181.
- Molina E., 2016. *Discurso de ingreso en la Academia de Ciencias de Eustoquio Molina Martínez y discurso de contestación de Juan Pablo Martínez Rica*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza, 73 p.
- Molina E., J. I. Canudo, C. Guernet, K. McDougall, N. Ortiz, J. O. Pascual, J. M. Parés, J. M. Samsó, J. Serra-Kiel and J. Tosquella, 1992. The estratotypic Ilerdian revised: integrated stratigraphy across the Paleocene-Eocene boundary. *Revue de Micropaleontologie*, 35: 143-156.
- Montserrat Martí J., J. M. Vilapalana, 1987. The paleoclimatic records of the Upper Pleistocene and Holocene in the Llauset Valley (Central Southern Pyrenees). *Pirineos*, 129: 107-113.
- Muñoz J. A., 1992. Evolution of a Continental Collision Belt: ECORS-Pyrenees Crustal Balanced Cross-section. *Thrust Tectonics* (K. R. McClay, ed.). Chapman and Hall. London: 235-246.
- Muñoz J. A., 2002. Alpine Tectonics I. The Pyrenees. *Geology of Spain* (W. Gibbons, T. Moreno, eds.) Geological Society. London: 370-385.
- Muñoz J. A., C. Puigdefàbregas y J. M. Fomboté, 1983. Orógenos alpinos: 4.1. EL Pirineo. *Libro jubilar J. M. Ríos. Geología de España, Tomo II* (J. Comba, ed.). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid: 161-168.
- Muñoz J. A., A. Martínez and J. Vergés. 1986. Thrust sequences in the Spanish Eastern Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 8: 399-405.
- Muñoz J. A. C. Puigdefàbregas, J. Vergés, 1992. 2. 2. Els Pirineus. *Història Natural dels Països Catalans (Vol. 2. Geologia (II))* (J. Guimerà, coord.). Enciclopèdia Catalana, S. A. Barcelona: 47-78.
- Muñoz J. A., E. Beamud, O. Fernández-Bellón, P. Arbués, J. Dinarès-Turell, J. Poblet, 2013. The Ainsa fold and thrust oblique zone of central Pyrenees: kinematics of a curved contractional system from paleomagnetic and structural data. *Tectonics*, 32:1142-1175.
- Muñoz J. A., J. Mencos, E. Roca, N. Carrera, O. Gratacós, O. Ferrer, O. Fernández, 2018. The structure of the South-Central-Pyrenean fold and thrust belt as constrained by subsurface data. *Geologica Acta*, 16 (4): 439-460.
- Mutti E., E. Remacha, M. Sgavetti, J. Rosell, R. Valloni, and M. Zamorano, 1985. Stratigraphy and facies characteristics of the Eocene Hecho Group turbidite system, south-central Pyrenees. Excursion 12. In: *6th European Regional Meeting Excursion Guidebook-IAS* (M.D. Milá, J. Rosell, eds.). Institut d'Estudis Ilerdencs, Lleida: 519-576. [ISBN: 9788400059408]
- Nichols G. J., 1984. *Thrust tectonics and alluvial sedimentation, Aragon, Spain*. Ph.D. dissertation. University of Cambridge, 243 p.
- Nichols G. J., 1987. The Structure and Stratigraphy of the Western External Sierras of the Pyrenees, Northern Spain. *Geological Journal*, 22:245-259.



- Ojembarrena San Martín L. I., H. Fano Ardanaz, J. Fernández Martínez, 1992. La mineralización de Pb-Zn de Mina Troya (Guipúzcoa). *Recursos minerales de España* (J. García Guinea, J. Martínez Frías, coords.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 985-998.
- Oliva Urcia B., 2004. *Geometría y cinemática rotacional en las Sierras Interiores y Zona Axial (Sector de Bielsa) a partir del análisis estructural y paleomagnético*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 291 p.
- Oliva-Urcia B., A. Moreno, B. L. Valero-Garcés, P. Mata, Grupo Horda, 2013. Magnetismo y cambios ambientales en registros terrestres: el lago de Marboré, Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Huesca). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 39 (1): 117-140.
- Oliva-Urcia B., I. Gil-Peña, J. M. Samsó, R. Soto, 2018 a A paleomagnetic inspection of the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) in the Southern Pyrenees. *Frontiers in Earth Science*, 6.
- Oliva Urcia B., A. Moreno, M. Leunda, B. Valero-Garcés. P. Gonzáles-Sampériz, G. Gil Romera, M. P. Mata, 2018 b. Last glaciation and Holocene environmental change at high altitude in the Pyrenees: geochemical and paleomagnetic record from Marboré Lake (N. Spain). *Journal of Paleoclimatology*, 59 (3): 349-371.
- Ordóñez S., M. A. García-del-Cura, 2016. Las Ciencias de la Tierra en las Memorias de la Junta par la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE IC): pensionados 1907-1934. *GeoTemas*, 16 (2): 259-262.
- Ortiz Ramos A., E. Perconig, 1975. *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja nº 61 (Bilbao)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 35 p.
- Ovejero Zappino G. 1992. Mineralizaciones de Zn-Pb ordovícicas del anticlinorio de Bossost. Yacimientos de Liat y Victoria, Valle de Arán, Pirineo. *Recursos minerales de España* (J. García Guinea, J. Martínez Frías, coords.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 999-1025.
- Palassou P. B., 1784. *Essai sur la minéralogie des monts Pyrénées*. Didot Jeune, Paris, 331 p.
- Palencia Ortas A., 2004. *Estudio paleomagnético de rocas jurásicas de la Península Ibérica y del sur de Marruecos*. Tesis doctoral, Universidad Complutense, Madrid, 275 p.
- Pallàs R., Á. Rodés, R. Braucher, J. Carcaillet, M. Ortuño, J. Bordonau, D. Bourlès, J. M. Vilaplana, E. Masana, P. Santanachm 2006. The late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: A critical review and new evidence from 10Be exposure ages, south-central Pyrenees. *Quaternary Science Reviews*, 25: 2937-2963.
- Pallàs R., Á. Rodés, R. Braucher, D. Bourlès, M. Delmás, M. Calvet, Y. Gunnell 2010. Small isolated glacial catchments as priority targets for cosmogenic surface exposure dating of Pleistocene climate fluctuations. Southeastern Pyrenees. *Geology*, 38 (10): 891-894.
- Pascual J. O., J. M. Samsó, J. Tosquella, J. M. Parés, J. Serra Kiel, 1991. Manetoestratigrafía y bioestratigrafía del estratotipo del Ilerdiense (Trem, Lleida). *I Congreso del Grupo Español del Terciario. Comunicaciones*: 233-247.
- Pascual J. O., J. M. Parés, C. G. Langereis and J. D. A. Zijderveld, 1992. Magnetostratigraphy and rock magnetism of the Ilerdian stratotype at Trem, Spain. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 74: 139-157.
- Payros A., V. Pujalte y X. Orue-Etxeberria, 1999. The South Pyrenean Eocene carbonate megabreccias

