

MONOGRAFÍAS
DE LA
REAL ACADEMIA
DE CIENCIAS
Exactas
Físicas
Químicas y
Naturales
DE
ZARAGOZA

Nº 47

**Miradas del pasado sobre
el relieve de las montañas**

Eduardo Martínez de Pisón



2026

Edita:

©Real Academia de Ciencias de Zaragoza

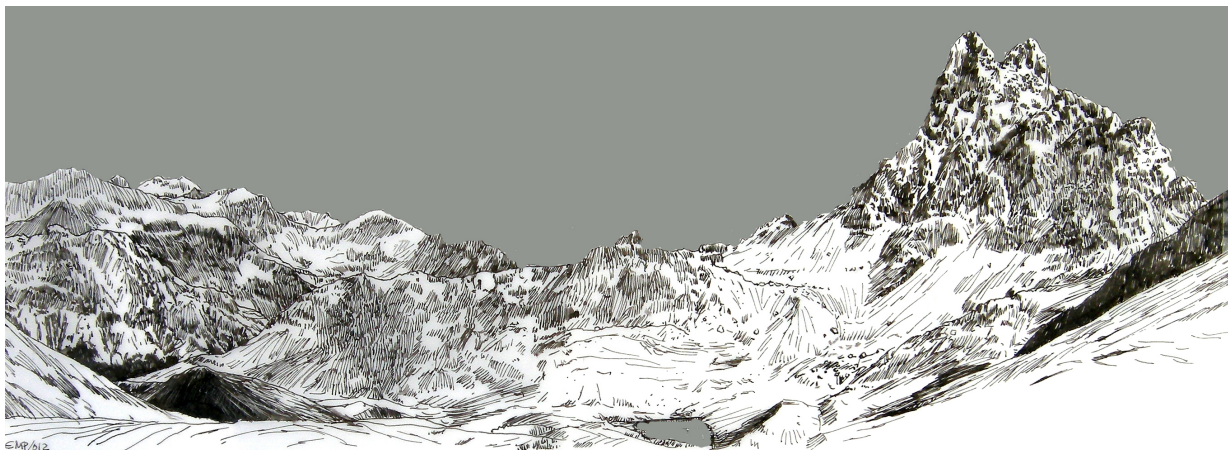
Este volumen se publica con la financiación del Vicerrectorado de Política Científica de la Universidad de Zaragoza. Universidad de Zaragoza

Imprime: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza

ISSN: 1132-6360

Miradas del pasado sobre el relieve de las montañas

Eduardo Martínez de Pisón



Midi d'Ossau y valles Franceses, hacia Peyreget y Biars, desde el Col de L'Iso (2.194m.).

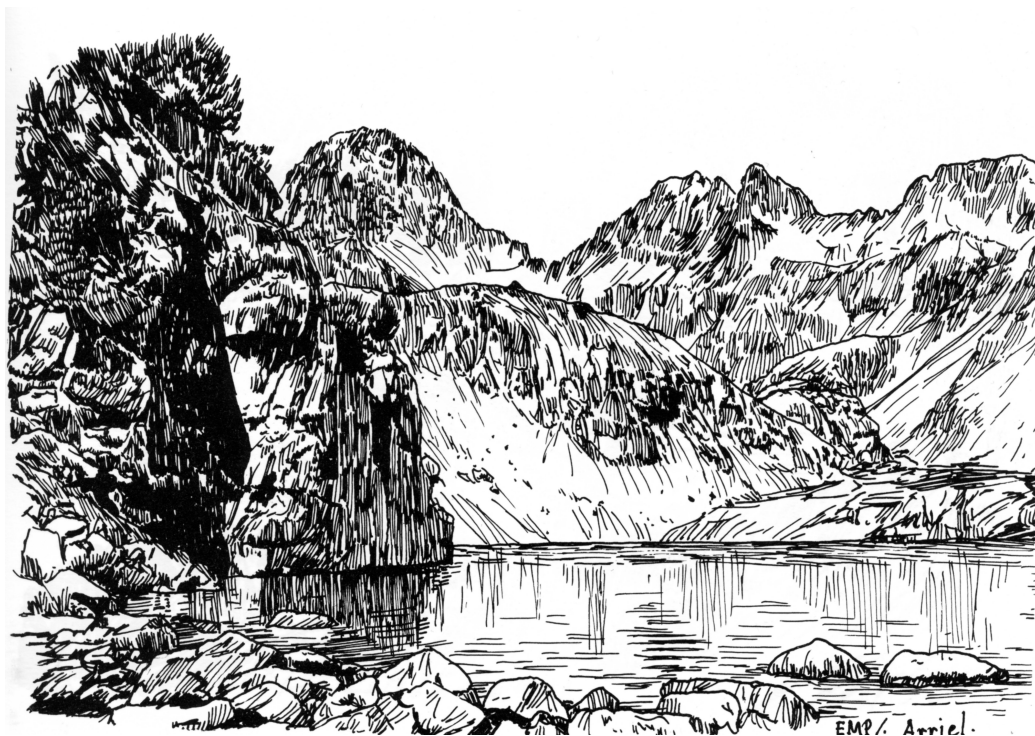


Midi d'Ossau y Peña Telera, respectivamente en el eje del Alto Pirineo y en su borde orográfico meridional (dibujos de E. Martínez de Pisón).

*“En los confines del mundo conocido se levanta una cadena
de oscuras montañas cubiertas de bosques sombríos
de donde la nieve nunca se retira y cuyas cimas,
barridas por el viento, son eternamente inhabitables.
En las laderas de estas montañas se oculta Bóreo,
y de su garganta sale el frío soplo que viene a helar el mundo”.*

Apolonio de Rodas (295-215 a. C.)¹

¹Cita tomada de Troyano de los Ríos, María Fernanda (1988): *Hacia las cumbres*. Madrid, SM.



Ibón de Arriel, en el Pirineo axial (dibujo de E. Martínez de Pisón).

Introducción. Relieves y paisajes de las montañas

Los paisajes de las montañas se basan fundamentalmente en los relieves de sus masas rocosas. El resto de la naturaleza y de las acciones humanas se inscribe en su rugosidad y se adapta a sus formas. De este modo, la causa y la organización básica de tales relieves es estructural, es decir, depende de la tectónica, de su edad y tipo, de los roquedos implicados y, a partir de tal edificación, su evolución posterior dará lugar a las formas definitivas. Sobre estas bases esenciales, por tanto, los relieves finales derivan de la erosión, con sus depósitos correlativos, en razón de la sucesión climática, los tipos de rocas y el condicionamiento orográfico. Establecer las edades, evoluciones y estilos dominantes en tal proceso acaba por explicar la génesis de las formas heredadas y actuales y, con ellas, el bastidor de los paisajes.

Por la suma de ambos agentes, orogénesis y modelado, las laderas y paredes de las montañas, izadas y excavadas, con frecuencia con escarpes de notable desnivel y a veces altitud, muestran en la vertical sectores de la corteza terrestre que, si no fuera así, estarían bajo nuestros pies, ocultos a la vista. Con frecuencia, pues, en esos cortes aparecen al aire libre niveles de tal corteza que corresponden en su origen a rocas y distorsiones profundas, con características físicas y geométricas derivadas de escenarios y fuerzas del pasado. Todo ello da lugar a la organización básica y contundente de los paisajes de montaña.

Ese relieve está afectado por el clima, en el que también influye; por él corren las aguas, en sus laderas se desprenden rocas, en sus cuencos se alojan glaciares, es colonizado por la vegetación y todo ello introduce un dinamismo evolutivo propio en dichos paisajes que da lugar a su configuración natural completa. Las huellas humanas se suman, acomodadas y acomodando, como el resto de la vida, con menor o mayor capacidad de alteración, al entorno rocoso. Pero el medio descrito, lo natural, se hace el rasgo dominante y a veces exclusivo de la montaña. En ciertas gargantas y, sobre, todo en la altitud elevada, ese relieve dinámico es el único paisaje existente, compuesto de piedra, hielo, agua y nieve (más su atmósfera, sus celajes, lo que se llamó el aire leve). Hay, pues, que indagar en la formación de tales relieves para identificar las claves paisajísticas de las montañas.

Por estas razones, nos ha parecido oportuno mostrar algunos rasgos de la historia de las preguntas y respuestas surgidas en la ciencia moderna ante el relieve montañoso. Sin embargo, no hemos querido remontarnos a tiempos demasiado pretéritos o míticos ni tampoco pasar más allá

del momento en el que las ideas sobre la orogenia se aproximan finalmente a la hoy sistemática y bien divulgada tectónica de placas. Como la argumentación, las pruebas y la aplicación de sus principios pueden apagar las luces de los esfuerzos científicos anteriores, creemos que no sobra este breve rescate de aquellos interesantes pasos hacia la comprensión de unos paisajes tantas veces sublimes. Es sólo un paseo por una biblioteca de geografía de montaña.

A finales del siglo XIX se publicó el libro del conocido geógrafo Élisée Reclus titulado *Histoire d'une montagne*², bellamente ilustrado con grabados a partir de dibujos de Léon Benett (en la misma editorial y con uno de los mejores dibujantes de las obras de Jules Verne), un libro que tuvo una difusión extraordinaria, indicando el interés ya existente, educativo y divulgativo, sobre los caracteres de las montañas. Allí están las cumbres, las rocas, el origen de las montañas, los fósiles, la erosión, los derrubios, las nubes, la niebla y la tormenta, la nieve y el alud, el glaciar, el torrente, el bosque, el prado, la fauna, el escalonamiento natural, los montañeses, los mismos dioses. Al final de su libro escribía Reclus: “veo de nuevo surgir ante mis ojos el perfil amado de los montes, vuelvo a los valles sombríos a través del pensamiento y, durante unos instantes, puedo gozar en paz de la intimidad de la roca, del insecto y de la mata de hierba”. En ese temple quisiéramos haber escrito también estas líneas.

1. ARQUITECTURA DE LAS MONTAÑAS

“Man’s anxious and eager application of ‘satisfying’ or ‘reassuring’ concepts to natural processes is, in a way, only a manifestation of his own fears and impatience”.

David Leveson: *A Sense of the Earth* (1972).

Entre el rechazo y el impulso

En los viejos tiempos se sabía poco de las montañas y, salvo por sus aspectos prácticos, que no eran muchos (minas, madera, ganado, termas, refugios, nieve, fronteras, pasos), interesaban menos que las vegas y las costas. Es una dialéctica entre las condiciones físicas de la naturaleza, los medios disponibles y las necesidades lo que atrae o repele en esa relación, pero, de manera

²Reclus, É. (1880): *Histoire d'une montagne*. París, Hetzel.

muy importante, es también la mentalidad de las gentes una fuerza invisible y con frecuencia nada práctica la que tantea un acercamiento al misterio o busca un alejamiento de lo silvestre. Así, con frecuencia, las montañas han sido más un obstáculo o un vacío que un ámbito atractivo o amable. Gracias a los ilustrados y románticos ha cambiado esa imagen cultural que llega a nuestros días, y lo ha hecho tanto que a veces, desde nuestras perspectivas actuales, puede parecer poco comprensible aquel distanciamiento obstinado durante siglos.

En un interesante libro de Paola Giacomoni³ se repasa esta relación desde los intentos y búsquedas de su comprensión, porque también en sus vaivenes se había intuido que “la montaña cuenta la historia del mundo”. De un mundo imperfecto, claro está. O acaso las alturas se reservaban para los dioses, tan imperfectos como el mundo. Por ejemplo, las montañas de Estrabón eran irregularidades de la Tierra o las de Plinio meras defensas para contener las turbulencias de los elementos, de los ríos y de los mares⁴, y la montaña como lo sublime tardaría mucho, como es sabido, en presentarse. Sólo lo consiguió, tras algunos intentos fallidos a finales de la Edad Media y en el Renacimiento, sobre todo desde este último movimiento cultural, aunque minoritariamente. Pero ya entonces Gesner veía en ella, como un destello, maravillas naturales que satisfacían su afán de conocimiento⁵. Había que entrar en su interior para descifrar su enigma y para encontrar en su silencio respuestas nuevas sobre la naturaleza, las voces que el ruido de la llanura había apagado. Hubo mentes ocupadas en ordenar el desorden aparente de las cosas que construyeron teorías –como Descartes– sobre la Tierra, donde las montañas tenían su lógico puesto, o concepciones físicas que permitían indagar en su constitución y sus dinamismos y también reconstrucciones de la gran naturaleza –como en Buffon– donde todo estaba comprendido, incluso el caos.

Serán los viajeros, como tantas veces en la geografía, quienes vendrán desde los precipicios con las respuestas adecuadas. Y los filósofos –Burke, Kant– hablarán de lo sublime en el siglo XVIII, mientras los paseantes solitarios buscan sus escenarios –Rousseau–. Los eruditos son también caminantes, como Scheuchzer, y observan los minerales de la tierra o sueñan con los monstruos de las tradiciones. El mundo está preparado entonces para la llegada de Saussure hasta la cima del Mont Blanc con el fin de tomar medidas casi del cielo y observar desde allí, el mirador

³Giacomoni, P. (2023): *El laboratorio de la naturaleza. La montaña y la imagen del mundo desde el Renacimiento al Romanticismo*. Madrid, Punto de vista.

⁴Terán, M. de (1980): *De causa montium*. Madrid, Real Academia de la Historia.

⁵Terán, M. de (1977): *Las formas del relieve terrestre y su lenguaje*. Madrid, Real Academia Española.

más destacado, la estructura completa de los Alpes. A partir de ese momento, el del paseante, del viajero y del ascensionista, la montaña ha dejado de ser un enemigo. Todo es, en cambio, admiración, aprendizaje y escucha en soledad del lenguaje de la naturaleza, descubrimiento de ríos, lagos, glaciares, rocas, fuerzas que han removido la piel de la Tierra, bosques y animales en libertad y de hombres que desde su sencillez dan lecciones sociales a los escritores. Goethe invita a sus lectores a recorrer la montaña, a aprender su lenguaje e, incluso, a abandonar todo para entenderla; Humboldt se aleja de Europa en busca de datos y significados por los lejanos territorios equinocciales; y Wagner compondrá alguna de sus obras musicales mientras asciende a una cumbre solitaria. A partir de aquellos acercamientos ilustrados comenzaremos nuestra inmediata exposición del proceso de entendimiento que, casi piedra a piedra, llega hasta ayer mismo, con la voluntad de desentrañar su misma forma, la clave de su paisaje, y de recorrer el camino que conduce al entendimiento de las secretas fuerzas mayores que modelan los grandes escenarios de la Tierra. Se trata de la conquista mental, en palabras de Giacomoni, “de una nueva y difícil belleza”.

Esta autora destaca ciertos momentos estelares en la progresiva posesión intelectual de las montañas en la cultura científica europea. En la primera etapa que estudia, que podríamos llamar preparatoria, Kircher propone en su explicación del mundo subterráneo (1665) una organización de la Tierra como una gran máquina, cuyo interior estaría recorrido por filamentos donde corren los fuegos, las aguas y los aires. En 1681 ya el paisaje alpino es expuesto como novedad y con desazón intelectual por Burnet en una obra de teoría de la Tierra, con intuiciones sobre la ruptura de su corteza. Descartes ofrecerá en 1644 su hipótesis sobre la dinámica y la estructura en la formación de esa epidermis y sus capas inferiores, que afecta a mares y montañas. En 1688, un viaje de Dennis por los Alpes le llevó a considerar sus paisajes (con la ambivalente sensación de lo que se llamaría los sublimes horrores⁶) en la tendencia hacia un nuevo gusto, que continuaría Addison en 1699 y se extendería en el siguiente siglo.

Es, en efecto, en el siglo XVIII, cuando la experiencia de lo sublime se centra en Burke (1757), donde la delectación en tal sensación de lo misterioso expresa un cambio esencial de percepción cultural⁷. Desde la filosofía, Leibniz propone en 1749 buscar las reglas que sigue la naturaleza, su

⁶Ver Engel, C.-E. y Vallot, Ch. (2005): *Les écrivains a la montagne: Ces monts affreux (1650–1810)* y (2006): *Ces monts sublimes (1803–1895)*. Meouneh en Biarn, PyreMonde.