- revised: new interpretation based on evidence from the Pamplona basin. *Sedimentary Geology*, 125: 165-194.
- Pedrocchi C., 1992. La obra científica del Dr. Enrique Balcells. *Lucas Mallada* 4: 9-35.
- Peña J. L. 1983. *La conca de Tremp y sierras prepirenaicas comprendidas entre los ríos Segre y Noguera Ribagorzana: estudio geomorfológico*. Instituto de Estudios Ilerdenses, Lérida, 373 p.
- Peña J. L., C. Sancho, C. Lewis, E. McDonald y E. Rhodes, 2004. Datos cronológicos de las morrenas terminales del glaciar del Gállego y su relación con las terrazas fluvioglaciares (Pirineo de Huesca). *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos* (J. L. Peña, L. A. Longares, M. Sanchez, eds.). Universidad de Zaragoza – Institución Fernando el Católico. Zaragoza: 71-84. [ISBN: 84-96214-29-X]
- Pérez Estaún A., 2005. El Plan MAGNA, movilizador de investigación geológica durante las décadas de los setenta y ochenta del siglo XX: La experiencia del Noroeste de España. *Boletín Geológico y Minero*, 116: 307-323.
- Pérez Goikoetxea E., 2003\*. *Minería del hierro en los montes de Triano y Galdames*. Instituto de Estudios Territoriales de Bizkaya. Diputación Foral de Bizkaya, Bilbao, 218 p. [ISBN: 84-7752-343-6]
- Petit F., 1847 a. Sur la densité moyenne de la chaîne des Pyrénées, et sur la latitude de l'Observatoire de Toulouse. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 29: 729-734.
- Petit F., 1847 b. Détermination de la latitude du nouvel Observatoire de Toulouse et de l'influence que la chaîne des Pyrénées exerce sur cet élément. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse (3)*, 3: 257-270.
- Peybernès B., 1969. Sur le Crétacé inférieur sud-pyrénéen aux abords de la vallée de la Noguera Pallaresa (Prov. de Lerida, Pyrénées espagnoles). *Compte Rendu sommaire de la Société Géologique de France*, 1969 (6): 212-214.
- Peybernès B., 1982. Création puis evolution de la marge nord-iberique des Pyrénées au Crétacé inférieur. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8: 987-1004.
- Phillips F. C., 1975. *La aplicación de la proyección estereográfica en geología estructural*. E. Blume, Madrid, 132 p.
- Picot de Lapeyrouse P., 1797. Voyage au Mont Perdu, et observations sur la nature des crêtes les plus élevées des Pyrénées. *Journal des Mines*, 7 (37): 39-66.
- Pierraille (en línea). Cirque-de-Barrosa-coupe-Pyrenees-jpg.  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cirque-de-Barrosa-coupe-Pyrenees.jpg>
- Pignatelli García R., J. A. Espejo Molina, 1973. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 62 (Durango). Segunda serie*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 32 p.
- Pilleri G. J. Biosca, L. Vía, 1989. *The Tertiary Sirenia of Catalonia*. Brain Anatomy Institute. University of Berna. Ostermindingen, 98 p.
- Pinet B., L. Montadert, ECORS scientific party, 1987. Deep seismic reflection and refraction profile along the Aquitaine shelf (Bay of Biscay). *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 89: 305-312

- Pocoví Juan A., M. B. Martínez Peña, 1984. Consideraciones acerca del accidente del Cinca (Prepirineo meridional). *I Congreso Español de Geología. Segovia*, 3: 229-240.
- Pons J. M., 1977. *Estudio estratigráfico y paleontológico de los yacimientos con rudístidos del Cretácico superior del Prepirineo de la provincia de Lérida*. Publicaciones de Geología, 3. Universidad Autónoma de Barcelona, 105 p.
- Pons J. M., 1982. Distribución de los Rudistas (Bivalvia) del Cretácico superior sudpirenaico. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8: 1027-1033.
- Portero García G., A. Salazar Rincón, M. H. Oacual Muñoz, I. Ortega Ruiz, A. Olivé Davó, 1992. *Puntos de interés geológico de Guipuzkoa*. Diputación Foral de Guipuzcoa. San Sebastián, 167 p. [ISBN: 84-7907-051-X]
- Pous J., J. A. Muñoz, L. Ledo, M. Liesa, 1995. Partial melting of subducted continental crust in the Pyrenees, *Journal of the Geological Society of London*, 152: 217-220.
- Price R. A., 1981. The Cordilleran foreland thrust and fold belt in the southern Canadian Rocky Mountains. *Trust and nappe tectonics* (K. R. McKlay, N. J. Price, eds.). Geological Society of London Special Publication 9: 437-448.
- Puche Riart O., 2004 b. Luis Mariano Vidal y Carreras. *Pioneros de la Arqueología en España. Del siglo XVI a 1912*. Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid: 89-93.
- Pueyo-Anchuela Ó., 2012. Estudio de fábricas magnéticas y su relación con la deformación en el sector centro-occidental del Pirineo central (Aragón y Navarra). Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 366 p.
- Pueyo-Anchuela Ó., A. Pocoví Juan y A. Gil Imaz, 2010 a. Tectonic imprint in magnetic fabrics in foreland basins: a case study from the Ebro Basin, N Spain. *Tectonophysics*, 492: 150-163.
- Pueyo Anchuela Ó., A. Gil Imaz y A. Pocoví Juan, 2010 b. Significance of AMS in multilayer systems in fold-and-thrust belts. A case study from the Eocene turbidites in the Southern Pyrenees (Spain) *Geological Journal*. 45: 544-561.
- Pueyo-Anchuela Ó., A. Gil Imaz, A. Pocoví Juan y J. F. Ibas-Lloréns, 2011: Acquisition and blocking of magnetic fabrics in synsedimentary structures. Eocene Pyrenees, Spain. *Geophysical Journal International*, 186: 1015-1028.
- Pueyo Anchuela Ó., A. Pocoví Juan, A. Gil Imaz, 2013. Análisis de fábricas magnéticas y su relación con la deformación en el sector occidental del Pirineo Central (Aragón y Navarra). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 26 (1): 5-24.
- Pueyo-Morer E. L., 1994. *Estudio magnetotectónico preliminar de las Sierras Exteriores Altoaragonesas*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Zaragoza, 151 p.
- Pueyo-Morer E. L., 2000. *Rotaciones paleomagnéticas en sistemas de cabalgamientos: tipos, causas, significado y aplicaciones (Ejemplos de las Sierras Exteriores y de la Cuenca de Jaca, Pirineo Aragonés)*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 330 p.
- Pueyo Morer E. L., H. Millán, A. Pocoví, J. M. Parés, 1997. Determining folding mechanism by means of ASM data, Study of the relation between shortening and magnetic anisotropy in the Pico del Aguila anticline (southern Pyrenees). *Physics and Chemistry of the Earth*, 22 (1-2): 195-201.

- Pueyo Morer E. L., H. Millán, A. Pocoví, J. M. Parés, 1999. Cinemática rotacional del cabalgamiento basal surpirenaico en las Sierras Exteriores Aragonesas: datos magnetotectónicos. *Acta Geologica Hispanica* 32 (3-4): 237-256.
- Pueyo-Morer E. L., H. Millán Garrido, A. Pocoví Juan, 2002. Rotation velocity of a thrust: a paleomagnetic study in the External Sierras (Southern Pyrenees). *Sedimentary Geology*, 146 (1-2): 191-208.
- Pueyo E. L., J. M. Parés, H. Millán, A. Pocoví, 2003 a. Conical fold and apparent rotation in paleomagnetism (A case study in the Pyrenees). *Tectonophysics*, 362 (1-4): 345-366.
- Pueyo E. L., A. Pocoví, J. M. Parés, H. Millán, J. C. Larrasoña, 2003 b. Thrust ramp geometry and spirous rotation of paleomagnetic vectors. *Studia Geophyica. Geodetica* 47 (2): 331-357.
- Pueyo E. L., A. Pocoví, H. Millán, A. J. Sussman, 2004. Map view model to correct and calculate shortening in rotated thrust fronts using paleomagnetic data. In: *Paleomagnetic and structural analyses of orogenic curvature* (A. J. Sussman, A. B. Well, eds.). Geological Society of America Special Publication 383: 57-71.
- Puigdefàbregas C., 1975. *La sedimentación molásica de la cuenca de Jaca*. Monografías, 104. Publicaciones del Instituto de Estudios Pirenaicos. Jaca, 188 p.
- Puigdefàbregas C., N. A. Rupke, J. Solé Sedó, 1975. The sedimentary evolution of the Jaca Basin. *The sedimentary evolution of of the South Pyrenean Basin* (J. Rosell, C. Puigdefàbregas, eds.). I. A. S. 9th International Congress, Nice. Excursion Guidebook, part C, 33 p.
- Puigdefàbregas C., P. Souquet, 1986. Tectonosedimentary cycles and depositional sequences of the Mesozoic ant Tertiary of the Pyrenees. *Tectonophysics*, 129: 173-203.
- Puigdefàbregas C., J. A. Muñoz, J. Vergés, 1992. Thrusting and foreland basin evolution in the Southern Pyrenees. En: *Thrust tectonics* (K.R. McClay, ed.). Chapman and Hall, London: 247-254.
- Pujalte V., S. Robles, X. Orue-Etxebarria, J. I. Baceta, A. Payros, I. F. Larruzea, 2000. Upermost Cretaceous-Middle Eocene strata of the Basque-Cantabrian región and Western Pyrenees: a sequence stratigraphic perspective. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13 (2): 191-211.
- Pujalte V., X. Orue-Etxebarria, B. Schmitz. J. Tosquella, J. I. Baceta. A. Payros, G. Bernaola, F. Caballero, E. Apellaniz, 2003. Basal Ilerdian (earliest Eocene) turnover of large foraminifera: age constraints on calcareous plankton and  $\delta_{13}C$  isotopic profiles from new southern Pyrenean sections (Spain). *Causes and Consequences of Globally Warm Climates in the Early Paleocene* (S. L. Wing, P. D. Gingerich, B. Schmitz, E. Thomas, eds.) Geological Society of America Special Publication 369: 205-221.
- Pujalte V., B. Schmitz, J. L. Baceta, X. Orue-Etxebarria, G. Bernaola, J. Dinarés-Turell, A. Payros, E. Apellaniz, F. Caballero, 2009. Correlation of the Thanetian-Ilerdian turnover of larger foraminifera and the Paleocene-Eocene thermal maximum: confirming evidence from the Campo area (Pyrenees, Spain). *Geologica Acta*, 7: 177-195.
- Pulgar J. A., J. Gallart, G. Fernández Vallejo, A. Pérez-Estaún, J. Álvarez-Marrón, ESCIN Group, 1996. Seismic image of the Cantabrian Mountains in the western extensión of the Pyrenees from integrated ESCIN reflexión and refraction data. *Tectonophysics*, 264: 1-19.
- Rábano I., P. Rivas Quinzaños, T. Rañé Sagristá, 2006. *Instituto Geológico y Minero de España : historia de un edificio*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