⁷Información complementaria para este siglo en Broc, N. (1969); *Les Montagnes vues par les géographes et les naturalistes de langue française au XVIII siècle*. París, Bibliothèque Nationale.

orden geométrico, entre la observación directa y la especulación, donde las montañas aparecerían como las columnas del mundo. En la gran aportación de Buffon al conocimiento de la naturaleza (1749) desde el empirismo también se sitúa a las montañas dentro del orden del mundo, con una primera entidad geográfica. Entre los naturalistas de campo marca un hito Scheuchzer desde 1708, con sus repetidos viajes alpinos, su labor profesoral y sus escritos, midiendo, tomando datos físicos, recolectando muestras, mirando paisajes y recogiendo tradiciones, es decir, desvelando misterios de una región desconocida y ofreciendo con ello lo que luego se llamaría “cuadros de la naturaleza”; además vuelve, a su modo, a la teoría de la ruptura de la corteza terrestre. Con Haller y Rousseau adquiere gran difusión literaria el ambiente de la montaña, pero es con de Saussure, sobre el que trataremos luego, cuando los Alpes se convierten en un “laboratorio de la naturaleza”. Otros grandes autores se ocupan en aquellos años de las montañas, como Kant, al reflexionar sobre lo sublime o sobre el orden en el caos; su profesión de geógrafo –aparte de la de filósofo, claro está– dota a ese orden de una pauta espacial y dinámica en conexión con los ríos y la erosión. El lado naturalista de Goethe aporta su búsqueda nuevamente del orden en la naturaleza, al tiempo que su contribución literaria no desdeña los escenarios montañosos.

A finales del siglo, en el campo de la geología, las tesis neptunistas de Werner se difunden creando una escuela con notable trascendencia científica al convertirse en un modelo aplicable de manera generalizada. Y la gran figura de Humboldt, con la que ya pasamos del siglo XVIII al XIX, dará lugar a un nuevo y profundo cambio en el método, en la universalidad y en el ordenamiento de los datos: el viaje científico, con su ampliación del escenario de observaciones, y la experiencia directa de la naturaleza, indican la apertura de una nueva época. En ella, las relaciones del geógrafo con la montaña y sus ascensiones al Teide y al Chimborazo no son azarosas ni desdeñables. Con Humbolt, en suma, como escribe Giacomoni, el paisaje se vuelve “representable”.

Stanislas Meunier, en una conocida obra suya de 1911⁸, recordaba con cierto desorden, entre otros, a Bourguet, respecto a la agrupación de las montañas, a Dana por sus direcciones, a Beaumont por su red pentagonal, a Palassou sobre la génesis del Pirineo, a Buffon, a Bertrand, a Hall y las fosas de hundimiento, sedimentación y compresión, a Suess y su sistematización, a Reyer y su teoría de los deslizamientos, a Deluc y los levantamientos del suelo, a Leibniz, a Heim y a sí mismo, ponderando el éxito de la “teoría del arrollamiento horizontal” y de los corrimientos

⁸Meunier, S. (1911): *Evolución de las teorías geológicas*. Madrid, José Ruiz.

derivada del estudio detallado de los Alpes y difundida gracias a Termier; en cuanto a la causa de las deformaciones se refería a Dutton. Es decir, el panorama de la actividad científica, visto por un profesional de la geología, era entonces ya amplio, creativo y profundo.

Meunier dedicó un apartado especial a la “teoría pentagonal” de Beaumont, tal vez por la extraña originalidad y por el triunfo de su propuesta, al menos en su momento. Beaumont planteó desde 1829 la relación entre la capa superficial del Globo y su volumen interno, con desigualdad de enfriamiento entre ambos. Eso ocasionaría un apartamiento de la figura esferoidal del planeta y la aparición en su superficie de arrugas, pero de tal modo que las cadenas montañosas tomarían direcciones preferentes en un sistema único, que en 1852 ejemplificó en veintitrés casos, de modo que las redes de fisuras de la corteza formarían dibujos geométricos entrelazados. Con ello, Beaumont pretendía introducir a la geología entre las ciencias exactas, pero tales ideas fueron barridas por el tiempo, aunque su espíritu de cálculo y abstracción derivara más tarde en otra “teoría tetraédrica”⁹.

Volvamos a pisar tierra y a las montañas reales, retornemos al pasado y acompañemos ahora a de Saussure por los escarpados Alpes.

Extraños empujes laterales

Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) es bien conocido por sus viajes alpinos y sobre todo por su ascensión al Mont Blanc en 1787, pero bastante menos por sus aportaciones al conocimiento de la estructura de la cordillera, que, basadas en su experiencia directa del terreno, fueron innovadoras. Sobre ellas han tratado, sin embargo, algunos libros interesantes¹⁰. Un famoso retrato del científico, realizado por J.-P. Saint-Ours en 1796, lo representa al pie de la gran montaña helada con sus instrumentos, el martillo de geólogo en una mano y una muestra de roca en la otra: es la imagen acertada.

⁹Fallot, P. (1939): *Élie de Beaumont et l'évolution des sciences géologiques*. París, Collège de France.

¹⁰Carozzi, A. V. *et al.* (1998): *Les plis du temps. Mythe, science et H. B. de Saussure*. Ginebra, Musée d'ethnographie. Y Carozzi, A, V. (2005): *Horace-Bénédict de Saussure (1740–1799). Un pionnier des sciences de la Terre*. Ginebra, Slatkine.

Según Carozzi, la geología estructural, la glaciología y la geografía física (de la que fue profesor) fueron ramas del saber cultivadas por de Saussure en los Alpes. Investigando sus manuscritos aparece, en la primera de ellas, “su gran descubrimiento del papel de los empujes horizontales en sentidos contrarios en la formación de las grandes cadenas de montañas”. Por todo ello, encontraremos a de Saussure repetidas veces al indagar en los orígenes del conocimiento físico moderno de las montañas.

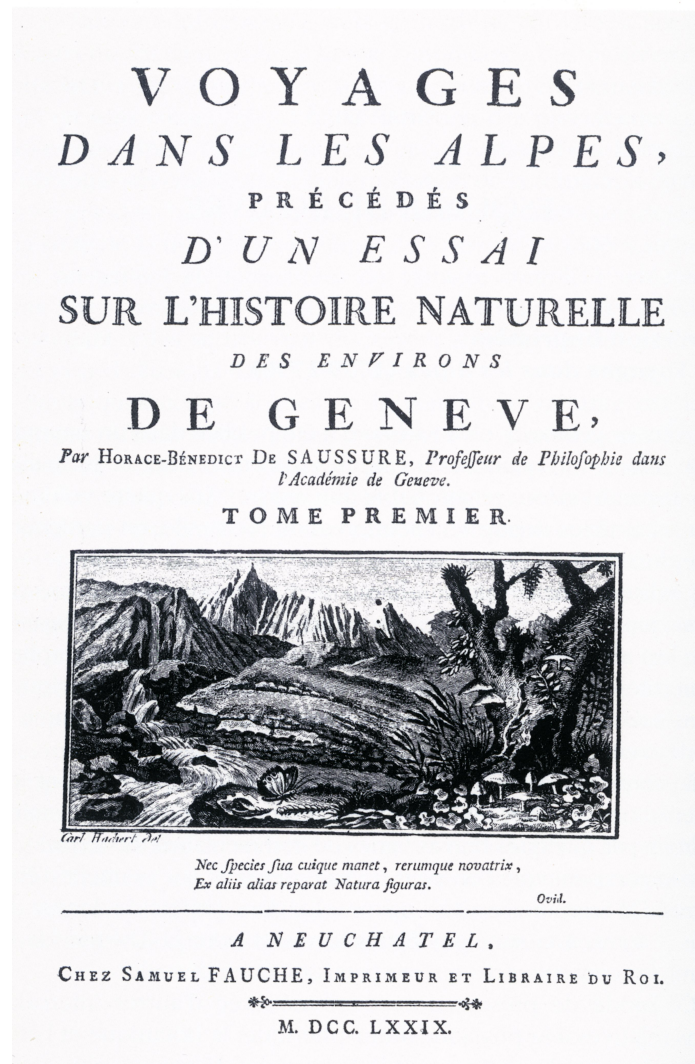


Figura 1: Portada de los *Viajes en los Alpes*, de H. B. de Saussure (1779).

No es de extrañar, por su formación neptunista, su lucha intelectual con hipótesis difusas a partir de sus observaciones de los granitos y los pliegues. Los datos obtenidos sobre el terreno van contribuyendo a sus posteriores ideas sobre las rocas alpinas deformadas. Por ejemplo, en uno de sus viajes anotará la constatación del carácter sedimentario de calizas fosilíferas interestratificadas con otras capas, que pueden estar elevadas y plegadas. Ascendiendo incluso al Vesubio y al Etna en 1773, verá la relación de las coladas lávicas con sus centros eruptivos. En la cumbre de este último volcán deja a su espíritu meditar sobre los “grandes espectáculos” que agitan la mente del filósofo, al descubrir los resortes que mueven el Globo, al tiempo que oye las explosiones y el correr de la lava por sus cavernas o ve las viejas coladas saliendo de sus cráteres. Pero también comprueba que el efecto erosivo en las lavas del agua de fusión de la nieve se da igualmente en las calizas exteriores, “que vuelven a pasos lentos al seno del elemento que las produjo”, el mar. Pese a todo, su neptunismo no sufrió mella.

En 1774 vuelve de Saussure a los flancos del Mont Blanc. Interpreta las fuerzas internas causantes de las deformaciones observadas en las rocas sedimentarias como si tuvieran relación con un levantamiento de componente vertical que hubiera actuado en el centro de la cordillera: las capas inclinadas estarían apoyadas sobre el Mont Blanc, de tal modo que, al elevarse este eje, se “hubieran elevado al mismo tiempo las otras montañas”. En San Gotardo, en 1775, puede observar tanto rocas graníticas como metamórficas y sedimentarias. En éstas, contempla con sorpresa enigmáticas calizas “en un desorden extremo”, con sus estratos horizontales, verticales, inclinados, curvos, cuya disposición le parece originada por etapas de sacudidas violentas, tal vez un fenómeno sísmico, sin alcanzar una respuesta satisfactoria.

Así pues, las capas torcidas, “atormentadas”, le reafirman en su primera hipótesis de una distorsión provocada por el levantamiento del núcleo primitivo de la cadena, explicando aún el origen de tales pliegues mediante la hipótesis de la fuerza de origen sísmico que acabamos de mencionar. Sus nuevos viajes le llevan a convencerse, por otro lado, del origen volcánico de los basaltos tras una visita a la Auvernia y a constatar distintos hallazgos de rocas sedimentarias alpinas fuertemente fruncidas. En una de sus observaciones encontrará, como indica Carozzi, “las capas verticales de areniscas molásicas de Alby-sur-Chéran cuya comprensión acabará por ser más tarde una bomba geológica con efecto retardado”.

De Saussure revisó en 1783 y 1784 sobre el terreno sus observaciones geológicas y glaciológicas, alcanzando sus definitivas conclusiones teóricas sobre la génesis de la cordillera. Por una parte, las capas verticalizadas de conglomerados que sólo podían haberse formado en posición horizontal y, por otra, las mencionadas areniscas (en disposición variable: verticales, inclinadas y casi horizontales, es decir, plegadas) centraron su atención, siguiendo a éstas por su complejidad paso a paso, para inducir al fin una interpretación de su génesis, un nuevo modelo en el que han actuado fuerzas o empujes laterales, necesariamente de mayor amplitud que la cadena, con una componente vertical asociada, lo que afectaría a todo el conjunto alpino.

Para su comprobación realizó entre 1784 y 1786 una pionera simulación en laboratorio; según ella, un empuje lateral de una sola dirección requeriría un obstáculo para que se diera una deformación de las capas afectadas, pero si hubiera dos empujes “contrarios” y las capas fueran dúctiles se formarían en ellas pliegues, acortando la superficie de la disposición horizontal original de tales estratos. Los efectos de los empujes en rocas rígidas o “frágiles” se traduciría en su rotura en placas. Aparte de sus manuscritos, tal hipótesis aparece de modo abreviado, pero contundente, en los tomos III y IV de sus *Voyages dans les Alpes*. A partir de aquí, de la constatación de fuerzas tangenciales, se abrió un nuevo capítulo de la tectónica de las cordilleras. No es de extrañar que el libro antes citado *Les plis du temps* (1998), acabe concluyendo que “el concepto de empujes horizontales en sentidos contrarios provenientes del exterior de las cadenas de montañas, descubierto por de Saussure entre 1780 y 1786, ha sobrevivido llegando a ser el principio de base de la tectónica tangencial moderna”.

Tras entrenarse subiendo escaleras en su casa, Horace-Bénédict de Saussure llegó a la cumbre del Mont Blanc en 1787 y su fama trascendió en otros campos. “Lo que vi con la mayor claridad –escribía de Saussure recordando su paso por la cúspide de los Alpes– fue el conjunto de las altas cimas [. . .]. No creía a mis ojos, me parecía un sueño”.

Un siglo de estudios

Aparte de las obras de Reclus sobre geografía descriptiva, su libro *Histoire d'une montagne* contiene, como decíamos al comienzo de este escrito, una síntesis de conocimientos de finales del siglo XIX, lo que indica la existencia entonces de un interés cultural por su naturaleza y significa una encomiable voluntad de difusión. En los aspectos litológicos de las montañas enseñaba

Reclus que la roca, cubierta superficialmente en las laderas boscosas de tierra vegetal o más arriba colonizada por líquenes, se muestra desnuda sólo en las cercanías de las cumbres, constituyendo allí, en la altitud, el paisaje junto a los ventisqueros. Pese a ello, la diversidad del roquedo es tal que “el viajero que sabe mirar” (en contraste con el “viajero distraído”) puede entender a su través la constitución de “la cúpula de granito, la pirámide de pizarra o la pared de caliza”, e incluso, si amplía su observación, por ejemplo a los cristales del granito, será capaz de alcanzar un nivel especial de percepción de los constituyentes esenciales del relieve. Los perfiles de éste podrán recordarle construcciones humanas como cimborrios, torres, castillos o almenas, pero ha de saber que están en relación con los aspectos particulares de cada material y de su historia, porque “el menor fragmento de roca tiene su génesis como el universo”. Son “la observación y la experiencia” de los sabios las bases del conocimiento del origen de las montañas, pero, incluso así, también éstos han dado interpretaciones “tan fantásticas [. . .] que se asemejan bastante a las leyendas de los antiguos”. En definitiva, si bien son los volcanes los que crecen acumulando sus lavas desde fisuras y cráteres, en las cordilleras aquello que ha dado lugar a sus relieves consiste en grandes, lentas y largas presiones recibidas por las rocas, capaces de plegarlas e izarlas mediante “impulsiones laterales”.

Antes hemos mencionado lo mucho que hubo entonces durante un siglo de estudios. Por ejemplo, Lyell¹¹ exponía en sus compendios y concretamente en sus *Elementos* (que fue el primer manual de geología en castellano) un panorama completo de las rocas, los fósiles, las capas y la estratificación, la denudación, las rocas volcánicas y plutónicas, las metamórficas, su cronología general y por las agrupaciones temporales clásicas desde las formaciones recientes a los estratos fosilíferos primarios y en las rocas ígneas y metamórficas. No se refiere a teorías orogénicas de las montañas; su intención era la sistematización de los hechos conocidos y, en segundo lugar, la exposición de un modo de entenderlos. Cuando Vilanova saca su *Compendio de Geología* en 1872¹², es decir, veinticinco años después de la traducción de Lyell, la práctica de esta ciencia estaba ya dando entre nosotros resultados muy encomiables. Recordemos la fecha (1849) de la creación de la Comisión del Mapa Geológico, o los trabajos en marcha de Casiano de Prado o de Schulz. Es además significativo que Vilanova comience su exposición con referencia a la geografía y a los accidentes fisiográficos, como altozanos, cabezos, cerros, alcores, colinas, lomas

¹¹Lyell, Ch. (1990): *Principles of Geology*. Chicago, The University of Chicago Press. 2 tomos. Y (1847) *Elementos de Geología* (con adiciones de J. Ezquerro del Bayo). Madrid, Yenes.