- Ragan D. M., 1973. Structural geology. *An introduction to geometrical techniques*, Second Ed. John Wiley & Sons. New York-London, 208 p.
- Ramírez del Pozo J. (Coord.), 1976. *Mapa Geológico de España 1:50.000. Segunda serie. Hoja nº 34 (Torrelavega)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 40 p.
- Ramírez del Pozo J., J. M. Portero, A. Olivé, J. M. Martín Alafont, M. J. Aguilar Tomás, P. del Olmo, 1978. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 59 (Villacarriedo) Segunda serie*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 46 p.
- Ramón Ortiga M. J., 2013. *Flexural unfolding of complex geometries in fold and thrust belts using paleomagnetic vectors*. Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza, 246 p.
- Ramón M. J., E. L. Pueyo, A. Rodríguez Pintó, L. H. Ros, A. Pocoví, J. L. Briz y J. C. Ciria, 2013. A computed tomography approach to understanding 3D deformation patterns in complex flexural folds. *Tectonophysics*, 593 (8): 57-72.
- Ramond L., 1797. Extrait d'une lettre du citoyen Ramond, Associé de l'Institut National, et Professeur d'Histoire Naturelle à Tarbes, au citoyen Haüy, membre de l'Institut a Paris; sur deux voyages au Mont-Perdu, sommet le plus élevé des montos Pyrénées. *Journal des Mines*, 7 (37): 35-38.
- Ramond L., 1801. *Voyage au Mont Perdu et dans la partie adjacente des Hautes Pyrénées*. Belin, Paris, 391 p.
- Ramond L., 1803. Voyage au sommet Mont Perdu. *Journal des mines*, 14 (83): 321-350.
- Ramsay J. G., 1967. *Folding and fracturing of rocks*. McGraw-Hill, London, 568 p
- Rat P., 1998 a. Setenta años de investigaciones de geólogos de la Universidad de Dijón en la Cuenca Vasco-Cantábrica. *Naturzale*, 13: 51-66. <http://hedatuz.euskomedia.org/7274/1/13051066.pdf>
- Rat P., (1998) b. *Avec les géologues dijonnais et quelques autres dans la Chaîne cantabrique (des itinéraires de reconnaissance à la marge ibérique)*. Comité Français d'Histoire de la Géologie. Troisième série. [www.annales.org/archives/cofrhigeo/chaine-cantabrique.html](http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/chaine-cantabrique.html)
- Reiners P. W., T. A. Ehlers, eds., 2005. Low-temperature thermochronology: techniques, interpretations, and applications. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 58: 622 p. [ISSN 1529-6466]
- Remacha E., J. Picart, 1991. *El complejo turbidítico de Jaca y el delta de la Arenisca de Sabiñánigo, Estratigrafía, facies y su relación con la tectónica*. I Congreso Español del Terciario. Libro-guía. Excursión 8, 116 p.
- Riba O., 1973. Las discordancias sintectónicas del Alto Cardener (Prepirineo Catalán), ensayo de interpretación evolutiva. *Acta Geologica Hispanica*, 8 (3): 90-99.
- Riba O., 1976. Syntectonic unconformities of the Alto Cardener, Spanish Pyrenees: a genetic interpretation. *Sedimentary Geology*, 15: 213-233.
- Riba O., 2003. La dècada dels 50. La llicenciatura de Geologia i el doctorat, dues reformes coincidents. *Cinquanta anys de Geologia a la Universitat de Barcelona*, M. Liesa, coord. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona: 177-188.
- Riba O., C. Puigdefàbregas, M. Soler Sampere, J. Quirantes, C. Martí Bono, 1981. *Mapa Geológico de España E. 1:200.000. Síntesis de la Cartografía existente. Hoja nº 22 (Tudela). Segunda edición*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 16 p.

- Riba O. y Equipos de Síntesis del IGME, 1986. *Mapa Geológico de España E. 1:200.000. Síntesis de la Cartografía existente. Hoja nº 33 (Lérida). Segunda edición.* Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 32 p.
- Ribera i Faig E., 1988. *Historia del interés anglosajón por la geología de España.* Estudios sobre Ciencia, 3. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 523 p.
- Richert J.-P., 2008. La Route Géologique Transpyrénéenne (Aspe–Haut Aragon). *Pyénées d’hier et d’aujourd’hui* (J. Canerot, J.-P. Colin, J.-P. Platel et M. Bilotte, dirs.). Atlantica, Biarritz: 293-305.
- Ríos J. M., 1945. *Cuadro sistemático de las formaciones geológicas y de las fases de plegamiento.* Escuela Especial de Ingenieros de Minas, Madrid, 39 p.
- Ríos J. M., 1948. Diapirismo. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 60: 155-238.
- Ríos J. M., 1949 a. Nota acerca de la Geología Cantábrica en parte de las provincias de Vizcaya y Santander. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 19: 95-111.
- Ríos J. M., 1949 b. Las investigaciones de petróleo en España. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 19: 1D-20D.
- Ríos J. M., 1951. Análisis estratigráfico y tectónico de una parte del valle del Segre, en la provincia de Lérida (la zona de Coll de Nargó). *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 63: 561-656.
- Ríos J. M., 1954. Bosquejo geológico de parte del País Vasco-Cántabro (de Laredo a Durango, Vitoria y La Barranta). *Pirineos*, 31-32: 7-32.
- Ríos J. M., 1958 a. Posibilidades petrolíferas del subsuelo español en su relación con el origen del petróleo y sus condiciones de yacimiento. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 50 (1): 1-45.
- Ríos J. M., 1958b. Relación de los principales sondeos de investigación de petróleos llevados a cabo en España desde 1939. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 50 (1): 47-73.
- Ríos J. M., 1958 c. Memoria acerca de la organización los resultados logrados en el Tercer Campamento para prácticas de Geología. “Panticosa 1957”. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 49: 123-133.
- Ríos J. M., 1958 d. Memoria acerca de los resultados logrados en el Cuarto Campamento para prácticas de geología. “Panticosa 1958”. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 52: 183-217.
- Ríos J. M., 1962. Itinerario geológico por los Pirineos españoles. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 67: 189-244.
- Ríos J. M., 1967 a. Relación de las principales actividades para la investigación de hidrocarburos, llevadas a cabo en España durante 1965. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 87: 7-59.
- Ríos J. M., 1967 b. Relación de las principales actividades para la investigación de hidrocarburos, llevadas a cabo en España durante 1966. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 93: 7-58.