¹²Vilanova, J. (1872): *Compendio de Geología*. Madrid, A. Gómez.

y montañas, dividiendo a éstas en base, falda, ladera, escarpe, talud, cima, aguja, pico, cúpula, cono, torre, cilindro, escalinata, meseta, ramal, estribo, eje, serranía, puerto, garganta, desfiladero, grupo y sistema de montañas. Y así prosigue su relación descriptiva para el resto de las formas por llanos, valles, ríos, costas y mares. Además, esa base geográfico-morfológica de su *Compendio* se extiende en sus análisis de volcanes y de las causas físicas externas, como la meteorización de la roca, la acción del agua y el hielo, etc.

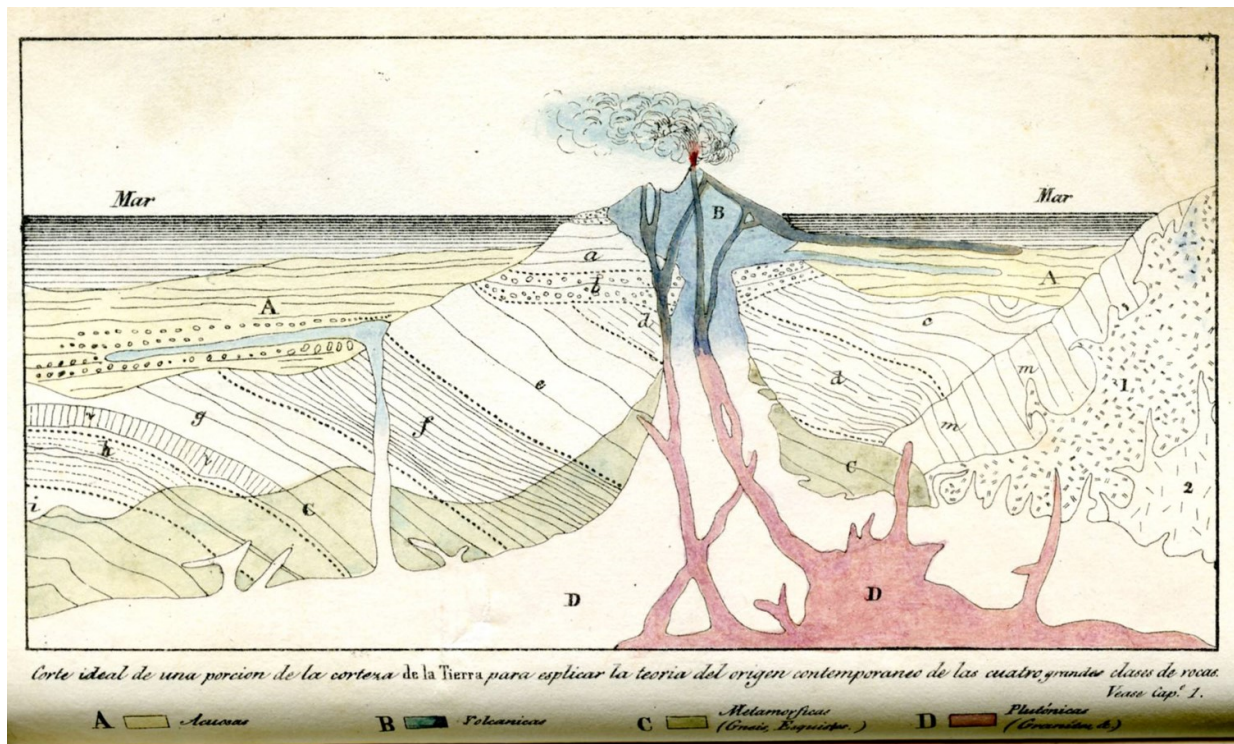


Figura 2: Corte ideal de la corteza terrestre con sus clases de rocas, de Lyell (1847).

Hay otro hecho morfológico destacable que recorre las páginas de los observadores de las montañas: la disyunción del roquedo montañoso mediante pautas geométricas de fracturación, el aprovechamiento de tal fisuración por los agentes erosivos y el desprendimiento de los bloques intermedios, dando el dibujo más o menos agudo de tal entramado las formas a diversas escalas de picos, aristas, crestas, agujas, torres, según una geometría fractal bien definida y motivada por la estructura de la rocas y su tectogénesis.

Entre quienes se percataron de tales caracteres están significados observadores de las formas de las montañas. Así, según cuenta Giacomoni, Goethe se detiene en una excursión de la década de 1780 ante unos bloques de granito de Fichtelgebirge, fisurados y escindidos y los interpreta como

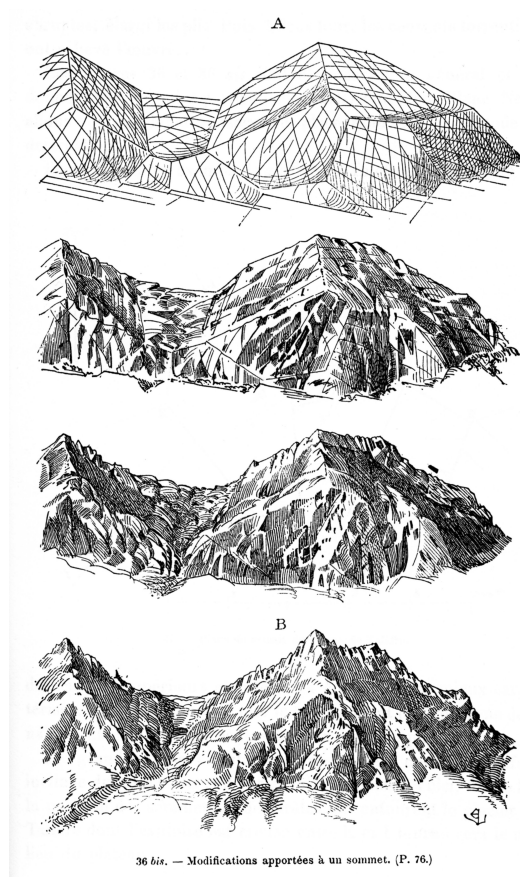
originados en una masa roca resquebrajada por su propia estructura y dividida en seguimiento de tal pauta. También de Saussure observa en 1774 que el Mont Blanc “es como una pirámide compuesta de grandes hojas triangulares o piramidales”. Pero es, sobre todo, Ramond de Carbonnières, entre 1801 y 1804, quien se fija con más atención en tales hechos¹³ al comprobar en las cumbres graníticas su degradación “según las leyes de su estructura”, pues tal estructura “dirige la demolición de las masas” a partir de sus “fisuras naturales”: “es al hilo de tales juntas como las masas tienden a dividirse en pequeños poliedros, sobre cuyas caras se reconoce el bruñido de la Naturaleza [. . .]. Esos poliedros adoptan inicialmente las figuras más diversas. [. . .] La mayor parte de sus caras son cuadriláteros irregulares o triángulos escalenos inclinados los unos sobre los otros y cuyo encuentro forma ángulos vivos y perfectamente trazados. Los poliedros de un volumen inferior y de menor complejidad tienden con frecuencia a la forma piramidal; pero estas pirámides son oblicuas, irregulares, siempre truncadas en algunos de sus ángulos [. . .]. El tipo es reconocible por doquier [en] todas las masas de granito que se desintegran *in situ*; es a favor de las juntas que circunscriben a estos sólidos elementales como el tiempo demuele rocas cuya materia le opondría de otro modo un obstáculo casi insuperable; y esta degradación, sometida a la figura de la molécula, desmenuza poco a poco la cúspide de los bancos en láminas cuneiformes como ella. Cuanto más homogéneo y puro es el granito, más patentes son tales disposiciones y más numerosas y regulares son las subdivisiones”. Más tarde, en 1876, Viollet-le-Duc siguió en sus trabajos y en sus pinturas sobre el macizo del Mont Blanc el sistema de romboedros que surcan sus rocas a favor de tal pauta de disyunción, aprovechada por la erosión para generar múltiples formas agudas¹⁴. Y lo planteó como teoría arquitectónica de la construcción y la ruina de las cúspides de la montaña.

En 1993 publiqué un artículo¹⁵ sobre el carácter fractal de la geometría de la fracturación frecuente en la vertical de afloramientos rocosos y, a diversas escalas, en muchas montañas del Globo (por no decir en todas) principalmente visibles, como es lógico, en las que presentan grandes escarpes de roca viva. Tales sistemas habituales de fracturación –que han sido descritos y

¹³Carbonnières, L. R. (2002): *Viajes al Monte Perdido y a la parte adyacente de los Altos Pirineos*. Madrid, Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

¹⁴Viollet-le-Duc, E. (1993): *Le massif du Mont Blanc. Étude sur la constitution géodesique et géologique, sur ses transformations et sur l'état ancien et moderne de ses glaciers*. Ginebra, Slatkine. Martínez de Pisón, E. (1992): “El geomorfólogo Viollet-le-Duc”. *Ería*, nº 29. Del mismo (1994): “Imágenes de la montaña”. *Ería*, nº 33. Gamble, C. (1999): “John Ruskin, Viollet-le-Duc and the Alps”. *The Alpine Journal*.

¹⁵Martínez de Pisón, E. (1993): “Arquitecturas de cordilleras y montañas de fractales”. *Ería*, nº 32.



(a) Pautas estructurales del modelado de montaña alpina, según Viollet-le-Duc (1876).

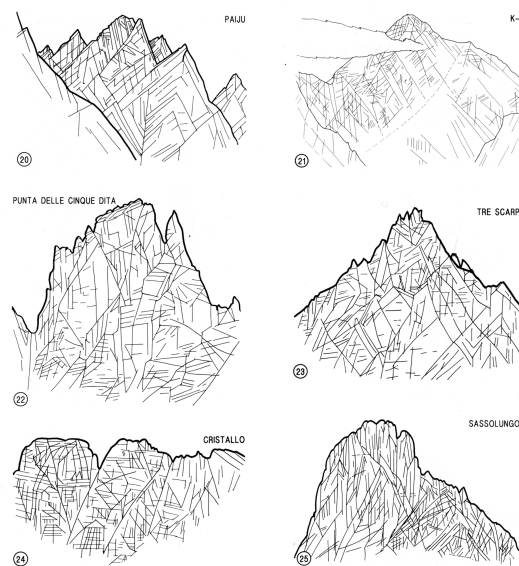


Fig. 13. Esquemas morfoestructurales del Paju (20) y K-2 (21), en el Karakorum, y de la Punta delle Cinque Dita (22), Tre Scarpi (23), Cristallo (24) y Sassolungo (25), en los Dolomitas, Alpes.

(b) Pautas estructurales en geometría fractal del modelado de alta montaña en diversas cordilleras, según Martínez de Pisón (1993).

Figura 3

explicados por los expertos en tectónica— dirigen el labrado de relieves angulares positivos, como por ejemplo en un horn, y de relieves negativos o de excavación, lo que da lugar a que muchas formas de montaña respondan, repito que a diversas escalas insertas unas en otras, a esa red de escisión interna de la masa rocosa. Lo hacen, por tanto, según los principios de autosimilitud en una misma montaña y de isomorfismo entre varias de ellas. Puse en aquel trabajo numerosos ejemplos morfológicos, aunque hoy podría sumar muchos más.

Wegener significa la frontera entre dos geologías, antigua y actual, al introducir en esta ciencia sus hipótesis sobre la movilidad de los continentes. Quiero destacar aquí la particularmente significativa atención prestada por los geógrafos españoles a la teoría de Wegener y a sus implicaciones en la posterior tectónica de placas. Fue en 1912 cuando el científico alemán expuso y publicó sus hipótesis, dándoles en 1915 forma de libro con el título de *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. En 1923, en Madrid, la Revista de Occidente insertó en su publicación periódica un artículo sobre aquellas aportaciones científicas¹⁶, editando acto seguido, en 1924, la traducción al español de la tercera edición del libro de Wegener¹⁷. El ensayo inicial y el prólogo de tal libro están firmados por el geógrafo español Juan Dantín. En 1970, Manuel de Terán, maestro de nuestra generación de geógrafos, dedicó a Wegener nuevamente un ensayo¹⁸. Y en 1975, otro geógrafo, Nicolás Ortega, analizó en un trabajo el enlace entre las ideas wegenerianas y los entonces nuevos logros en geología general¹⁹. En 1983 se volvió a publicar una traducción del libro, esta vez a partir de su cuarta edición alemana, comentada por el geólogo Francisco Anguita²⁰.

Tal vez coincida ese interés geográfico con la intuición inicial de Wegener al contemplar en un mapa los perfiles encajables de las costas del África occidental y las orientales de la América del Sur, y se base también en la necesidad de una explicación de la distribución de masas continentales y depresiones oceánicas; pero, en cualquier caso, no cabe duda de que su interés es fundamental para nuestra disciplina. Y lo es, además, en lo que ahora tratamos, porque contiene un razonamiento brillante sobre la ubicación y el origen de los relieves montañosos. Por las mismas fechas de la difusión de la teoría wegeneriana, otro científico, F. B. Taylor, expuso su propia tesis sobre los mismos hechos, coincidente en buena parte con la de Wegener, apuntando igualmente cómo las montañas se originaban como consecuencias de presiones laterales debidas a colisiones continentales.

¹⁶Dantín Cereceda, J. (1923): “La génesis de los continentes y los mares, según la teoría de Wegener”. *Revista de Occidente*.

¹⁷Wegener, A. (1924): *La génesis de los continentes y océanos*. Madrid, Revista de Occidente.

¹⁸Terán, M. de (1970): “Deriva y movilidad de los continentes y océanos. Revisión crítica de la teoría de Wegener. Otras hipótesis y teorías”. Madrid, *Homenaje a Xavier Zubiri*.

¹⁹Ortega, N. (1975): “Deriva continental y tectónica de placas”. *Estudios Geográficos*. 140–141, *Homenaje a D. Manuel de Terán*, II.

²⁰Wegener, A. (1983): *El origen de los continentes y océanos*. Madrid, Pirámide.

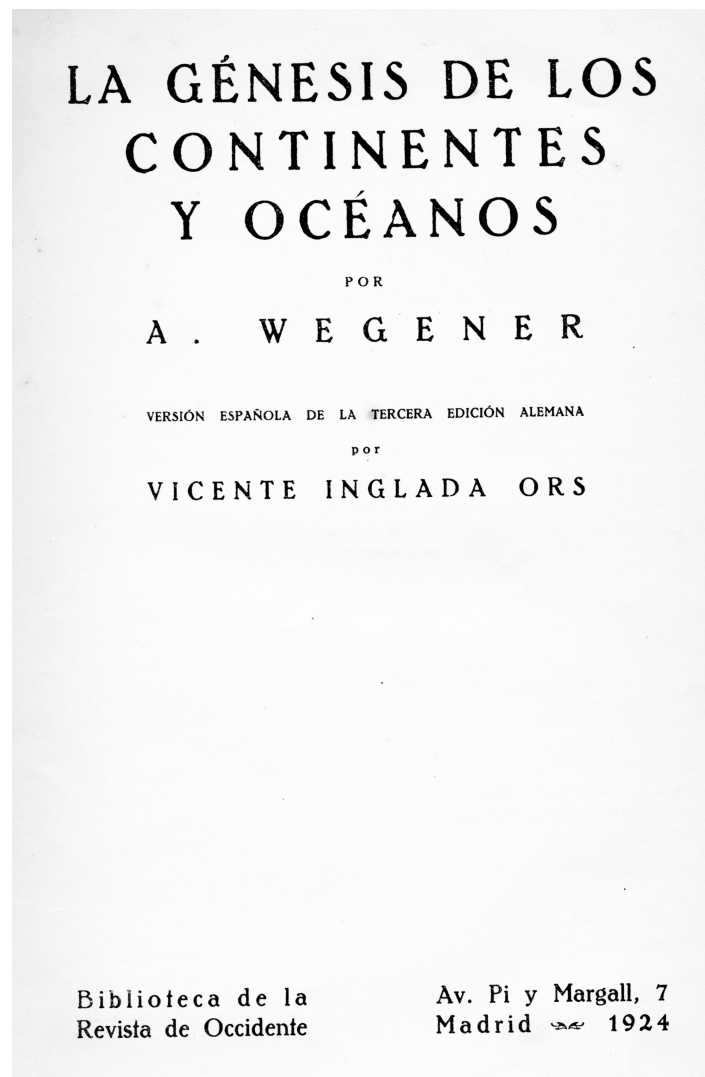


Figura 4: Portada de la primera edición española de la obra más famosa de Wegener (1924).