- Ríos J. M., A. Almela y J. Garrido, 1943. Contribución al conocimiento de la zona sub-pirenaica catalana.- 1ª parte. Observaciones geológicas sobre el borde Sur de los Pirineos Orientales. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 56: 337-389.
- Ríos J. M., J. Garrido, 1945. III. La Sierra de Alaiz y la región al Este de ella. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 14: 178-198
- Ríos J. M., A. Almela, J. Garrido, 1945 a. Contribución al conocimiento de la geología cantábrica. Un estudio de parte de las provincias de Burgos, Vizcaya y Santander. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 58: 45-228.
- Ríos J. M., A. Almela y J. Garrido, 1945 b. Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 14: 139-198.
- Ríos J. M., A. Almela, 1950. Descubrimiento de una nueva zona bauxitífera en Cataluña. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 20: 179-186.
- Ríos J. M., A. Almela, 1954. *Mapa Geológico de España Escala 1:50.000. Hoja nº 209 (Agüero)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 62 p
- Ríos Aragüés L. M., 2003. Introducción al Mapa Geológico del Parque Nacional de Ordesa – Monte Perdido. Explicación para uso del visitante. *Boletín de la Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Kart (SEDECK)*, 5: 84-99.
- Ríos Aragüés L. M., J. M. Lanaja del Busto F. J. Beltrán Cabrera, J. M. Ríos Mitchell y F. J. Marín Blanco, 1982a. *Mapa geológico de España 1:50000. Hoja 147 (Liena)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 26 p.
- Ríos Aragüés L. M., J. M. Lanaja del Busto y E. Frutos Domingo, 1982b. *Mapa geológico de España 1:50000. Hoja 178 (Broto)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 60 p.
- Ríos Aragüés L. M., J. M. Lanaja del Busto, J. M. Ríos Mitchell y F. J. Marín Blanco, 1982c. *Mapa geológico de España 1:50000. Hoja 179 (Bielsa)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 48 p.
- Ríos Aragüés L. M., J. M. Galera Fernández, D. Baretino Fraile, J. M. Lanaja del Busto, 1990 b. *Mapa geológico de España 1:50000. Hoja 145 (Sallent)*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 61 p.
- Ríos Aragüés L. M., J. M. Galera Fernández, D. Baretino Fraile, 1990 c. *Mapa geológico de España 1:50000. Hoja 146 (Bujaruelo)*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 64 p.
- Rivas G., A. Galobart, G. Puras, N. Verdeny, L. Serra, E. Nieto, J. Panisello, 2017. Els últims dinosaures d'Europa (Trempe-Isona-Coll de Nargó) *Geología* 17. Lleida. 18 p.  
[www.projectegeoparctrempmontsec.com](http://www.projectegeoparctrempmontsec.com)
- Robador A. V. Pujalte, J. M. Samsó, A. Payros, 2009. Registro geológico del máximo térmico Paleoceno-Eoceno en el Parque Nacional de Ordesa- Monte Perdido (Pirineo Central). *Geogaceta*, 46: 111-114.
- Robador A., V. Pujalte, A. Payros, J. M. Samsó, 2018. Primer día: evento hipertermal del límite Paleoceno-Eoceno (PETM). *IV Reunión de Campo de la Comisión de Geología Sedimentaria de la Sociedad Geológica de España* (A. Robador, A. Salazar, orgs.). Instituto Geológico y Minero de España – Sociedad Geológica de España: 15-38.

- Robador Moreno A., L. Carcavilla Urqui y J. M. Samsó Escolà, 2013. *Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. Guía Geológica. Instituto Geológico y Minero de España, Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Editorial Everest S. A. León, 215 p. [ISBN: 978-84-8014-850-4]
- Roche A., 1980. II. Données paléomagnétiques en territoire français. En: Thème 2: Image géophysique de la France. (C. Weber, coord.). Evolutions géologiques de la France. *Mémoires du BRGM*, 107: 32-34.
- Roda Martínez B., L. Marquina Murlanch, E. Viñuales Cobos, 2011. *Guía de visita del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. O. A. Parques Nacionales, Madrid, 207 p. [ISBN: 978-84-8014-809-2]
- Rodés A., 2008. *La última deglaciación en los Pirineos: datación de superficies de exposición mediante  $^{10}\text{Be}$  y modelado numérico de paleoglaciares*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, 238 p.
- Rodríguez-Pintó A., 2012. *Magnetoestratigrafía del Eoceno inferior y medio en el frente Surpirenaico (Sierras Exteriores): Implicaciones cronoestratigráficas y cinemáticas*. Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza, 370 p.
- Rodríguez Pintó A., E. L. Pueyo, J. Serra-Kiel, J. M. Samsó, A. Barnolas y A. Pocoví, 2012 a. Lutetian chronostratigraphic calibration based on magnetostratigraphy and shallow benthic zones biostratigraphy at the Isuela section (Southern Pyrenees). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 333-334: 107-120.
- Rodríguez Pintó A., E. L. Pueyo, A. Barnolas, J. M. Samsó, A. Pocoví, I. Gil Peña, T. Mochales y J. Serra Kiel, 2012 b. Lutetian magnetostratigraphy in the Santa Marina section (Balces anticline, Southwestern Pyrenees). *Geotemas*, 14: 1.184-1.187.
- Rodríguez Pintó A., E. L. Pueyo, J. Serra Kiel, J. M. Samsó, A. Barnolas y A. Pocoví, 2013. The Ypresian-Lutetian boundary in the Southwestern Pyrenean Basin; magnetostratigraphy from the San Pelegrin section. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 370: 13-29.
- Rodríguez Pintó A., E. L. Pueyo, A. Pocoví, M. J. Ramón y B. Oliva-Urcia, 2013 b. Structural control on overlapped paleomagnetic vectors: a case study in the Balzes anticline (Southern Pyrenees). *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 215: 43-57.
- Rodríguez-Pintó, A.; Pueyo, E. L.; Calvín, P.; Sánchez, E.; Ramajo, J.; Ramón, M. J.; Pocoví, A.; Barnolas, A.; Casas, A. M., 2013 b. *Kinematics of a curved structure: paleomagnetic constraints on the Balzes anticline (Southern Pyrenees)*. EGU, Wien, Austria, Ap.2013.
- Rodríguez-Pintó A., E. L. Pueyo, E. Casas, P. Calvín, J. Ramajo, M. J. Ramón, A. Pocoví, A. Barnolas and A. M. Casas, 2016. Rotational kinematics of a curved fold: a structural and paleomagnetic study in the Balzes anticline (Southern Pyrenees). *Tectonophysics*, 677-678: 171-189.
- Rodríguez-Pintó, T. Román, P. Santolaria y R. Soto., 2018.
- Rodríguez Vidal J., 1986. *Geomorfología de las Sierras Exteriores oscenses y su piedemonte*. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca, 127 p.
- Roest W. R., S. P. Srivastava, 1991. Kinematics of the plate boundaries between Eurasia, Iberia and Africa in the North Atlantic from the Late Cretaceous to the present. *Geology*, 19 (6): 613-616
- Roger Ph., 1965. Étude stratigraphique et structurale de la zone de Nogueras entre l'Ésera et l'Isabena (Huesca, Espagne). *Actes de la Société Linnéenne de Bordeaux* (B), 102 (5): 3-26.



- Rojas Tapia B. J. de-, C. Martínez Díaz, 1973. *Mapa Geológico de España 1:50.000. Segunda serie. Hoja nº 175 (Sigüés)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 15 p.
- Roma M., O. Ferrer, K. R. McClay, J. A. Muñoz, E. Roca, O. Gratacós, P. Cabello, 2018. Weld kinematics of syn-rift salt during basement-involved extensión and subsequent inversión: Results from analog models. *Geologica Acta*, 16 (4): 391-410.
- Román-Berdiel T., A. Aranguren, J. Cuevas, J. M. Tubia, D. Gapais and J. P. Brun, 2000. Experiments on granite intrusion in transtension. In: *Salt, Shale and Igneous Diapirs in and around Europe*. Geological Society, London. Special Publications, 174: 21-42.
- Román-Berdiel T., A. M. Casas, B. Oliva-Urcia, E.L. Pueyo, C. Liesa and R. Soto, 2006. The Variscan Millares granite (central Pyrenees): Pluton emplacement in a T fracture of a dextral shear zone. *Geodinamica Acta*, 19 (3-4): 197-211.
- Romero Ortíz J., 1933. Los cobres de Biel (estudio petrográfico). *Revista Minera (C)*, 51.
- Romero Ortíz de Villacián J., 1942. Nuevas notas acerca de las ofitas y monografía de la de Vitoria (Álava). *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 10: 31-55.
- Romero Ortiz de Villacián J., L. Pérez Cossio, 1929. Los filones de galena de Bielsa y Parzán. *Boletín Oficial de Minas y Metalurgia*, 13: 1.068-1.117.
- Rosell Sanuy J., 1962. Consideraciones estratigráficas sobre el Cretácico del borde N de la Conca de Tremp. *Estudios Geológicos*, 18:133-138.
- Rosell Sanuy J., 1963. Sobre la existencia de la discordancia precenomaniense en el Pirineo de la provincia de Lérida. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 72: 613-616.
- Rosell Sanuy J., 1967. Estudio geológico del sector del Prepirineo comprendido entre los ríos Segre y Noguera Ribagorzana (Provincia de Lérida). *Pirineos*, 21: 9-214.
- Rosell Sanuy J., 1970. *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja nº 252 (Tremp)*. Instituto Geológico y Minero de España, 16 p.
- Rosell J., 1988. Ensayo de síntesis del Eoceno sudpirenaico: El fenómeno turbidítico. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1 (3-4): 357-364.
- Rosell J. y C. Llombart, 1988. *Guia geològica del Montsec i de la vall d'Ager*. Publicacions del Centre Excursionista de Catalunya, 168 p.
- Rossi P., A. Cocherie, C. M. Fanning, Y. Temet, 2003. Datation U-Pb sur zircons des dolerites tholeiitiques (ofites) à la limite Trias-Jurassique et relations avec les tufs volcaniques dits "infra-liasiques" nord-pyrénéens. *Comptes Rendus Geoscience*, 335 (15): 1071-1080.
- Roure F., P. Choukroune, X. Berastegui, J. A. Muñoz, A. Villien, P. Matheron, M. Bareyt, M. Seguret, P. Cámara, J. Deramond, 1989. ECORS deep seismic data and balanced cross section – geometric constraints to trace the evolution of the Pyrenees. *Tectonics*, 8 (1): 41-50.
- Roussel J., 1893. Nouvelles observations sur les terrains primaires et secondaires des Pyrénées. *Bulletin de la Carte Géologique de France* LLOPIS 1945
- Ruiz de Gaona M., 1952. *La magnesita sedimentaria de los Pirineos navarros*. Monografías, 66. Instituto de Estudios Pirenaicos, CSIC, Zaragoza, 20 p.

- Runcorn S. K., 1956. Paleomagnetic comparisons between Europe and North America. *Proceedings of the Geological Association of Canada*, 8: 77-85.
- Rupke N. A., 1969. Aspects of bed thickness in some Eocene turbidite series. Spanish Pyrenees. *The Journal of Geology*, 77: 482-484.
- Salazar Á., M. P. Mata, B. Valero, 2018. Segundo día: el valle de Pineta y el paleolago de La Larry. *IV Reunión de campo de la Comisión de Geología Sedimentaria de la Sociedad Geológica de España. Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido* (A. Robador. Á. Salazar, orgs.). Sociedad Geológica de España: 39-54.
- Sánchez Lozano R., 1910. El Wolfram Ibérico. Ponencia presentada al Congreso Internacional de Minería de Düsseldorf. En: Congreso Internacional de Minería y Geología Práctica celebrado en Düsseldorf en 1910. Memoria del mismo ( R. Sánchez Lozano y A. de Gálvez Carreño) *Boletín del Instituto Geológico de España* (2ª), 11: 219-224.
- Sánchez Navarro J. A., 1988. *Los recursos hídricos de la Sierra de las Sierras de Guara y sus Somontanos*. Colección de Estudios Altoaragoneses, 27. Diputación Provincial de Huesca, 336 p.
- Sancho C., J. L. Peña Monné, E. Rhodés, C. Arenas, G. Pardo, J. M. García-Ruiz y C. E. Martí-Bono, 2011. El registro glaciolacustre de Linás de Broto (Valle del Ara, Pirineo Central, Huesca): Nuevas aportaciones. *Resúmenes de la XIII Reunión Nacional de Cuaternario, Andorra*: 67-70.
- San Miguel de la Cámara M., J. Marcet Riba, 1926. *Région volcanique d'Olot*. Excursión C-4. XIV Congreso Geológico Internacional. Madrid 1926. Subs. de López Robert y C<sup>a</sup>. Barcelona, 135 p.
- San Miguel de la Cámara M., P. Ferrando Mas, 1927. *Manual de Geología (Segunda edición revisada y aumentada)*. Manuel Marín, Editor. Barcelona, 526 p.
- San Román J. y J. L. Piedrafita, 2009. *Glaciares de los Pirineos. Parajes Naturales*. Prames. Zaragoza, 207 p.
- San Román J. y J. L. Piedrafita, 2018. Ramond de Cabonnières: un naturalista atraído por el Monte Perdido. *Naturaleza Aragonesa*, 35: 56-63.
- Santanach Prat P., 1974. *Estudi geològic del Paleozoic inferior del Pirineu entre la Cerdanya i el riu Ter*. Tesis Doctoral. Fundacio S. Vives Casajoana, Barcelona, 133 p.
- Santanach P., 2011. Proposta i acceptació dels encavalcaments en el marc de les idees geològiques de començaments del segle XIX. *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, 18: 9-24.
- Santanach Prat P., 2015. Els mapes geològics més antics dels Pirineus i altres aportacions dels neptunistes. *Treballs del Museu Geologic de Barcelona*, 21: 5-27.
- Santanach Prat P., 2018. *La escuela alemana de Hans Stille. Influencia en la geología española de la postguerra*. Cuadernos del Museo Geominero, 26. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 138 p.
- Santolaria Otín P., 2014. Modelización analógica en contexto de tectónica de piel fina. Conferencias y Seminarios del Doctorado en Geología (Departamento de Ciencias de l Tierra, ed.). *Seminarios de Geología*, 3. Universidad de Zaragoza: 71-72.