Según Wegener, “la traslación de los continentes [está] en relación causal con la orogenia”, al comprimirse el frente de su bloque en avance, y “así se formó la gigantesca cadena de los Andes, que corre de Alaska a la Antártida”. La compresión lateral, demostrada en los Alpes, con sus “fruncimientos”, “escamas”, “cobijaduras” y “corrimientos”, significaría un acortamiento notable de las extensiones originales de los conjuntos rocosos que hoy arman la cordillera. Sería, pues, la teoría de las traslaciones continentales la explicación conveniente a esas compresiones horizontales, como “exige la formación de las cadenas plegadas”. Y así, “los gigantescos pliegues del Himalaya, esencialmente de edad terciaria, denuncian el acortamiento por compresión de un bloque considerable de la corteza terrestre”.

La deriva continental estaría también compensada por movimientos verticales, producidos por la isostasia²¹, y todo ello implicaría que “la Tierra se comporte como cuerpo viscoso”. Los conceptos de “sial”, “sima” y “nife”, casi como esferas concéntricas de la Tierra con distinta composición y densidad, que procedían de E. Suess (en sus obras de 1875 y 1883–1909), precedieron a los de corteza, manto y núcleo terrestres que se utilizan hoy día. “Los continentes –reseñaba Dantín– son, pues, masas siálicas [. . .] flotantes en el sima”, el cual “cede –en palabras de Wegener–, hundiéndose, bajo el peso de los témpanos continentales, a la deriva y aun se alza en pos de ellos”. Así, por un lado, “la esencia del volcanismo radica en una expulsión pasiva de las masas de sima incluidas en la corteza de sial”; y por otro, las cordilleras requieren ser explicadas por grandes movimientos tangenciales, por lo que su construcción resulta “de un acortamiento por compresión bajo el régimen isostático”, de modo que el empuje lateral produciría una succión inicial que tendería a recuperar su equilibrio emergiendo por su contraste con las densidades rocosas del entorno. La disimetría de los perfiles transversales de las cadenas montañosas plegadas entraría igualmente dentro de sus argumentos.

Su recepción en la geografía española fue entusiasta. Dantín escribía en su prólogo de 1924 a esta obra que “no hay hoy, en la ciencia, sugestión más preñada de eficacia y de dinamismo que la del libro de este famoso geólogo, ni lectura que despierte curiosidad más viva y aguda”. En su artículo de 1923 afirmaba ya que, con la aportación de Wegener, “la Geología estaría hoy en uno de sus más interesantes momentos históricos”, pues su obra aborda “una nueva concepción acerca de la naturaleza y de la génesis de nuestra corteza terrestre”. Y reafirmaba que “aun cuando Wegener no desdeña la teoría isostática, la formación de las cordilleras de montañas se debe en la teoría wegeneriana a la resistencia que el sima opone a la marcha de los continentes a la deriva. Esta resistencia se traduce en una compresión que, al ejercerse sobre el frente del bloque continental en marcha, provoca su plegamiento”.

Recuerdo al profesor Terán enseñándonos en sus clases de geografía la teoría de Wegener a finales de los años cincuenta del siglo pasado. Era, para sus alumnos, entrar en los atractivos misterios de una endosfera impenetrable cuya observación sólo podía ser indirecta, como en

²¹Por isostasia se entiende la “tendencia de la corteza de la Tierra a mantener un estado de casi equilibrio [. . .]. Un ejemplo destacable son las profundas raíces que presentan las cadenas montañosas; a medida que aumenta la erosión reduciendo la altura de las montañas, se produce un fenómeno compensatorio en forma de nuevos levantamientos” (Whitten, D. y Brooks, J. (1980): *Diccionario de Geología*. Madrid, Alianza). El concepto fue propuesto por Airy y Pratt en el siglo XIX (Whittow, J. (1988): *Diccionario de Geografía Física*. Madrid, Alianza) y nombrado de tal modo por C. Dutton en 1882.

el seguimiento de las trayectorias de las ondas sísmicas en su travesía por rocas de distinta composición y diferente densidad, lo que llevó a Mohorovicic a establecer en 1909 la importante discontinuidad interna que hoy lleva su nombre, a 5 km bajo el mar y a 45 km bajo los continentes.

Respecto al acoplamiento geométrico de ambas márgenes del Atlántico meridional, recordaba Terán que ya Francis Bacon, había reparado en ello, sin sacarle, claro está, mayores consecuencias geográficas, pero Wegener argumentó su hipótesis en todos los campos, el geográfico, el geofísico, el geológico, el paleontológico y el paleoclimático, reuniendo los datos en un sistema razonable, en un alarde de síntesis y en una valiente innovación intelectual, aunque los motores de su sorprendente movilidad estuvieran todavía necesitados de mejores conocimientos. N. Ortega añadió entre los precedentes al ensamblaje afroamericano de Wegener en el siglo XX y de Bacon en el XVII, los propuestos por Placet, también en el XVII, en el XIX por Humboldt, quien supuso que el Atlántico podría haber sido un valle fluvial gigantescamente ensanchado, más tarde en el mismo siglo por Snider-Pellegrini (por analogías de fósiles), a quienes hay que sumar, ya en el XX, a Taylor, ya citado, muy confluente, y a Baker entre 1911 y 1928, por señalar concordancias entre las cadenas montañosas a ambos lados del océano. Anguita recuerda, a su vez, a Giordano Bruno (1548–1600), partidario de cambios en las posiciones de tierras y mares, y a Stiner en 1858 que sostenía ya “la fragmentación de un gran continente como origen de los actuales”.

En su artículo de 1970 no dudaba Terán en calificar la teoría de Wegener como “verdaderamente apasionante, inaugural”, aunque fuera sometida a “una implacable crítica” en varios aspectos, sobre todo en su consideración de las fuerzas necesarias para movilizar los bloques continentales. De este modo, “los fijistas, los creyentes en una distribución de las masas continentales estables desde los orígenes de la Tierra, en sus grandes rasgos, parecieron haber ganado la partida a los defensores de la movilidad continental”. Pero, a mediados de siglo, nuevos datos parecían hacer renacer, con ajustes y cambios convincentes, la hipótesis desdeñada, volviendo los ojos a los océanos.

La exploración científica de los fondos oceánicos, el conocimiento de sus rocas, espesores, dinamismos y topografía permitió construir el mapa de sus formas y de su constitución litológica, dando cuenta, primero, de su neta diversidad geológica respecto a las masas continentales y, segundo, de la existencia de una red de dorsales submarinas, de actividad volcánica fisural efusiva, ejes de una disyunción progresiva de ambos lados de sus productos, mientras, junto a los continentes, los arcos de islas pericontinentales y los volcanes cordilleranos presentan un

carácter explosivo, formando una banda de contracción. Lo que se ensancha desde las dorsales oceánicas se comprime, pues, de diversos modos en sus bordes de contacto con los continentes, como muestra el Cinturón de Fuego del Pacífico.

La movilidad comienza, por tanto, desde los fondos marinos, dando lugar a un mosaico dinámico de unidades geográficas a los que se concedió pronto el nombre de placas. Y su origen se encuentra bajo esa superficie, en las corrientes ascendentes y descendentes de las células de convección que se dan en el manto terrestre, causantes de las roturas y los empujes de la corteza, y en consecuencia, de su fragmentación y de los procesos que, recreciendo una y otra vez los continentes por sus bordes, van formando alineaciones montañosas inicialmente periféricas. Respecto al origen de las montañas, Anguita señalaba el papel clave que la ciencia posterior ha concedido en los orógenos a la subducción (hundimiento por compresión de un borde de placa de corteza bajo otra) en los arcos insulares, delatada por sus datos sísmicos.

Decía Terán que buena parte del éxito de la teoría de Wegener había consistido en dar una solución teórica al problema científico del origen de las montañas, cuando la vieja hipótesis de la contracción de la Tierra por enfriamiento estaba postergada, aunque aún perdurara en los manuales escolares.

Tras Wegener, numerosos estudios locales en profundidad en distintas montañas (Apalaches, Rocosas, Andes, Alpes, Himalaya, Pirineo, etc.) aportaron datos precisos que encajaron en el rompecabezas de su dispersión geográfica y mostraron la capacidad explicativa de los nuevos conceptos y métodos de trabajo. El tiempo y la eficacia de determinados datos y planteamientos a partir de la deriva continental han cribado finalmente la no pequeña deriva de las ideas surgidas al respecto.

“De hecho –indicaba N. Ortega–, la polémica entre partidarios y detractores de Wegener [. . .] mostraba, por una parte, la indudable grandeza conceptual de la teoría y, en segundo lugar, el profundo impacto que causó”. Y señalaba cómo, “en 1927, Arthur Holmes aportaba la idea de que las corrientes de convección en el interior de la Tierra podían ser la causa de los desplazamientos continentales y, poco después, F. A. Vening Meinesz señalaba” también que tales corrientes podían causar fenómenos estudiados en otras partes del Globo. Finalmente, sólo quedaba conocer la estructura reológica del manto y sus comportamientos mecánicos para dar con las claves del movimiento y establecer un modelo coherente que ensamblara todos los datos para que, ya en

los años sesenta del siglo pasado, se diera el nuevo paso sustancial en el conocimiento físico del planeta, entendiéndolo como un mosaico dinámico en el que las génesis de las montañas y los volcanes –tanto tiempo considerados fenómenos o lugares marginales– pasarán a ocupar un punto crucial.

A un paso de la tectónica global

Aunque el progreso en la interpretación de las fuerzas causantes de la formación de las montañas tomó internacionalmente desde los años sesenta del siglo XX el camino fértil de la tectónica global, investigadores concienzudos con experiencia rigurosa en la geología de cordilleras concretas permanecieron con sus propios datos y sistemas al margen del modelo general de las placas. Un ejemplo fue el del conocido geólogo ruso V. Belusov²², respecto a la dinámica de las fuerzas de compresión y extensión que generan las formas estructurales, muy detalladas, ordenadas e interesantes (deformaciones, dislocaciones, fracturas, pliegues, etc.) en su excelente tratado. Las consideró relacionadas con empujes y tracciones horizontales, con atención a sus manifestaciones y mecanismos más complejos –como los mantos alpinos–, manejando conceptos clásicos como el de geosinclinal o el de rift, pero sin mencionar aún los marcos dinámicos mayores descritos por la tectónica global. Incluso, en un escrito suyo de 1973, mostró su claro distanciamiento científico de la hipótesis de la expansión de los fondos oceánicos.

Lo que estaba asentado en aquellos años sesenta puede verse en muchos trabajos, pero otro libro especialmente indicativo de esas fechas fue la *Geología estructural* de L. U. de Sitter²³, que buscaba sistematizar los “conocimientos de detalle” y dar cuenta breve de las teorías orogénicas, pues éstas le parecían con “bases extremadamente débiles”. Con esta seria premisa, sintetizaba las sucesivas teorías históricas en las basadas en la contracción por enfriamiento, la expansión de calor radiactivo, la deriva continental, la de oscilación y undación y la de las corrientes de convección, que a su vez se compendia en tres hipótesis: la de las fuerzas laterales, la de las fuerzas radiales o verticales y las que las combinan, cuyas causas variarían desde las postuladas con origen en el interior de la Tierra a las que remiten a la corteza superficial. Aunque los hechos indicaban la existencia de compresiones laterales, en su criterio no había pruebas suficientes para aceptar sin

²²Béloussov, V. (1978): *Géologie structurale*. Moscú, Mir.

²³Sitter, L. U. de (1962): *Geología estructural*. Barcelona, Omega.

dudas las corrientes convectivas internas como su causa, lo cual le condujo a un “repaso crítico” de una supuesta teoría general. La diversidad de cadenas montañosas le llevó más bien a otorgar a cada una su propio carácter y no a buscar su base común, aunque ciertas comparaciones entre montañas diferentes pudieran mostrar analogías “chocantes”. Sin embargo, sus análisis de los arcos insulares o de las características de determinadas cordilleras simétricas (como el Pirineo) o las asimétricas (como los Alpes) se podrían acercar a interpretaciones que se incluyeron poco después en el rompecabezas dinámico de las placas. En suma, los hechos heterogéneos le hicieron concluir el siguiente dictamen rotundo: “es imposible establecer cualquier clase de prototipo de un sistema orogénico”.

En cambio, M. Mattauer, por citar un contraste, en algunas de sus obras más divulgadas²⁴ ofrece explícita la noción –en aquel año aún innovadora– de las placas corticales y de sus elementos, comportamientos, compresión, distensión y deformaciones a la escala del globo terrestre, situando su información en otro esquema intelectual y en una etapa decididamente moderna. En su secuencia de formación de una cadena montañosa incluye una “fase geosinclinal” (o de “surco sedimentario”), pero “provocada por fenómenos de distensión debidos a una separación de las placas”, utilizando, por tanto, un término clásico adaptado a los avances entonces recientes de la ciencia. Todo estaba cambiando en la comprensión de la formación de las montañas. Y así, concluía Mattauer, en relación con este mundo de hipótesis y hallazgos: “nos encontramos, por lo tanto, en una época de transición, de desorden y de revolución, en la que el entusiasmo más completo puede rodearse del escepticismo más profundo”. En su libro de divulgación sobre la geología de las montañas insistía en este aspecto revolucionario de la tectónica de placas al ofrecer un “cuadro planetario a la formación de las cadenas”. En los episodios de sus “geografías sucesivas” se reconstruyen las arquitecturas variadas de las montañas como una parte esencial de la “historia del mundo”, utilizando datos probados y coherentes, sin duda, y también instrumentos intelectuales que explican, mediante los entonces nuevos modelos, los mecanismos de los desplazamientos de la corteza terrestre en sus geometrías antiguas y actual.

²⁴Mattauer, M. (1976): *Las deformaciones de la corteza terrestre*. Barcelona, Omega. Y, del mismo autor (1989): *Monts et merveilles. Beautés et richesses de la géologie*. París, Hermann.

Volvamos a décadas anteriores. Como testimonio nuestro, en 1958 publicó el Instituto Geológico y Minero de España un volumen de 474 páginas y 81 láminas que tituló *Resumen de la historia geológica de la Tierra*²⁵, en el que se ofrecía el modo vigente de entender la formación de las grandes cadenas montañosas: “el conjunto de cimas (y de depresiones) debieron seguir alineaciones orientadas en determinadas direcciones sobre bloques más o menos elevados y hundidos. La rotación de la Tierra y los movimientos del magma fluido, agitado por otras fuerzas, determinarían aquella orientación”. Y así se formarían los geosinclinales entre bloques laterales que acabarían presionando y ocasionando el plegamiento de los sedimentos acumulados en aquellas depresiones hundidas en un proceso “lento y continuo”. De este modo, dichos “pliegues de los estratos pueden ser producidos por presiones laterales o de fondo o por ambas a la vez”. Y “el resultado es que se forman cordilleras alineadas y adosadas a lo largo de masas rígidas”, llamadas cratones. Tras esta surrección y su erosión se repetirá el proceso “una y otra vez”, en el nuevo borde continental.

Algo antes, en la mejor tradición de la capacidad de síntesis de la ciencia francesa, Marcel Roubault sacó en 1949 un libro didáctico sobre la génesis de las montañas²⁶. Era, como vemos, ya un momento de reunión de muchos saberes, aunque aún anterior al gran modelo de la tectónica global. Los datos manejados son particularmente expresivos de tal escalón en el conocimiento general de la dinámica del Globo.

Empieza el libro por enfocar las causas de la formación de los relieves en dependencia de la geofísica general del globo terrestre, lo que estima cargado de novedades no nacidas del subjetivismo sino de la medición científica y sus razonamientos derivados. Eran ya entonces variados los conceptos propuestos y los fenómenos estudiados por la geofísica en relación con la tectónica. Por ejemplo, la isostasia, término introducido por Dutton en 1889, y sus aplicaciones teóricas y geográficas, o la termicidad del globo o la noción de geosinclinal, que ya hemos anotado, introducida por Hall en 1859 y denominada así por Dana en 1873, en razón de la composición rocosa de las montañas y sus deformaciones. O el concepto de subsidencia, o la existencia de los mantos de corrimiento, o la posición preferente de las cordilleras en los bordes continentales e incluso, en casos, de profundas fosas submarinas. Roubault daba además prioridad

²⁵Almela, A. y Sanz, R. (1958): *Resumen de la historia geológica de la Tierra*. Madrid. Memorias del Instituto Geológico y Minero de España, Tº LIX.