- Santolaria Otín P., 2015. *Salt and thrust tectonics in the South Central Pyrenees / Tectónica salina y estructuras compresivas en el Pirineo centro meridional*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 327 p.
- Sarrionandia F., M. Carracedo-Sánchez, 2012. Los volcanes submarinos en el nacimiento del Golfo de Vizcaya. ALAVASIA, Asociación de Amigos del Museo de Ciencias Naturales de Álava, 8 p.  
<https://alavesia.files.wordpress.com/2012/10/volcanes.pdf>
- Saule-Sorbé H., 2004. En torno a algunas « orografías » realizadas por Franz Schrader en los Pirineos Españoles. *Ería*, 64-65: 207-220.
- Sauvage M. H, E., 1903. Noticia sobre los peces de la caliza litográfica de la provincia de Lérida (Cataluña). *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (3a)*, 4 (35): 17 p.
- Schmidt H., (1943). El Paleozoico del Pirineo español por Germán Schmidt 1931. Traducción española de « Das Paläozoikum der Spanischen Pyrenäen. Abhandlungender Gesellschaft de Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse (1931), 3 (5): 981-1065. » Por B. Meléndez. *Publicaciones Alemanas sobre Geología de España*, 2: 101-195.
- Schrader F., 1874. *Carte du Mont-Perdu et de la région calcaire des Pyrénées centrales levée par F. Schrader & L. Lourde-Rocheblave*. Extrait des Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8444418g>
- Schrader F., F. Margerie, 1891. *Carte géologique des Pyrénées. Echelle 1/800.000*. Annales du Club Alpin Français. 1 carte.
- Schriel W., 1942. Constitución geológica de la Cadena Costera Catalana entre la desembocadura del Ebro y el Ampurdán. Traducción española dirigida por M. San Miguel de la Cámara de « Der Geologische Bau der Katalonischen Küstengebirge zwischen Ebromündung und Ampurdan. Abhandlungender Gesellschaft de Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse (1929), 14 (1): 61-141 ». *Publicaciones Alemanas sobre Geología de España*, 1: 103-170.
- Schroeder R., 2002. Homenaje al Professor Franz Lotze (1903-1971), en reconocimiento de sus méritos por la investigación geológica en España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 99:35-46.
- Schroeder R., A. Perejón,. 2006. The geological work of Franz Lotze in Spain. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 157 (4): 517-528.
- Schulz G., 1858. *Descripción geológica de la provincia de Oviedo*. Imprenta de José González, Madrid, 138 p.
- Séguret M., 1964. Sur le style en têtes plongeantes des structures pyrénéennes de la zone de Nogueras (versant sud des Pyrénées centrales). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. Paris, 259: 2895-2898.
- Séguret M., 1966. Sur les charriages de la zone de Nogueras (versant sud des Pyrénées). *Compte Rendu sommaire de la Société Géologique de France*, 1966 (1): 17.
- Séguret M., 1969 a. Contribution à l'étude de la tectonique sud-pyrénéenne ; sur le style et l'importance des déplacements vers le Sud des séries secondaires et tertiaires de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. Paris, 268: 907-910.

- Séguret M., 1972. *Étude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Caractère synsédimentaire, rôle de la compression et de la gravité*. Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (1970). Pub. USTELA, Série Géol. Struct. 2, Montpellier, 155 p.
- Selzer G., 1948. Geología de las sierras sub-pirenaicas del Alto Aragón. Traducción española de “Geologie der sudpyrenäischen Sierren in Oberaragonien. N. J. für Min. Pal. und Geol, t. 71. dep. B (1934)”, por D. J. M<sup>a</sup>. Ríos. *Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España*, 4: 185-231.
- Sequeiros L., 1992. El catálogo general (1892) de Lucas Mallada, un siglo después de su publicación. *Llull*, 15: 157-169.
- Sequeiros L., (en línea). Lucas Mallada y Pueyo (1841-1921): fundador de la paleontología española. En: *Galería de Paleontólogos* (M. A. Lamolda, ed.). [www.ugr.es/~mlamolda/galeria/](http://www.ugr.es/~mlamolda/galeria/) (26/10/2018)
- Serrano Cañadas E., 1991. Glacial evolution of the upper Gallego valley (Panticosa Mountains and ribera de Biescas, Aragonaise Pyrenees, Spain). *Pirineos*, 138: 83-104.
- Sierra Yoldi A., 1932. Notas sobre la tectónica de Cataluña y sus relaciones con probables yacimientos petrolíferos. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona* (3), 23 (1): 1-38.
- Simón Gómez J. L., 1984. *Compresión y distensión alpinas en la Cadena Ibérica Oriental*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza (1982). Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, 269 p.
- Simón Gómez, J. L., 1986. Analysis of a gradual change in stress regime (example from the Eastern Iberian Chain, Spain). *Tectonophysics*, 124: 37-53,
- Sitter L. U. de-, 1954. La faille nord-pyrénéenne dans l’Ariege et la Haute-Garonne. *Leidse Geologische Mededelingen*, 18: 287-291.
- Sitter L. U. de-, 1956 a. *Structural geology*. McGraw-Hill Co. New York, 483 p.
- Sitter L. U. de-, 1956 b. A cross section through the Central Pyrenees. *Geologische Rundschau*, 45 (1): 214-233.
- Sitter L. U. de-, 1957. Corte geológico a través de los Pirineos centrales. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 46: 3-33.
- Sitter L. U. de-, 1961. La phase tectogénique pyrénéenne dans les Pyrénées meridionales. *Compte Rendu sommaire de la Société Géologique de France* (1961): 224-225.
- Sitter L. U. de-, 1965. Hercynian and Alpine orogenies in northern Spain. *Geologie en Mijnbouw*, 44 (11): 373-383.
- Sitter L. U. de-, H. J. Zwart, 1960. Tectonic development in supra and infra-structures of a mountain chain. *Proceedings of the 21st International Congress. Copenhagen*, 18: 248-256.
- Solé Sabarís L., N. Llopis Lladó, 1947 a. *Mapa Geológico de Andorra 1:50.000*. Instituto de Estudios Ilerdenses. Lérida. 1 mapa.
- Solé Sabarís L., N. Llopis Lladó, 1947 b. Estudios geológicos en el alto valle del Segre. *Ilerda*, 2 (2): 275-338.
- Solé Sabarís L., N. Llopis Lladó, A. Larragan, 1947. *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja nº 216 (Bellver)*. Instituto Geológico y Minero de España e Instituto de Estudios Ilerdenses. Madrid, 111 p.

- Solé Sugañes L. 1978. Gravity and compressive nappes in the central southern Pyrenees (Spain). *American Journal of Science*, 248: 609-637.
- Soto Marín R., 2003. *Estructuras oblicuas: modelización analógica y ejemplos de la zona surpirenaica*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 346 p.
- Soto R., A. M. Casas, F. Storti and C. Faccenna, 2002. Role of lateral thickness variations on the development of oblique structures at the Western end of the South Pyrenean Central Unit. *Tectonophysics*, 350: 215-235.
- Soto R., A. M. Casas-Sainz, E. L. Pueyo, 2006. Along-strike variation of orogenic wedges associated with vertical axis rotations. *Journal of Geophysical Research*. 111 (B10): B10402-B19423.
- Soula J. C., P. Debat, J. Deramond P. Pouquet, 1986 a. A dynamic model of the structural evolution of the Hercinian Pyrenees. *Tectonophysics*, 129(1-4): 29-51.
- Soula J. C., C. Lamouroux, P. Viallard, G. Bessière, P. Debat et B. Ferret, 1986 b. The mylonite zones in the Pyrenees and their place in the alpine tectonic evolution. *Tectonophysics*, 129 (1-4): 115-147.
- Souquet P., 1962. El Cenomaniense entre los valles del Segre y de la Noguera Ribagorzana (provincia de Lérida y Huesca). *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 68: 313-316.
- Souquet P., 1965. Structure du massif du Mont-Perdu : ses relations avec la nappe de recouvrement de Gavarnie (Pyrénées). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*. 260: 4358-4361.
- Souquet P., 1967. *Le Crétacé supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre*. Thèse d'Etat, Université de Toulouse. Imprimerie Privat, Toulouse, 529 p.
- Stuart-Menteath P. W., 1894 d. Sur les plis les Pyrénées. *Compte Rendu sommaire de la Société Géologique de France (3)*, 22: 104-106.
- Stuart-Menteath P. W., 1903. Los Pirineos Aragoneses. *Boletín de la Sociedad Aragonesa de Ciencias Naturales*, 2: 182-195.
- Subías I. C. Fernández-Nieto, L. M. González López, 1989. Mineralogía de las areniscas cupríferas de Biel (Zaragoza) *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 12:315-327.
- Suchet A., 2009. De Louis Ramond de Carbonières a la Pleyade des Pyrénées ou l'invention du pyrénéisme selon Henri Béraldi, Babel. *Littératures plurielles*, 20: 118-128.
- Suess E., (1883-1904). *La face de la Terre*. Traducción de Das Antlitz der Erde por E. de Marguerie y M. Bertrand. Armand Colin en Cie, Paris, Tomo 1 (1897): 835 p. Tomo 2 (1900): 878 p. Tomo 3, partes 1 y 2 (1902): 1734 p. Tomo 3, parte 3 e índices: 258 p.
- Suriñach E., 1993. Conocimiento por reflexión sísmica. Proyecto ECORS-Pirineos. *Investigación y Ciencia*, 205: 34-35.
- Tagami T., P. B. O'Sullivan, 2005. Fundamentals of fission-track thermochronology. Low-temperature thermochronology: techniques, interpretations, and applications (P. W. Reiners, T. A. Ehlers, eds.). *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 58 (1): 19-47.
- Tavani S., F. Storti, O. Fernández, J. A. Muñoz, and F. Salvini, 2006. 3-D deformation pattern analysis and evolution of the Añisclo anticline, southern Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 28: 695-712.