²⁶Roubault, M. (1949): *La genèse des montagnes*. París. PUF.

a los datos procedentes de la sismología y, desde ella, al papel básico de las dislocaciones laterales y verticales del terreno en los relieves construidos en el terciario, tanto en sus marcadas alineaciones de América como de Eurasia. Los hechos expuestos parecían pedir explicaciones concausales.

Al repasar las ideas tradicionales, Roubault recordaba la persistencia de la teoría de la contracción por enfriamiento de la esfera terrestre. Fue vigente hasta las hipótesis de Saussure desde finales del siglo XVIII sobre la existencia de fuerzas laterales en los pliegues de los Alpes y a la formulación de Beaumont, ya en 1852, de la presencia en la corteza terrestre de compresiones y extensiones que afectaban a su morfología. Pero, sobre todo, estaba ya, a mediados del siglo XX, con entidad en el tablero la teoría de la deriva continental de Wegener, de 1912, que, como hemos comentado, tuvo muy amplia difusión. De ella se derivaba, como es sabido, la formación de las montañas (Alpes, Andes, Rocosas, Himalaya, etc.) a partir de movimientos laterales de la corteza terrestre y sus compresiones resultantes. Dentro de esta línea, la aportación de Argand en 1922 sobre la tectónica de Asia fue decisiva para aplicar la formación movilista de las montañas a casos concretos y para proponer unos cortes geológicos que preludiaban con claridad su actual entendimiento. El motor de los desplazamientos corticales y de la génesis tangencial de las montañas tuvo además una hipótesis interesante en los trabajos de Griggs que ya hemos mencionado, publicados en 1932, con experimentación de fuerzas internas que pueden ocasionar con carácter cíclico succiones en la corteza (nuevamente las fosas llamadas geosinclinales, establecidas por Dana, Hall y Haugh) o que se traducen en levantamientos de relieves y plegamientos, derivándose tales fuerzas de profundas corrientes magmáticas a modo de células de convección. Nuevamente, parece como que casi todo estuviera dispuesto en el escenario para que, completado este panorama con nuevos datos y argumentos en tal línea, se permitiera la trabazón dinámica que efectivamente se logró en el modelo de la tectónica de placas. Hay que añadir los numerosos y excelentes análisis locales de montañas, gracias a los cuales no sólo se aportaron datos precisos sobre los relieves estructurales, sino que se cotejaron hipótesis y realidades, particularmente en los Alpes.

Algo similar ocurre con Rittmann en los argumentos finales de su excelente tratado de volcanología, al considerar las causas del volcanismo²⁷. Dadas las fechas de su aportación, el conocimiento de la estructura, de la composición y de la dinámica corticales y subcorticales tenía sus limitaciones, pero, al mismo tiempo, los datos existentes permitían ya conexiones que anticipaban atisbos del sistema de la tectónica global.

²⁷Rittmann, A. (1963): *Les volcans et leur activité*. París, Masson.

Los volcanes activos han estado presentes en la cultura mediterránea desde la antigüedad y han sido descritos, interpretados, cantados y sufridos repetidas veces por autores muy conocidos. También en los siglos XVII, XVIII y XIX el viaje al Vesubio y al Etna se convirtió en una experiencia viajera y en un acicate para la ciencia de la Tierra e incluso para el arte, para la literatura y la pintura. Desde el siglo XVI los exploradores de las Indias subieron a los volcanes americanos, entraron en sus cráteres, unas veces por utilidad, alguna por codicia y otras preguntándose sobre sus causas y sus posibles espíritus, e incluso escribieron ensayos sobre estas cuestiones o describieron uno de sus lagos de lava en un documento pionero²⁸. Pero fue en el paso del siglo XVIII al XIX, con la sustitución de las tesis neptunistas por las plutonistas, cuando se interpretaron correctamente y adquirieron su puesto correcto y su propia entidad en el conjunto de los fenómenos y las dinámicas terrestres. Concretamente, los trabajos de Desmarest en Auvernia, que postularon el origen volcánico de los basaltos (1763), y la teoría de Hutton (1795) fueron las bases de tal cambio, aunque otras hipótesis, como la de los llamados cráteres de levantamiento, complicaran las explicaciones de la morfología volcánica²⁹. Respecto a ésta fue una notable síntesis de sus avances la publicación en 1944 del libro clásico de Cotton, con expresivos dibujos y con atención a los mecanismos característicos y a once tipos de paisajes. La influencia davisiana es visible en el limpio estilo de tales imágenes y en el capítulo final sobre erosión³⁰. En otra ocasión comentaré algunos de los pasos sustanciales dados desde Lyell a Tazieff en la interpretación del volcanismo y sus formas de relieve.

Volvamos a Rittmann. Afirmaba, por ejemplo, que “es significativo que las fosas oceánicas no aparecen sino sobre los márgenes de un continente sobre el cual una cadena joven de montañas determina una divisoria de aguas cerca de la costa, o bien allí donde el continente se ha hundido bajo el nivel del mar y se encuentra bordeado por un arco de islas”. Pero el concepto de subducción,

²⁸Martínez de Pisón, E. (1993): “La primera imagen geográfica de los volcanes de América”. *Alisios*. 3.

²⁹En la biblioteca de la Universidad de La Laguna se pueden consultar los viajes canarios de Humboldt y de von Buch en las siguientes ediciones: Humboldt, A. de (1816): *Voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent*. París, Librairie Grecque-Latine-Allemande. Buch, L. de (1836): *Description Physique des Îles Canaries suivie d'une indication des volcans du globe*. París, Levrant. Ver también: García Cruz, C. M. (2016): “Leopold von Buch (1744–1853), las Islas Canarias y el origen de la teoría de los cráteres de elevación”. *LLULL*, 39.

³⁰Se reeditó en facsímil la impresión de 1952: Cotton, C. A. (1969): *Volcanoes as landscape forms*. Nueva York, Hafner. Sobre la tradición artística en la representación de los relieves, ver: Martínez de Pisón, E. y Frochoso, M. (2024): “Raíces de las expresiones pictóricas del relieve de montaña. Revisión desde sus fundamentos alpinos”. En Martínez de Pisón, E. y Ortega, N. (eds.): *Modos de expresión del paisaje: de la ciencia al arte*. Madrid, Fundación Duques de Soria.

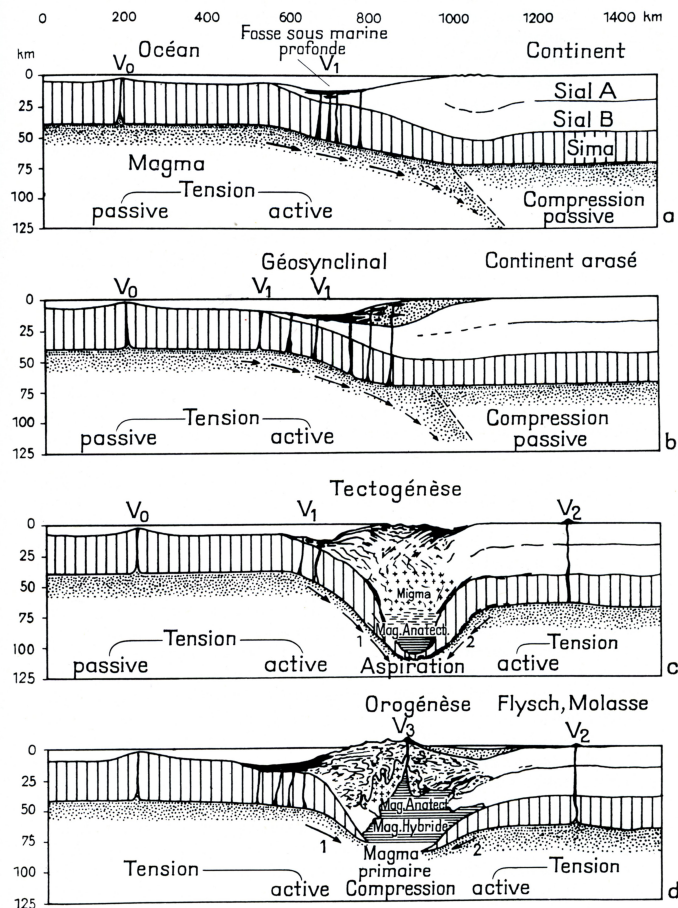


FIG. 168 (texte page 366).

Figura 5: Etapas de la orogénesis, según Rittmann (1963).

aportado por Amstutz, definía ya, de modo complementario y relacionable, “el transporte hacia la profundidad de segmentos de corteza” y los fenómenos de compresión en ésta y bajo ella. De esta manera, sin perder aún la ideas tradicionales del geosinclinal, del sial y del sima, Rittmann sintetizaba la formación de tales montañas en cuatro fases: la primera de compresión y subducción profundas en un borde continental, la segunda de formación de la fosa geosinclinal en la superficie de tal borde como un “período de incubación”, la tercera de tectogénesis local con metamorfismo, anatexia, formación de magmas internos e inyecciones de volcanes periféricos, y la cuarta de orogénesis, con compresión profunda, plutonismo, empuje ascensional de la cordillera, mantos de corrimiento y volcanismo. Así, las “corrientes subcorticales” aparecían ya como el motor

básico de tal evolución. En suma, desde su perspectiva, concluía que “no se pueden comprender los volcanes y su actividad sino en el cuadro de una teoría geodinámica general”. Tal teoría estaba a punto de nacer.

En uno de esos años que hemos ido transitando, en 1922, Pierre Termier había dedicado un capítulo de su libro *À la gloire de la Terre*³¹ a la geología de los Alpes, transcripción de una conferencia suya de 1906 en Lieja. En ella repasaba las aportaciones a tal conocimiento en el último tercio del siglo XIX y principios del XX, citando los trabajos de Lachat, Lory, Suess, Heim, Bertrand, Kilian, Schardt, Ritter, Franchi, Uhlig y Lugeon, con la conclusión de una tectónica de mantos rocosos desplazados de su lugar de origen formando escamas y, en suma, “*un pays de nappes*”. Su exposición mostraba que la construcción del modelo científico del que derivaban los edificios montañosos alpinos estaba ya armada y difundida. Además, Termier, con alma de poeta, escribía en el prólogo de su libro: “la Tierra se me ha mostrado desde mi juventud como infinitamente bella; digna de ser recorrida, estudiada, explicada y cantada”. Y recordaba la frase de un escritor: “¡Ah! ¡Nos acordaremos de este planeta!”.

2. ESCULTURA DE LAS MONTAÑAS

“La tentativa de descomponer en sus diversos elementos
la magia del mundo físico, llena está de temeridad”.

Alejandro de Humboldt, *Cosmos* (1845).

El juego perpetuo de las aguas

Es afamado el *Discurso* de D’Arcet (1775–1776) entre los pirineístas³², pero su valor geográfico es más que local, pues se refiere a la morfodinámica fluvial de la montaña con una clara repercusión más general. Hay que pensar en la importancia que adquirió el fluvialismo en la

³¹Termier, P. (1922): *À la gloire de la Terre. Souvenirs d’un géologue*. París, Desclée, de Brouwer.

³²D’Arcet (1776): *Discours en forme de dissertation sur l’état actuel des montagnes des Pyrénées et sur les causes de leur dégradation*. París, P. G. Cavelier. Reedición en Toulouse, Sirius, 1986. Ver su comentario en Martínez de Pisón, E. (1990): “El Discurso de D’Arcet”. *Ería*, 22.

geomorfología posterior como agente clave en la disección de los relieves para situar en la historia científica y en su justo valor aquella aportación. Y hay también que ponderarlo en relación con el avance que supuso respecto a las interpretaciones anteriores de los procesos físicos de la naturaleza y sus edades³³.

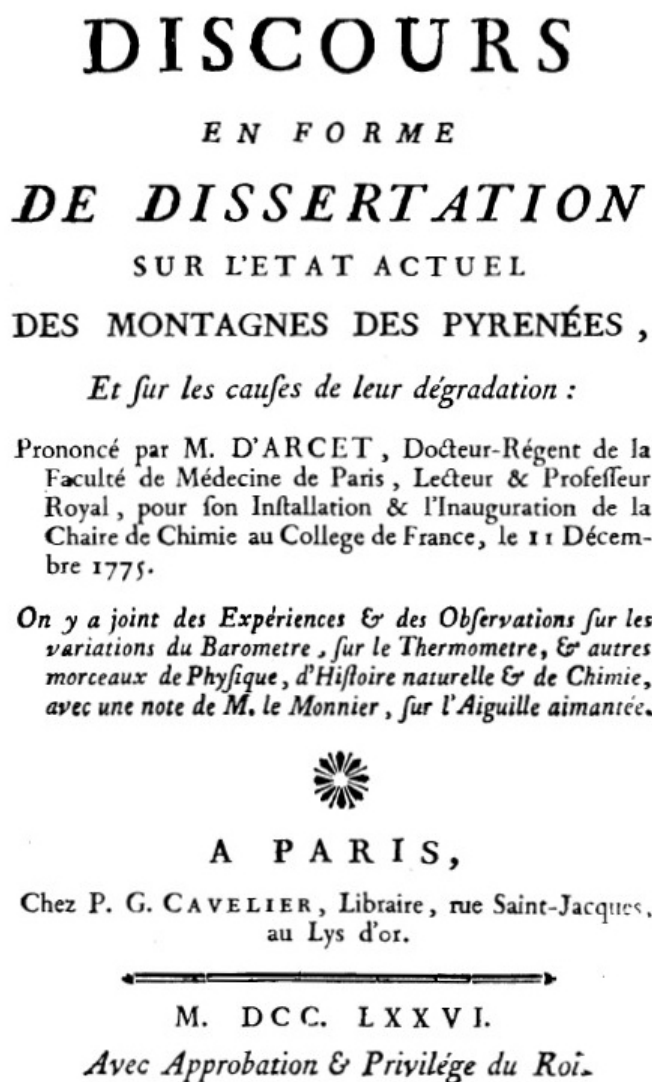


Figura 6: Portada del *Discurso* de d'Arcet (1776).

³³Broc, N. (1969): *Op. cit.* París, Bibl. Nationale.

En momentos cercanos al *Discurso*, ya había postulado Bourget el papel modelador inicial de la meteorización en el desalojo superficial del roquedo y de la arroyada como mecanismo de erosión, transporte y sedimentación; también Buffon se había referido a los agentes de la intemperie y a las corrientes de agua en la formación de barrancos, incluso pensando en una evolución del relieve montañoso hacia su aplanamiento, pero no concedía a los ríos la capacidad de apertura de los grandes valle terrestres.

D’Arcet, que parte de un conocimiento empírico de los valles a los que se refiere, habla de sus observaciones, donde ha constatado cambios continuos que van degradando, en un “juego perpetuo”, los relieves montañosos y acumulando los depósitos así generados en los llanos inmediatos. Y tal proceso sería debido para él a que la acción de las aguas es capaz de abrir sus cursos y de acarrear sus aluviones, abandonándolos finalmente al pie de la montaña.

Se iniciaría, pues, el proceso, según su descripción, en las altas rocas desnudas donde hielos, nieves y lluvias aportan agua a la superficie de la montaña y proseguiría pendiente abajo por la capacidad de tal líquido tanto de ir cavando torrenteras como de transportar los materiales excavados. Junto a procesos de erosión lentos, unos casi invisibles y otros perceptibles, relacionados con el clima, como alteraciones y roturas por el hielo, o con la vegetación y las corrientes de agua, D’Arcet anota los episodios violentos, los “estados convulsivos”, las riadas, el acarcavamiento, las corrientes de fango, los arrastres torrenciales, los desprendimientos de laderas y los aludes.