- Tazieff H., 1952. *Le gouffre de la Pierre Saint Martin*. Editions Arthaud. Paris, 190 p.
- Teixell A., 1992 a. *Estructura alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona axial pirenaica*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 276 p.
- Teixell A., 1992 b. Corte estructural a través de la terminación occidental de la zona axial, Pirineo Central. *III Congreso geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Simposios 2*: 205-216.
- Teixell A., 1994. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 176 (Jaca)*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 36 p. [ISBN: 84-7840-175-X]
- Teixell A., 1996. The Ansó transect of the southern Pyrenees: basement and cover thrust geometries. *Journal of the Geological Society*, London, 153: 301-310.
- Teixell A., 1998. Crustal structure and orogenic material budget in the west central Pyrenees. *Tectonics*, 17 (3): 395-406.
- Teixell A., 2000. Geotectónica de los Pirineos. *Investigación y Ciencia*, 288: 54-65.
- Teixell A., 2004. Estructuras alpinas de la cobertera surpirenaica central. En: *Geología de España* (J. A. Vera, ed. pral.). Sociedad Geológica de España; Instituto Geológico y Minero de España. Madrid: 325-328. [ISBN: 84-7840-546-1]
- Teixell A., 2006. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 327 (Os de Balaguer). Segunda serie*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 75 p. [ISBN: 84-7840-652-2]
- Teixell A. y A. Barnolas, 1992. La cuenca surpirenaica de Jaca como ejemplo de cuenca de antepaís marina profunda con sedimentación carbonática en el margen distal. *III Congreso geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Simposios 2*: 39-47.
- Teixell A., J. García Sansegundo y M. Zamorano, 1993. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 144 (Ansó). Segunda serie*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 62 p. [ISBN: 84-7840-177-8]
- Teixell A., J. García Sansegundo y M. Zamorano, 1994. *Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja 118 (Zuriza) Segunda serie*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 52 p. [ISBN: 84-7840-179-2]
- Teixell A. y J. García Sansegundo, 1995. Estructura del sector central de la Cuenca de Jaca (Pirineos meridionales). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 8 (3): 215-228.
- Teixidó Gómez F., 2012. La Sociedad Aragonesa de Ciencias Naturales, 1902-1918. Sus socios y publicaciones. *Llull: Revista de la Sociedad Española de la Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 35 (75): 163-188.
- Thiebaud J., 1973. Au sujet des ophites des Pyrénées (le point des travaux actuels. *Annales Scientifiques, Université de Besançon* (3), 20: 5-12.
- Tintant H., 1979. Hommage au Doyen Ciry. Raymond Ciry (1898-1978). *Mémoires de l'Académie de Dijon*, 123: 73-88.
- Torrens H., 1989. *In commemoration of the 150th anniversary of the death of William Smith (1769-1839)*. Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie –COFRHIGEO– (3e), 3. [www.annales.org/archives/cofrhigeo/william-smith.html](http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/william-smith.html)

- Torres Pérez-Hidalgo T. de-, 1984. El oso de las cavernas (*Ursus spelaeus* ROSENMÜLLER-HEINROTH de los niveles inferiores de Ekain. *El yacimiento prehistórico de la cueva de Ekain (Deba, Guipúzcoa)* (J. Altuna, J. M. Merino, dirs.). Col. Barandiarán, 1. Donostia: 297-316.
- Torres T., J. I. Canudo, R. Cobo, G. Cuenca, 1998. Cueva Coro Tracito (Tella-Sin, Huesca). El primer yacimiento de alta montaña español de *Ursus spelaeus* ROS-HEIN. Nota preliminar, *Geogaceta*, 24: 303-306.
- Tosquella J., J. M. Samsó, 1996. Biostratigrafía y litostratigrafía del Paleoceno Superior y Eoceno Inferior del sector oriental de la Cuenca Surpirenaica. *Acta Geologica Hispanica*, 31 (1): 3-22.
- Tosquella J., J. Serra-Kiel 1996. Los nummulítidos (Nummulites y Assilina) del Paleoceno Superior y Eoceno Inferior de la Cuenca Pirenaica. *Acta Geologica Hispanica*, 31 (1): 37-159.
- Trumpy R., 2001. Why the plate tectonics was not invented in the Alps. *International Journal of Earth Sciences*, 90: 477-483.
- Ullastre J. M. Durand-Delga y A. Masrera, 1990. Relaciones tectónicas y sedimentarias entre la serie del Cadí y la zona del Pedraforca (Pirineo catalán) *Treballs del Museu de geología de Barcelona*, 1: 163-207.
- Ullastre J. y A. Marriera, 2000. Noves dades sobre les relacions paleogeogràfiques del massís del Port del Compte amb les Serres marginals sud-pirinenques (Pirineu català, Espanya). *Treballs del Museu de geología de Barcelona*, 9: 155-165.
- Valenzuela Ríos J. I., 1994. *Conodontos del Lochkoviense y Praguense (Devónico Inferior) del Pirineo Central español*. Memorias del Museo de Paleontología, Universidad de Zaragoza, 5: 142 p.
- Valenzuela Ríos J. I., P. Carls, 1996. Conodontos e invertebrados del Devónico Medio del Valle de Tena (Huesca, Pirineo Aragonés). *Coloquios de Paleontología*, 46: 43-75; 196-199.
- Valenzuela-Ríos J. I., J. Sanz López, 2002. 6. Devonian. Pyrenees. *The Geology of Spain* (W. Gibbons, T. Moreno, eds.). The Geological Society London: 86-89.
- Valero Garcés B. L., 1992. Polémicas en la geología pirenaica: Patrick William Stuart-Menteath y la comunidad científica francesa (1881-1925). *III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, 1992. Simposios*, 1: 610-619.
- Valero-Garcés B., A. Moreno, 2011. Iberian lacustrine sediment records: responses to past and recent global changes in the Mediterranean region. *Journal of Paleolimnology*, 46: 323-332.
- Van Benmelen R. W., 1972. *Geodynamic Models. An evaluation and a synthesis*. Developments in Geotectonics, 2. Elsevier. Amsterdam, 480 p. [ISBN: 9781483257037]
- Van der Voo R., 1967. The rotation of Spain: paleomagnetic evidence from the Spanish Meseta. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3: 393-416.
- Van der Voo R., 1969. Paleomagnetic evidence for the rotation of the Iberian Peninsula. *Tectonophysics*, 7: 5-56.
- Van der Voo R., J. D. A. Zijdeveld, 1971. Renewed paleomagnetic study of the Lisbon volcanics and implications for the rotation of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research*, 76: 3913-3921.