Todo ello supone una denudación de la roca, su rebajamiento progresivo y, en suma, la ruina del relieve, mientras recrecen los fondos de los valles con las acumulaciones de sus acarreo fluviales. Finalmente, por tanto, todo parece tender al “aplanamiento de los terrenos”. Conocer en detalle tales procesos requeriría observación y experimentación, pero D’Arcet confiaba en el progreso de la geografía de su tiempo para llevarlas a cabo. Recordé hace años, en este sentido, su intuición literaria de raíces bíblica y clásica –en Ovidio–, mediante la cita de Terán de unos versos de Berceo (siglo XIII): “aplanarse han las sierras y los oteros; / serán de los collados los valles compañeros”. A la que añadí otra de Ronsard (siglo XVI): “El valle de Tempé un día será montaña, / y la cima de Athos una ancha campiña: / en algún momento Neptuno estará cubierto de trigo: / la materia persiste y la forma se pierde”. Una idea que retorna.

No cabe duda de que el finalismo del ciclo de la erosión fluvial de W. M. Davis (1850-1934), el fundador de la geomorfología moderna, tuvo sus remotas raíces en trabajos como la innovadora disertación de D'Arcet y, poco después, en las tesis de Soulavie, aunque la duración de sus procesos estimada inicialmente tropezara con las edades de la Tierra que se manejaban en el siglo XVIII. Aún en este siglo y a principios del XIX, Guetard, Deluc, Marivetz, Goussier, Buat, Volney, Lamarck, Playfair y también de Saussure en los Alpes y el Etna, así como Palassou y Ramond en el Pirineo insistieron en el papel modelador de los agentes externos y las corrientes fluviales. Por un lado, se explicaban así, como un progreso, grandes formas de modelado en las montañas y, por otro, las montañas mostraban mediante observaciones concretas una clave que podía extenderse ampliamente a muchos otros paisajes, incluso en demasía. No está de más recordar de paso que, en un reciente manual de Geografía física³⁴, se dedicaba aún un capítulo, titulado “Ciclo de denudación continental”, a seguir las etapas davisianas de la evolución de la erosión fluvial (juventud, madurez y senectud y acaso rejuvenecimiento), extendiendo tal modelo de evolución ideal por fases a regiones climáticas costeras y rocosas más allá de los ríos.

Los glaciares y la glaciación

La atención cultural, incluso artística y, en concreto, científica a los glaciares alpinos tiene su momento de expansión en la segunda mitad del siglo XVIII, aunque hay testimonios escritos y gráficos anteriores de evidente interés. Pero son las publicaciones de Gruner³⁵, Bourrit³⁶ y – sobre todo– de Saussure³⁷ las que abren, con sus observaciones, una mirada nueva, introduciendo el último un planteamiento moderno sobre su física y su geografía. Ha recogido Carozzi sus anotaciones desde 1760 a 1796 sobre los hielos de los Alpes, que le convierten en uno de los “pioneros” de la glaciología, con escasos precedentes, como L. Baulacre y su *Lettre sur les glaciers de Savoie*, de 1743. Desde sus primeras excursiones observa de Saussure la estructura del hielo, su formación y sus caracteres superficiales (grietas, séracs, adaptaciones al lecho,

³⁴Strahler, A. N. (1974): *Geografía Física*. Barcelona, Omega.

³⁵Gruner, G. S. (1770): *Histoire naturelle des glaciers de Suisse*. París, Panckoucke.

³⁶Entre otras obras, Bourrit, M. Th. (1773): *Descriptions des glaciers, glaciers et amas de glace du duché de Savoie*. Reedición en Ginebra, Slatkine, 1977; (1776): *Descriptions des aspects du Mont-Blanc*. Lausana, Société Typographique; (1785): *Nouvelle description générale et particulière des glaciers, vallées de glace et glaciers qui forment la grande chaîne des Alpes de Suisse, d'Italie et de Savoye*. Ginebra, Barde.

³⁷De Saussure, H.-B. (1779–1796): *Voyages dans les Alpes*. Primer tomo en Neuchatel, Fauche.

mecanismos de deslizamiento y movimiento, velocidad, transporte de material rocoso, fusión frontal, morrenas, rocas aborregadas, etc.), diferenciando dos tipos de glaciares (de valle y de circo), bautizando con nombres hoy habituales en todas las lenguas los fenómenos que observa (sérac, morrena, roca aborregada), y actuando así como un verdadero descubridor de un paisaje.

En tales trabajos, de Saussure también estudia casos locales, como en 1778 en los glaciares de Bossons, Mer de Glace, Brenva, Valsorey, Ródano y l'Allée Blanche (agujas de hielo, agrietamiento, frente glaciar, mesas de glaciar, morrenas medianas), para cuyos elementos busca siempre una explicación dentro de una teoría coherente de los glaciares. Su atención también responde al conjunto de componentes y acciones, desde el origen del hielo a su fusión; igualmente a la clasificación de las morrenas (laterales, medianas y frontales) y a su modelado en valles en forma de artesa. Tal afán de conexión construye una sistematización de sus numerosas observaciones, con hipótesis sobre su equilibrio, su dinámica, sus fluctuaciones, como una muestra de la relación en toda la naturaleza entre fuerzas generadoras y destructoras. En otros aspectos, el entusiasta y metódico, el hombre de campo, experiencia y pensamiento, no entró y, con ello, dejó materia nueva por mostrar y entender a sus seguidores.

La atracción que la montaña ejerció sobre las gentes de la cultura, del arte a la ciencia, con el ejemplo estimulante de H. B. de Saussure y de Humboldt, más el ensueño romántico, tuvo un foco especial en el análisis físico y en la observación geográfica de los glaciares. La recopilación de datos fue creando el cuerpo de una ciencia nueva, la glaciología, y ésta a su vez proporcionó datos rigurosos sobre uno de los componentes más significativos del paisaje de las grandes montañas. Aún en momentos positivos de la Pequeña Edad del Hielo, tal elemento característico presentaba en los Alpes dimensiones apreciables, cierta estabilidad, con los frentes de sus lenguas alcanzando cotas relativamente bajas, en contacto frecuente con los valles poblados. Accesibilidad y presencia cotidiana facilitaron su visita, recorridos, descripción, pintura y estudios.

Indicaba Lliboutry³⁸ que, aunque hubo precedentes en el señalamiento de glaciares desde Estrabón y en su dinámica en los Alpes con Scheuchzer en 1705, las primeras observaciones científicas sobre tales cuerpos de hielo alpinos fueron las efectuadas por de Saussure. Posteriormente, la ciencia se interesó por su movimiento y volumen, su evolución en el Cuaternario y actual, sus caracteres polares y sus aspectos técnicos. Las observaciones centradas en el movimiento del hielo

³⁸Lliboutry, L. (1964): *Traité de Glaciologie*. París, Masson, 2 tomos.

aparecen con Bordier en 1773 y aumentan en el siglo XIX, con Readu, Lord Kelvin, Moseley, Forel y Connell. Ya en el XX, Tarr y otros autores, incluso con experiencias de Finsterwalder en el Himalaya en 1934, profundizan en la materia, y la publicación de un trabajo de Dobrowolski en 1923 puede considerarse ya un análisis glaciológico metodológicamente moderno. Las mediciones de velocidad superficial también remiten a Forbes, a Hugi, Vallot y otros, entre ellos Agassiz, quien plantó en 1840 las primeras balizas de ablación en el glaciar Unteraar. En 1872 Eugène Trutat introdujo también estacas en el pirenaico glaciar de la Maladeta con el mismo fin³⁹. Los sondeos sísmicos comenzaron en los Alpes en 1926 y se volvieron frecuentes en los años posteriores, lo que, entre otras investigaciones, indica cómo se fue pasando de la observación viajera a métodos y técnicas de trabajo más sofisticados, así como a conocimientos también más complejos y precisos.

El estudio de la evolución glaciar tiene una historia especialmente nutrida, donde convergen geología y geografía en estudios cuaternaristas y geomorfológicos, que se propagan por todas las cordilleras, pero que tuvieron su momento de verdadera explosión con las tesis de Venetz, Charpentier y Agassiz desde los años veinte, treinta y cuarenta del siglo XIX, siendo el último desde su obra en 1847⁴⁰ el verdadero paladín de la teoría de la gran glaciación en el pasado de los Alpes. Cuenta Stanislas Meunier en su libro *Les Glaciers et les Montagnes*⁴¹, de 1920, que, cuando Agassiz, en el discurso de apertura de la reunión de la Sociedad Helvética de Ciencias Naturales en Neuchatel del 24 de julio de 1837, anunció que había existido un “período glaciar” hubo un “grito general de imposibilidad y negación”, pues atentaba a las ideas recibidas “de la mayor parte de los geólogos que estaban entonces a la cabeza de la ciencia; y el más célebre, Leopold von Buch, se retiró de la reunión exclamando: – *O sancti de Saussure, ora pro nobis*”.

Agassiz publicó en un difundido artículo divulgativo⁴² que “hay ciertos hechos que identifican los glaciares actuales y constituyen una prueba de que antiguamente tuvieron una extensión mayor”, como formas de erosión indudables (estrías, pulimentos) y depósitos inequívocos; y

³⁹San Román J. y Piedrafita, J. L. (2023): “Eugène Trutat: naturalista y fotógrafo de los Pirineos”. *Naturaleza Aragonesa*, nº 40.

⁴⁰Agassiz, L. (1847): *Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels, leur structure, leur progression et leur action physique sur le sol*. París, Masson.

⁴¹Meunier, S. (1920): *Les Glaciers et les Montagnes*. París Flammarion.

⁴²Agassiz, L. (1971): “Las masas de hielo sobre la Tierra”. En Leet, L. D. et al.: *El mundo de la geología*. México, Grijalbo.

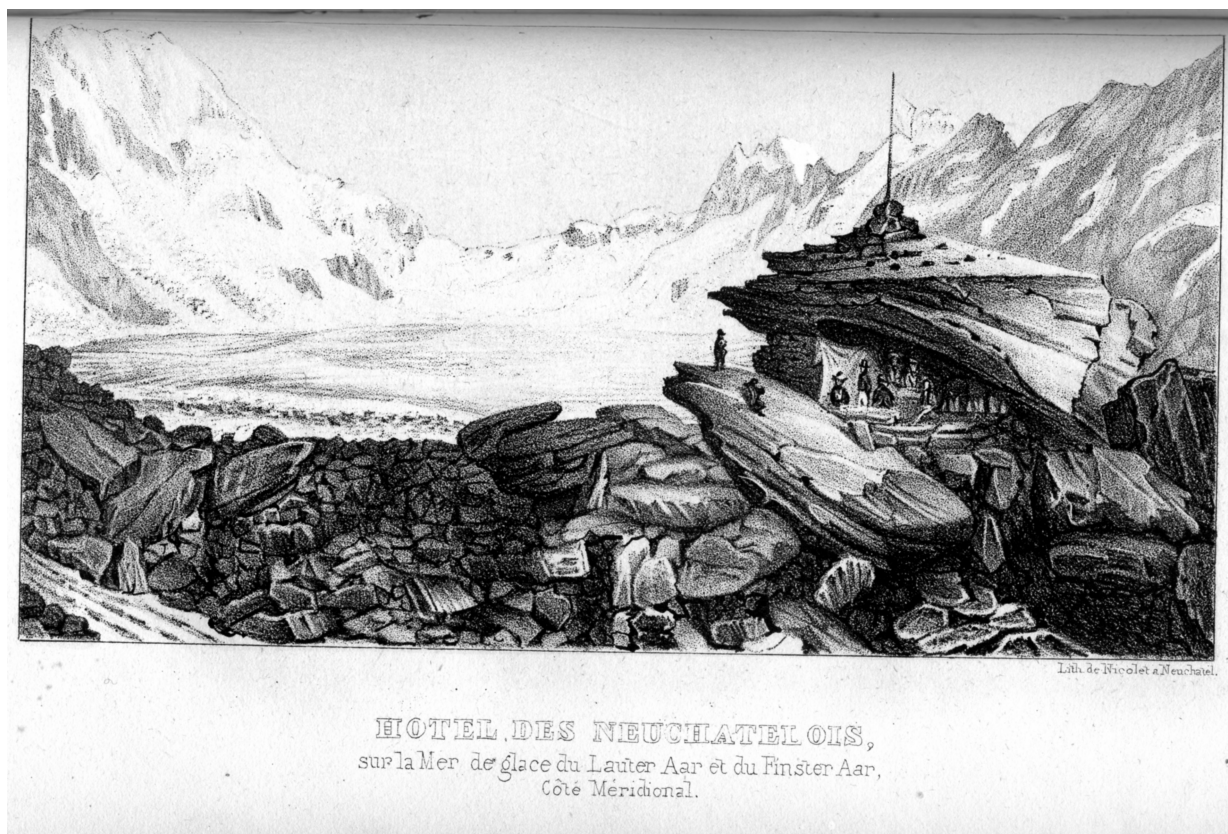


Figura 7: El “Hotel de los Neuchateleses”, según Desor (1844).

tales acarreos, las morrenas, “constituyen las huellas del retiro de un glaciar” cuando éste se va confinando en sus montañas, indicando sus edades antiguas relativas. Con ello, sería posible reconstruir las dimensiones de tales glaciares del pasado, sobrepasando los mismos Alpes o cubriendo amplias extensiones en América septentrional y el norte de Europa. Las cadenas montañosas actuaron, así, como “centros de dispersión glaciar”. De todos modos, se ha escrito que un cazador de rebecos en los Alpes ya había pensado en 1815 que grandes glaciares habían cubierto antaño el valle que habitaba por las señales que veía en las rocas⁴³ y un poeta amigo de Agassiz había intuido en 1837 la existencia de una antigua edad glaciar (Eiszeit), el mismo año del famoso discurso.

Parece ser que, en la excursión geológica que hubo en aquella reunión tras la disertación de Agassiz, los grandes personajes de la ciencia de entonces que asistieron a ella andaban malhumorados sin dirigirse la palabra. Pero Agassiz era persistente y, con nuevos datos y escritos, insistió en

⁴³Hallam, A. (1985): *Grandes controversias geológicas*. Barcelona, Labor.

su teoría, encontró serios apoyos (Lyell, Geikie, Ramsay, Dana) y hasta pasiones por los bloques erráticos⁴⁴. Los trabajos concienzudos sobre morfología glaciar fueron reconstruyendo luego, y se prolongaron en el siglo XX, los espacios concretos cubiertos por los antiguos glaciares y dando sus edades y sus nombres a las sucesivas etapas o glaciaciones que se fueron constatando. Estas son las investigaciones en las que nos hemos movido al estudiar las montañas en sus espacios concretos y en su relación con los conocimientos generales.

Las estancias de Agassiz para realizar nuevas comprobaciones, tras su discurso, sobre los hielos glaciares alpinos quedaron descritas por E. Desor en una obra atractiva⁴⁵, precedida por una nota glaciológica del primero en la que analizaba los glaciares e insistía en la existencia de una “época helada”, intermedia ente dos estados de la vida planetaria. Al seguir el relato de Desor, en cierto modo se participa en aquellos internamientos y estancias en las soledades e intemperies alpinas de la época, así como en los trabajos pioneros de descubrimiento científico de la alta montaña, obteniendo un testimonio tanto del estado glaciar alpino en aquellos momentos como de la aventura de tales expediciones.

Tricart y Cailleux recogían en 1962⁴⁶ un curso de su serie de morfología climática, inventariando y agrupando conocimientos en más de 500 páginas. Arrancaban con un mapa de lo ya reconocido como extensión de la glaciación en Eurasia en el máximo würmiense, según Frenzel y Troll. Sólo detrás de ese mapa había una ingente investigación local y regional, una multiplicidad de análisis especializados y no pocas síntesis e hipótesis para lograr su mirada de conjunto; está claro que tales referencias son imposibles de recopilar en una sola nota. Sólo sobre la sucesión de glaciaciones, los autores citaban, muy selectivamente y sin hacer su historia, 132 trabajos y sobre su influencia morfogenética añadían otras 102 referencias. Los asuntos abordados en aquel curso indican bien los campos de estudios convergentes que alimentaban a los conocimientos geomorfológicos: condiciones físicas del fenómeno, extensión y reparto del mismo, su clasificación, dinámicas y formas, la nivología, paleogeografía glaciar, glaciaciones, dinámica glaciar, flujo, corrientes, velocidades, depósitos, lechos glaciares, aguas, secuencias e influencias geográficas del glaciario.

⁴⁴Respecto a esta historia, ver el libro didáctico de Woodward, J. (2022): *La Edad del Hielo. Una breve introducción*. La Laguna, Universidad de La Laguna.

⁴⁵Desor, E. (1844): *Excursions et séjours dans les glaciers et les hautes régions des Alpes, de M. Agassiz et ses compagnons de voyage*. Neuchatel, Kissling y París, Maison.

⁴⁶Tricart, J. y Cailleux, A. (1962): *Le modelé glaciaire et nival*. París, SEDES.

En 1947 publicó R. F. Flint una obra sobre el glaciario pleistoceno, que revisó diez años después⁴⁷ y retomó en 1971⁴⁸, que es una excelente muestra del nivel alcanzado entonces por los conocimientos estructurados sobre la evolución glaciaria, así como de su constante suma de aportaciones. Flint expuso el proceso seguido desde la historia de la “teoría glaciaria”, con su arranque en el siglo XIX, ponderó la contribución, entre otros, de Penck desde 1882⁴⁹, de la estratigrafía y de los estudios sobre la variación del nivel marino, mostrando las etapas y contribuciones al entendimiento global de la evolución de los glaciares; y además, realizó una rigurosa revisión de los variados aspectos y diversos lugares del glaciario terrestre. Es evidente que tal progreso de adquisición de datos y de construcción de sistemas fue debido sobre todo a la progresiva exploración científica de las montañas. En 1968 apareció también y se reeditó en 1975 el libro *Glacial Geomorphology* de Embleton y King⁵⁰, muestra igualmente de la consolidación de esta especialidad y de su gran utilidad para la investigación científica de los paisajes de montaña.

En 1972 Embleton ofreció una recopilación muy interesante de trece trabajos sobre erosión glaciaria de otros tantos autores de lengua inglesa⁵¹, desde Forbes (1843) a Weertman (1964), destacando en ellos un artículo de W. M. Davis, de 1900, y otro de F. E. Matthes, de 1930. El trabajo de este último es un espléndido resumen de las formas del valle de Yosemite⁵², donde se ponen en relación con la excavación subglaciaria las características de la fracturación del lecho granítico, de la que resulta una modalidad de erosión diferencial, distinguiendo así áreas de abrasión y de arrancamiento de la roca. En 1971 habíamos observado en la Sierra de Gredos una relación idéntica y más tarde analizamos las diversas hipótesis sobre tal excavación⁵³.

⁴⁷Flint, R. F. (1957): *Glacial and Pleistocene Geology*. Nueva York, John Wiley.

⁴⁸Flint, R. F. (1971): *Glacial and Quaternary Geology*. Nueva York, John Wiley.

⁴⁹Por ejemplo, Penck, A. (1885): “La période glaciaire dans les Pyrénées”. *Bull. Soc. Hist. Nat. de Toulouse*, XIX:

⁵⁰Embleton, C. y King, C. (1975): *Glacial Geomorphology*. Londres, Arnold.

⁵¹Embleton, C. (1972): *Glaciers and glacial erosion*. Londres, MacMillan. También en los primeros años setenta, Price, R. J. (1973): *Glacial and Fluvio-glacial Landforms*. Edimburgo, Longman. Post, A. y La Chapelle, E. R. (1971): *Glacier Ice*. Seattle, The Mountaineers y University of Washington Press.

⁵²Matthes, F. E. (1930): “Geologic History of the Yosemite Valley”. *Professional Paper of the U. S. Geological Survey*, 160. Del mismo (1950): *The Incomparable Valley*. Berkeley, University of California Press.

⁵³Martínez de Pisón, E. y Muñoz, J. (1973): “Observaciones sobre la morfología del Alto Gredos”. *Estudios Geográficos*, nº 129. Y Martínez de Pisón, E. y Arenillas, M. (1976): “El problema de la sobre-excavación glaciaria”. *Estudios Geográficos*, nº 143.

Sobre el trabajo de Davis⁵⁴, señalaba Embleton que representa tanto su entendimiento de la efectividad de la erosión glaciár como su método deductivo. Hay que añadir la claridad de comunicación y el buen estilo de sus ilustraciones dibujadas. Uno de sus apartados se titula además expresivamente “*Practical utility of the ideal glacial cycle*”. Es ideal, pero es ciclo. Mientras se desarrollaban los trabajos de investigación que hasta hoy mismo han ido y van esclareciendo la morfología glaciár de montañas específicas, con sus mapas, dataciones, pruebas y argumentos, en un progreso obvio, también la teoría de la erosión glaciár tuvo sus demostraciones, importantes como doctrina general y por su vertiente didáctica, con frecuencia más atenta a la síntesis que al análisis. En ella adquirió especial importancia la aportación de W. M. Davis por su conceptualización, su aplicabilidad, claridad de ilustración y recurso pedagógico, por lo que ha trascendido, simplificada, a los manuales. Desde 1892 se ocupó Davis de la erosión glaciár y prosiguió en su descripción y explicación en repetidas ocasiones, aunque en sus lecciones tomara tal acción como un accidente que podría interferir en el patrón universal del ciclo llamado normal⁵⁵ e incluso tener su propio ciclo de modelado.

A finales del siglo XIX, en sus *Leçons de Géographie Physique*, Lapparent⁵⁶ expuso sintéticamente los principales caracteres del modelado glaciár con conceptos ya modernos, lo que muestra el avance en el conocimiento de los hielos terrestres⁵⁷. Sigue inicialmente a Penck para indicar la abundancia de glaciares de montaña y su elevada capacidad modeladora, acentuada por sus enérgicos relieves y declives. Describe después la secuencia erosiva, que comienza en la acción desagregadora, por la acción del hielo-deshielo y de las oscilaciones diurnas de las temperaturas, sobre el roquedo desnudo de la alta montaña y prosigue por su evolución en caídas, arrastres por aludes y transporte por las lenguas glaciares. En éstas cooperan tales fragmentos rocosos en la erosión, ya propiamente glaciár, de los valles, en los que, según sus palabras, la lengua “pule despiadadamente las asperezas”. Estudia luego las formas características derivadas de tal erosión,

⁵⁴Davis, W. M. (1900): “Glacial Erosion in France, Switzerland and Norway”. *Proceedings of the Boston Society of Natural History*.

⁵⁵King, Ph. B. y Schumm, S. A. (1980): *The Physical Geography (Geomorphology) of William Morris Davis*. Norwich, Geo Books.

⁵⁶Lapparent, A. de (ed. de 1907): *Leçons de Géographie Physique*. París, Masson. Del mismo, complementariamente (s. a.): *Abrégé de Géologie*. París, Masson.

⁵⁷Como ejemplo, recordemos, entre otros, por sus síntesis evolutivas, a Geikie, J. (1893): *Fragments of Earth Lore. Sketches and Addresses Geological and Geographical*. Edimburgo, Bartholomew, con expresivas aportaciones sobre “The Ice Age in Europe and North America” y “The Glacial Succession in Europe”. Con carácter analítico, también entre otros, a Tyndall, J. (1886): *Les glaciers et les transformations de l'eau*. París, Alcan.

con su perfil transversal en forma de artesa, con estrías, acanaladuras y rocas aborregadas, y su perfil longitudinal discontinuo con cubetas de sobreexcavación. Tras el retroceso glaciar, tales topografías acabarán por ser muy influyentes en la posterior organización hidrográfica de la montaña y, claro está, definirán las líneas maestras de sus paisajes. Y termina el geógrafo esta lección con una relación de los tipos de depósitos en forma de morrenas.

Desde una perspectiva geológica, la obra de Meunier antes citada, que salió en 1920, dotada del espíritu crítico de su autor, relaciona directamente los glaciares y las montañas. Sitúa los glaciares climáticamente (fríos, nieves) y los caracteriza según sus rasgos esenciales (elementos, formas, dimensiones, estructura, composición, dinámica, grietas, orografías favorables, erosión y sedimentación). De nuevo los bloques erráticos ocupan sus posiciones preferentes. Con una buena información acumulada, repasa la geografía de los hielos de la Tierra con extensa dedicación a los Alpes, con algún error pirenaico y con varias menciones a cordilleras del mundo, lo que muestra la ampliación de los lugares de estudio. Vuelve sobre la hipótesis de la “época glaciar” y sus distintas etapas, cuya diferenciación procedía de análisis estratigráficos, recordando las propuestas de Geikie y de Penck e indicando que la de este último era la periodización más difundida y aceptada. Sin embargo, Meunier no consideraba aún posible encontrar una teoría general de la evolución glaciar, opinando que todavía no era tiempo de generalizaciones ni de establecer rasgos comunes a partir de observaciones locales, de tal modo que consideraba esos intentos prematuros. Se contentaba, así, con una descripción de la glaciación por macizos, entre numerosas dudas sobre su historia.

Creo que, finalmente para el período en que nos estamos moviendo, los dos tomos del tratado de Lliboutry (1964), que ya mencionamos, constituyen el escalón decisivo de la constitución de la glaciología como ciencia. De familia francesa, nació sin embargo en Madrid en 1922, en la misma calle donde por casualidad viví una temporada (Villalar); luego se trasladó a Pozuelo de Alarcón, donde habito ahora y escribo estas páginas, y sus padres fueron miembros de la sociedad de alpinismo Peñalara, a la que también pertenezco, lo que les llevó a practicar el excursionismo por la Sierra de Guadarrama⁵⁸. La guerra civil española obligó a la familia a volver a Francia. Tras sus estudios allí, se trasladó a Santiago de Chile como profesor, donde frecuentó los Andes. Seguí

⁵⁸P. Nicolás me ha facilitado los datos de entrada de la familia Lliboutry en la R. S. E. A. Peñalara: en 1927 se inscribieron en ella “Juana”, “Jaime” y “Luis” Lliboutry con los números de socios, respectivamente, 3.758, 3.759 y 3.757. Corresponden tales datos a sus padres (Jeanne y Jacques) y a su tío (Louis). Nuestro futuro glaciólogo, también Louis, había nacido en 1922.

con emoción su aventura en la expedición francesa al Fitz Roy de 1952, en la que llevó a cabo un importante trabajo científico que pude utilizar años después en mis campañas andinas. Los Andes convirtieron al físico en glaciólogo, lo que dará su fruto escrito en su obra *Nieve y glaciares de Chile. Fundamentos de Glaciología*, en 1956. Instalado luego en Grenoble, se implantó allí con su concurso la investigación glaciológica, y fue en aquel laboratorio de glaciología alpina donde pude conocer personalmente a Louis Lliboutry en una estancia de trabajo. Más tarde mostré mi agradecimiento a sus enseñanzas escritas, colaborando en un libro de Marc Turrel en su homenaje⁵⁹.

Por supuesto, hubo nuevos tiempos glaciares, se hicieron más maduras y estables las enseñanzas e investigaciones y siguieron creciendo las aportaciones a su conocimiento. Entre éstas, me parece muy destacable la que concierne al conocimiento detallado del avance glaciario en época histórica moderna, conocido como la Pequeña Edad del Hielo; el concepto, que nació en Estados Unidos en principio para un tiempo más amplio, fue propuesto y utilizado por F. E. Matthes en 1939, concretando en él un limitado episodio positivo en momentos históricos (“*The Little Ice Age of Historic Times*”)⁶⁰. Antes y después, tal fase ha sido reconocida en todas las montañas glaciadas y ha dado pie a numerosas investigaciones locales y a periodizaciones climáticas que muchas veces usan tal expresión más allá del significado referido originalmente sólo a los glaciares, ampliando o trasladando su mismo sentido semántico.

En Europa, además de muchos trabajos analíticos, tal “edad” se difundió más tarde gracias a un libro revelador de un historiador del clima, editado en 1967⁶¹, que cita desde su inicio un trabajo de Matthes de 1942 que iluminó a su autor⁶². Si este libro presentaba ya unas ilustraciones sumamente expresivas, tanto geográficas como históricas, de los cambios glaciares alpinos en la Pequeña Edad, otra publicación en 1988 del Club Alpino Suizo sobre dicha fase, con nuevos textos científicos y numerosos testimonios gráficos, significó una señalada contribución a la amplia y rigurosa difusión del conocimiento de las fluctuaciones recientes de los glaciares de los Alpes⁶³.

⁵⁹Martínez de Pisón, E. (2017): “L’enseignement à distance”. En Turrel, M.: Louis Lliboutry. *Le Champion des glaces*, Grenoble, Université Grenoble Alpes.

⁶⁰Matthes, F. E. (1939–1940): “Report of Committee on Glaciers”. *American Geophys. Union Transactions*.

⁶¹Le Roy Ladurie, E. (1967): *Histoire du climat depuis l’an mil*. París, Flammarion

⁶²Matthes, F. E. (1942): “Glaciers”. *Hydrology*.

⁶³Zumbühl, H. y Holzhauser, H. (1988): “Glaciers des Alpes du Petit âge glaciaire”. *Les Alpes. Revue du Club Alpin Suisse*.

En esta aportación suiza se recogieron los métodos utilizados por ellos para “determinar las variaciones de los glaciares en el curso de los siglos”, se revisó la noción de Pequeña Edad del Hielo (o Glaciar) y, sobre todo, la evolución de los famosos glaciares de Aletsch, del Ródano, de Rosenlaui y de Unteraar en los tiempos modernos, con dataciones, cartografía y documentación gráfica no sólo muy expresivas sino también con calidades espectaculares cuando se utilizaron como testimonios representaciones artísticas de especial belleza.

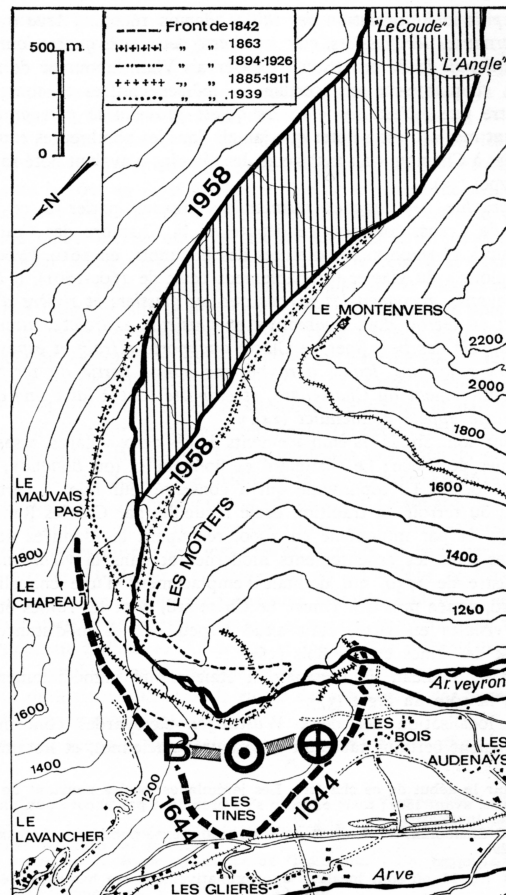


Figura 8: Retroceso del frente de la Mer de Glace, según Ladurie (1967).

Por las fechas de estas contribuciones, dado el lapso de tiempo en que nos estamos moviendo, nos interesa ahora recordar el libro de Ladurie como ejemplo y remate de los avances en esta materia hasta los años setenta, pues las mismas contribuciones a la historia climática de este autor se remontan a 1956. En lo que se refiere a la montaña, que es una parcela expresiva, pero circunscrita, en el trabajo de Ladurie, además de recoger la bibliografía adecuada –como las

investigaciones de Kinzl en 1932⁶⁴ sobre las morrenas recientes de varias decenas de glaciares—, se utiliza documentación local de diverso origen. En tal recopilación ya aparece el hecho de un retroceso glaciar generalizado en el momento de sus estudios, que en latitudes templadas tuvo su inicio hacia 1860. En los Alpes es particularmente visible la recesión de la lengua del glaciar del Ródano, lugar muy visitado, pintado, descrito, poetizado, medido y cartografiado, indicando la rapidez de las fluctuaciones glaciares. Retrocediendo en el tiempo, Ladurie se interesa —minuciosamente— por las demás oscilaciones seculares históricas de los hielos alpinos a partir de textos, archivos y testimonios diversos de varios casos concretos, como en el macizo del Mont Blanc, en Grindelwald, etc., mostrando mapas tan contundentes como el de la extensión de la Mer de Glace a mediados del siglo XVII con su frente cercano al río Arve o antiguos signos de avances de los hielos con una fase de clara extensión hacia el año 1600 y sus máximos hacia finales de aquel siglo, con breves vaivenes posteriores, inmediatas crecidas y nuevos máximos totales en el XVIII, que se mantienen hasta fechas avanzadas de este siglo y, en casos llamativos, de la primera mitad del XIX. Esta fue, pues, la “Pequeña Edad”, desde el avance de 1600 al retroceso desde 1860 que prosigue hoy acelerado. Ladurie utiliza la denominación *Little ice age* con reservas, prefiriendo llamar a este episodio o bien “estadio de Fernau”, siguiendo a Kinzl, o proponiendo, desde su perspectiva de historiador, “fase multiseccular última de crecida de los glaciares”, lo que sería más ajustado, aunque algo extenso. Pero todos sabemos que triunfó Matthes.