- Van der Voo R., A. Boessenkool, 1973. Permian paleomagnetic result from the western Pyrenees dekinecting the plate boundary between the Iberian Peninsula and Stable Europe. *Journal of Geophysical Research*, 78 (23): 5118-5127.
- Van de Velde E. J., 1967. Geology of the Ordesa overthrust mass. Spanish Pyrenees, province of Huesca. *Estudios Geológicos*, 23: 163-201.
- Vergely P., 1970. *Étude tectonique des structures pyrénéennes du versant sud des Pyrénées orientales entre le rio Llobregat et le rio Ter (Prov. Barcelone et de Gerone, Espagne)*. Thèse de 3e Cycle. Faculté des Sciences. Montpellier, 70 p.
- Vergés J., 1993 a. *Estudi geològic del vessant Sud del Pirineu Oriental i Central: Evolució en 3D*. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 203 p.
- Vergés J., 1993 b. Trías salino: control de primer orden del sistema de cabalgamientos eoceno-mioceno. *II Congreso del Grupo Español del Terciario. Jaca. Comunicaciones*: 221-224.
- Vergés J., O. Riba, 1991. Discordancias sintectónicas ligadas a cabalgamientos: modelo cinemático. *I Congreso del Grupo Español del Terciario. Vic. Comunicaciones*: 341-345.
- Vergés J., J. A. Muñoz, A. Martínez, 1992. South Pyrenean fold thrust belt: the role of foreland evaporitic levels in thrust geometry. In: *Thrust Tectonics* (K. R. McClay, ed.). Chapman & Hall, London: 255-264.
- Vergés J., Martínez Rius A., F. Domingo, J. A. Muñoz, M. Losantos, J. Fleta, J. Gisbert, 1994. *Mapa Geológico de España Escala 1:50.000. Segunda serie. Hoja nº 255 (La Pobla de Lillet)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 92 p. [ISBN: 84-7840-194-6]
- Verneuil E. de -. 1864. Note sur la carte géologique de l'Espagne. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 59 (9): 417-422.
- Verneuil E. de- et E. Collomb, 1869. *Explication sommaire de la carte géologique de l'Espagne. Note sur la seconde édition*. Savy, Paris, 29 p.
- Via Boada L. 1969. Aportación paleontológica a la síntesis estratigráfica y cronoestratigráfica del Eoceno marino de Cataluña (Actas del Quinto Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos. Jaca-Pamplona, 1966. Tomo I, Sección I. Geología, Morfología y Geofísica): *Pirineos*, 81-82: 5-60.
- Vidal L. M., 1874. Datos para el conocimiento del terreno garumniense de Cataluña. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 1: 209-247.
- Vidal L. M., 1875. Geología de la Provincia de Lérida Región central. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 2: 273-349.
- Vidal L. M., 1877. Nota acerca del sistema Cretácico de los Pirineos de Cataluña. Cámidos y Rudístos. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 4: 257-372.
- Vidal L. M., 1882. Yacimiento de aerinita. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 9: 113-121.
- Vidal L. M., 1899 a. I. De Gerona a Olot y a San Juan de las Abadesas. (Excursiones verificadas durante la reunión de la Sociedad Geológica de Francia en Barcelona en septiembre y octubre de 1898). *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España (2ª)*, 7: 89-95.



- Vidal L. M., 1899 b. XVIII. El Cretácico superior del valle de la Muga (Gerona). (Excursiones verificadas durante la reunión de la Sociedad Geológica de Francia en Barcelona en septiembre y octubre de 1898). *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España (2ª)*, 7: 312-318.
- Vidal L. M., 1899 c. XXII. Excursiones de la provincia de Lérida. (Excursiones verificadas durante la reunión de la Sociedad Geológica de Francia en Barcelona en septiembre y octubre de 1898). *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España (2ª)*, 7: 339 -357.
- Vidal L. M., 1899 d. Compte-rendu des excursions dans la province de Lérida du 11 au 15 octobre (1898). *Bulletin de la Société Géologique de France (3e)*, 26: 884-900.
- Vidal L. M., 1902. Nota sobre la presencia del tramo Kinmeridgiense en el Montsech y hallazgo de un batracio en sus hiladas. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (3ª)*, 4 (18): 3-8.
- Vidal L. M., 1915. Nota geológica y paleontológica sobre el Jurásico superior de la provincia de Lérida. *Boletín del Instituto Geológico de España (2ª)*, 26: 17-55.
- Vidal L. M., 1917. Geologia del Montsech. Junta de Ciències Naturals de Barcelona. *Anuari*, 2 (1): 115-128.
- Vidal L. M., 1918. Geología del Montsech. *Ibérica*, 9 (218): 152-155.
- Vidal L. M., C. Déperet, 1906. Contribución al estudio del Oligoceno en Cataluña. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 5: 311-345.
- Vidal-Royo O., 2010. *3D reconstruction and modeling of the Sierras Exteriores Aragonesas (Southern Pyrenees, Spain): Structural evolution of the Pico del Águila anticline*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona, 297 p.
- Viennot P., 1927. Recherches structurales dans les Pyrénées Occidentales françaises. *Bulletin du Service de la Carte géologique de la France*, 163 (30): 268 p.
- Viladevall Solé M., en línea. *La Prospección de placeres de oro y otros minerales densos*. Universitat de Barcelona, 158 p. GCID nº 1966387275. [www.publicacions.ub.es/refs/pub\\_dig/pros\\_aluv.pdf](http://www.publicacions.ub.es/refs/pub_dig/pros_aluv.pdf) (30/11/2018).
- Villalta J. F. de-, J. Rosell, 1969. Nuevas aportaciones al conocimiento de la estratigrafía del Devónico de Gerri de la Sal (Lérida). *Acta Geologica Hispanica*, 4 (4): 108-111.
- Villaluenga A., 2015. Restos esqueléticos de osos (*Ursus arctos* y *Ursus spelaeus*) en el oriente de la Región Cantábrica. Distribución geográfica y análisis biométrico. *Munibe (Antropología-Arqueología)*, 66: 77-82.
- Villena Morales J. 1990. *Métodos actuales de análisis de cuencas: Análisis tectosedimentario del Terciario continental de Aragón. Discurso de Investidura*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza, 45 p.
- Virgili C., 2003. Lyell. *El fin de los mitos geológicos*. Nivola Libros y Ediciones, S. L. Madrid, 318 p.
- Virgili C., 2007. Lyell and the Spanish Geology. *Geologica Acta*, 5 (1): 119-126.

- Vogt J., 1999. *A propos d'Émmanuel de Margerie et son équipée strasbourgeoise (1919-1930) ou Le doyen est sans pitié (à la manière d'un titre de roman policier): "M. le doyen Rothé veut ma peau"*. Travaux du Comité français d'histoire de la géologie –COFRHIGEO– (3e), 13.  
[www.annales.org/archives/cofrhigeo/margerie.html](http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/margerie.html)
- Wegener A., (1924). *La genesis de los continentes y océanos. Versión española de la 3ª edición alemana, por Vicente Inglada Ors*. Revista de Occidente. Madrid, 169 p.
- Williams G. D., M. V. Fischer (1984): A balanced section across the Pyrenean orogenic belt. *Tectonics*, 3 (7): 773-780.
- Wilson G., 1961. The tectonic significance of small scale structures, and their importance to the geologist in the field. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 84: 423-548.
- Yelland A., 1990. Fission track thermotectonics in the Pyrenean orogen. *Nuclear tracks and Radiation Measurement*, 17 (3): 293-299.
- Zwart H. J., 1959 . The metamorphic history of the central Pyrenees. Part I. *Leidse Geologische Mededelingen*, 22: 419-490.
- Zwart H. J., 1960. Relations between folding and metamorphism in the central Pyrenees and their chronological succession. *Geologie en Mijnbouw*, 22: 163-180.
- Zwart H. J., 1962. On the determination of polymetamorphic mineral association and its applications to the Bosost area (Central Pyrenees). *Geologische Rundschau*, 52: 38.65.
- Zwart H. J., 1963 a . The metamorphic history of the central Pyrenees. Part II. Valle de Arán. *Leidse Geologische Mededelingen*, 28: 321-376.
- Zwart H. J., 1963 b. The structural evolution of the Paleozoic of the Pyrenees. *Geologische Rundschau*, 53 (1): 170-205.
- Zwart J. J., 1965. Geological map of the Paleozoic of the central Pyrenees. *Leidse Geologische Mededelingen*, 33: 191-254.
- Zwart H. J., 1986. The variscan geology of the Pyrenees. *Tectonophysics*, 129 (1-4): 9-27.