Demos una breve vuelta final a este apartado glaciar por las montañas españolas. Hace unos años resumí los inicios y la implantación de los estudios del relieve español en varias etapas⁶⁵, cuyo contenido esquemático, en lo que afecta a las montañas, es el siguiente: como precedentes cabe proponer a quienes observaron los volcanes en las Indias y elaboraron argumentos para explicar sus erupciones ya en el siglo XVI; o también la primera *Geografía Física de España* de Bowles en 1775, donde escribía que, si “hai montañas que se van destruyendo y convirtiendo en llanuras, hai también llanuras que se convierten en montañas”, lo que anticipaba en una sola frase las concepciones evolutivas que se hicieron eje de la geomorfología a finales del siglo XIX. Observaciones del relieve no faltaron en otros autores, como Cavanilles en 1795 y Bolós en 1796, sumables a las de extranjeros, por ejemplo, Ramond en el Pirineo y Humboldt en el Teide. Los

⁶⁴En el *Zeitschrift für Gletscherkunde*.

⁶⁵Martínez de Pisón, E. “La primera Geomorfología española”. En Vv Aa (1995): *Geógrafos y naturalistas en la España Contemporánea. Estudios de historia de la ciencia natural y geográfica*. Madrid, Universidad Autónoma de Madrid.

estudios geológicos conocieron un notable avance en la segunda mitad del siglo XIX, con trabajos monográficos y con descripciones de áreas montañosas en las memorias provinciales, por ejemplo en la de Mallada sobre Huesca, en 1878, donde ya aparece la mención a los glaciares pirenaicos. Con la creación de la Comisión del Mapa Geológico en 1849 o la Sociedad Española de Historia Natural en 1871, etc. se consolidó el marco institucional en el que avanzaron los estudios de geología, aunque, no obstante, la geomorfología no pasaba aún de un estado impreciso.

En estas circunstancias, fue capital la aportación de Casiano de Prado. En 1835 también se refería a las montañas ocupando “sitios que antes habían sido llanuras”, o alababa al carácter ejemplar de Saussure en los Alpes y al de Humboldt atravesando casi toda la Tierra, o ascendía en 1853 por los Picos de Europa y recordaba el talante ejemplar de los viajeros ingleses ilustrados ante el Mont Blanc. Integra así en la ciencia una actitud admirativa al espectáculo de las montañas, que enlazaría en España, como un precursor, con Jovellanos. En su obra sobre Madrid nombra en 1864 ciertos elementos morfológicos de la Sierra de Guadarrama, por ejemplo en los granitos, con la enumeración de más de veinte formas, y en algunos procesos, como en los aludes o mueidas (de los que da ocho acepciones en castellano, sin que incluya en ellas “avalancha”, relegada por su origen francés).



Figura 9: Glaciares suspendidos en las repisas rocosas del Circo de Gavarnie, según Sadoux (1896).

Pero es a finales del siglo XIX cuando se incorporan los saberes y doctrinas realmente geomorfológicas a nuestra ciencia, cambiando el concepto del relieve peninsular, sumando estudios de especialistas extranjeros por España y avanzando los propios en este campo. Así, el término “Geomorfología” parece ya en un escrito de Torres Campos de 1895, tras su estancia en un congreso internacional. De modo especial, el pirineísmo francés aportó, con Schrader de modo principal, conocimientos sustanciales a la orografía de la parte española de la cordillera y a los glaciares alojados en las proximidades de sus altas cumbres. Los trabajos de Vilanova, Martín Donayre, Cortázar, Mallada, Mac-Pherson, Botella y Calderón, entre otros, consolidaron la geología española, lo que se llamó “geografía morfológica” y el conocimiento de las morfoestructuras peninsulares. Por un lado, crecen los trabajos concretos de interés morfotectónico y, por otro, se implanta la doctrina davisiana como esquema explicativo de la evolución de las formas.

De nuevo, las montañas serán objeto de estudio, con avances señalados en su conocimiento geomorfológico, en su interés para el estudio del cuaternario peninsular y en la creación de una escuela. Aparte de las contribuciones de Fernández Navarro y de Huguet del Villar, tales avances fueron debidos al impulso de Hugo Obermaier, ya en el siglo XX, quien emprendió con discípulos suyos el análisis de las formas de modelado glaciar en los Picos de Europa (1914), Gredos (1916), Sierra Nevada (1916), el Guadarrama (1917) y un sector del Pirineo (1921). Otros investigadores seguirán esta línea (Carandell, Gómez de Llarena y, más tarde, Vidal Box, F. Hernández Pacheco, Llopis, etc.), extendiendo aquellas observaciones. La valoración del relieve de altitud como un componente clave de su paisaje natural, contribuyó a la declaración en 1918 de nuestros primeros Parques Nacionales en Covadonga y Ordesa y, algo después, de los Sitios Naturales de Peñalara y del Moncayo.

Otros momentos de avance en la geología y la geomorfología del Pirineo se debieron a las investigaciones de científicos extranjeros a comienzos de los años setenta, pudiendo mencionar como ejemplo a Wensink, Van de Velde, Van der Voo, Schwartz, Seguret, Clin, Mirouse, Bixel, Debon, Barrère, etc. Los mapas morfológicos de este último, en 12 hojas a escala 1:50.000 del Pirineo central, contenían 87 símbolos en su cartela, 36 estructurales, 18 de erosión y 25 de acumulación, lo que proporcionó un inventario orgánico de las formas de relieve en la disposición real de estructuras muy complejas y de glaciares, terrazas, conos, morrenas y formaciones asociadas a la litología⁶⁶. También el estudio de Michel Seguret en 1972 dio un importante paso adelante

⁶⁶Martínez de Pisón, E. (1974): “Nueva cartografía pirenaica”. *Estudios Geográficos*, nº 136.

en la interpretación aloctonista de mantos y series despegadas del Pirineo, que conducía a una revisión geológica de las unidades físicas tradicionales de la cordillera, debido no sólo a su distinta concepción, sino a los grandes desplazamientos de los materiales alóctonos.

Finalmente, fue después de estos avances, a partir de 1973, cuando emprendimos el estudio detallado de los glaciares pirenaicos activos en la parte española de la cadena, lo que dio lugar a la creación de un Instituto de Glaciología y a trabajos que se prosiguen actualmente a través del Programa ERHIN, a cuyo desarrollo desde los años ochenta del pasado siglo hemos dedicado un reciente artículo⁶⁷. Ya en el siglo XXI, el incremento de investigaciones desde diversos centros sobre los relieves, las nieves y los hielos de las montañas españolas es notable y creciente.

De nuevo Reclus

En el libro antes comentado sobre la historia de una montaña, Reclus menciona en 1880 los procesos de erosión observados por él en los Alpes, que engendran sus formas “como surge poco a poco la escultura del pedazo de mármol”. Así se van abriendo barrancos, cañadas y valles, cimas, aristas y pirámides, circos y precipicios, y, al fin “todo ello es una ruina”, un “simple residuo”. Lo que ha descendido de la cumbre, triturado y movido por las nieves y los hielos (“pedruscos, guijarros y arenas”) se amontona a su pie en formas diversas, con cantos rodados y derrubios, “restos de la montaña que las aguas han reducido a fragmentos” y transportado. Allí abajo está el granito de la cima, el esquisto de la arista. “Todo se desmorona” y camina hacia el mar.

El “monte es un inmenso laboratorio natural donde trabajan todas las fuerzas físicas y químicas”. Se abren grutas, se hienden las fisuras: “la historia de la montaña es la del planeta: destrucción incesante, inacabable renovación”. “Ante nuestros propios ojos continúa el trabajo de denudación de las rocas con asombrosa actividad”. En primavera, “nieves, rocas y agua bajan de las cimas en aludes, derrumbamientos y cascadas”. Cuando la nieve funde en esta estación y el suelo está empapado, la erosión alcanza su máximo, el torrente se vuelve un curso de fango con escombros que chocan entre sí. En el inventario erosivo de Reclus están destacados los desprendimientos de

⁶⁷Cobos, G. y Martínez de Pisón, E. (2025): “El seguimiento del proceso de extinción de los glaciares del Pirineo español por el Programa ERHIN (1982–2025)”. *Ería*.

rocas y los aludes. “De todos los destructores de la montaña –escribe– el más enérgico es el alud. Arrastra tierras y rocas como lo haría un torrente desbordado [. . .]. El terreno adquiere fluidez hasta grandes profundidades y se escurre a lo largo de las pendientes”.

También incluye Reclus, naturalmente, al glaciar como elemento del paisaje y como agente de modelado en “secreta continuidad”. No hay nieves realmente “eternas” porque, unas se evaporan, otras funden, otras se renuevan cada invierno, pero también las hay que se acumulan y se transforman en un cuerpo helado, alojado en los altos roquedos de la montaña. Desde allí fluye valle abajo en una lengua agrietada cuyo frente, marcado por morrenas, corresponderá a su límite climático. Las formas de tales hielos son variadas e interesantes, de modo que, “cuando se ha adquirido intimidad con el glaciar por largas exploraciones y se conocen los ligeros cambios de su superficie es delicioso y gratísimo recorrerlo en un hermoso día de verano”. Y siguiendo valle abajo podrá observar el caminante –incluso “decenas de leguas” más allá– “huellas indiscutibles de la antigua acción de los hielos”, como piedras desgastadas, bloque esparcidos, hacinados y erráticos, peñascos viajeros que hablan a los sabios del “taller triturador que funciona incesantemente bajo el glaciar”. De igual modo, piensa el geógrafo, como una intuición, que quizá un día sus descendientes sólo vean allí, donde aún el hielo persiste cuando él lo observa, un lugar rocoso vacío debido a la progresiva fusión de los glaciares. Finalmente, Reclus se refiere al torrente, el de agua lechosa que susurra al nacer bajo el ventisquero. Pero esta fue otra historia contada en un libro igualmente maravilloso, diferente y complementario que se publicó en 1869 y del que N. Ortega dijo en una edición reciente que era como una larga caminata escrita, desde el manantial hasta la desembocadura⁶⁸.

Del modelo cíclico a la ecología de formas

Como es sabido, el ciclo de erosión es la clave de la geomorfología de W. M. Davis, que considera el desarrollo del drenaje superficial como un modelo o sistema geográfico que, pasando por etapas precisas, tiende desde una disección inicial hacia un aplanamiento de la cuenca fluvial en forma de penillanura. La idea del ciclo es expansiva, pues, por ejemplo, las regiones áridas, por su modalidad climática, presentarían para Davis una variante o ciclo propio, con formas de relieve originales. La influencia de este esquema fue altísima y persistente, primero en la

⁶⁸Reclus, È. (2001): *El arroyo*. Valencia, Media Vaca.

geografía francesa y todavía en algunas escuelas anglosajonas. Si la primera mención por Davis del ciclo normal e ideal es de 1884, su formulación completa es posterior, siendo incluso reiterada o aplicada por él a lo largo de muchos años, en los que llegó a tomar un aire de “cruzada”⁶⁹.

Como señalamos antes, en 1896 se editó el grueso libro (conozco su tercera edición de 728 páginas, ya en 1907) *Leçons de Géographie Physique* de Albert de Lapparent. A pesar de tal título, su contenido es una geomorfología, en parte general y en parte descriptiva, como en el caso de Davis, pero no vamos a entrar en ello, sino sólo mencionar su exposición del modelado, indicador de una clara preponderancia del modelo cíclico en la sistematización de los procesos. Si su objetivo era dar cuenta de la “morfología terrestre”, como habían hecho Richthofen, de la Noé y de Margerie, por supuesto Davis y otros muchos citados por el autor, al montar su programa de lecciones sobre el esquema del ciclo de erosión, en sus fases hacia la peniplanación, el modelado concreto de las montañas quedaría en su dependencia teórica, sólo con interferencias y readaptaciones cuando se dieran modificaciones tectónicas, orogénicas y volcánicas que implicaran un ajuste de la red fluvial a la nueva orografía. Sin duda, este planteamiento en su momento era de vanguardia.

También Lapparent se sitúa dentro de la línea que, en la geografía, buscaba superar la anterior implantación de las ideas de Buache en 1752 sobre las divisorias de aguas, consideradas desde sus trabajos el entramado básico de la regionalización del mundo e identificadas repetidamente con montañas, aunque existieran divisorias sin relieves montañosos y grandes cordilleras sin divisorias. Está claro que tales conjeturas geográficas estuvieron más apoyadas en un afán de sistema que en datos concretos, pues, como es lógico, se conocían mejor los valles que los interfluvios, por lo que los errores fisiográficos pudieron prosperar mientras una aparente racionalización de los territorios naturales como base de la comarcalización parecía superar científicamente las antiguas divisiones en obispados, parroquias, condados o reinos históricos y, por ello, satisfacía a los espíritus ilustrados⁷⁰.

⁶⁹Chorley, R. J. *et al.* (1973): *The Study of Landforms or the Development of Geomorphology. The life and work of William Morris Davis*. Londres, Methuen. Tomo 2.

⁷⁰Martínez de Pisón, E. (1996): “El origen de la inserción de la Geomorfología en la Geografía”. *Ería*, nº 39–40.

Hubo varias críticas de geógrafos del siglo XIX al sistema de cuencas y divisorias ficticias de Buache y una de ellas, referida a las montañas, fue la del profesor Albert Dupaigne⁷¹, rebelde frente a su enseñanza en las escuelas francesas. Para contrarrestarlo enseñaba a distinguir entre llanuras, colinas, mesetas y montañas y, en éstas, entre macizos, cadenas y reunión de cadenas (el término castellano sería “cordillera”, es decir, reunión de cuerdas o cordales), y también pequeñas, medianas y grandes montañas. El problema estriba, dice Dupaigne, en que “la topografía detallada de un país de montaña requiere un largo estudio que no puede ser conocido a fondo sino en una larga estancia en ese país”. Su libro trataba, pues, de remediar tal desconocimiento mediante la definición de “montaña”, la localización y carácter de las montañas francesas, europeas y lejanas, sus altitudes, agrupamientos, sus cimas, collados y valles, sus rocas, las hipótesis sobre su origen, los volcanes (fenómenos y lugares), su aire y su agua, la nieve, los manantiales y los lagos, los torrentes y los aludes, los glaciares (hielo, morrenas, evolución, distribución), la vegetación, la fauna y el hombre: es decir, mediante una geografía integral de las montañas.

En los años cuarenta del siglo pasado apareció en forma de amplio libro una geografía física de los Alpes⁷², cuyo carácter ejemplar merece un comentario. Contiene una exposición sobre el relieve, el clima y la vida (la natural y la humana) en la muestra de saberes que solía ofrecer aquella geografía llamada clásica, propia de mediados del XX, en la que algunos supervivientes nos instruimos. El estudio del relieve está planteado en los cánones establecidos y la aplicación al caso de los Alpes de los modelos vigentes entonces: agentes y factores, acción de las aguas, influencias del roquedo y las estructuras, nieves, hielos y glaciares. Su muestrario de rocas va desde los gabros a las areniscas y el de estructuras desde las fallas a los mantos para indicar el cuadro básico de la edificación y la escultura de la montaña; su modelo orogénico combinaría la hipótesis de Wegener con la de las corrientes profundas que harían de motor de los empujes, todo lo cual se realizaría a través del geosinclinal, concepto entonces habitual e innegable. Pero es el ciclo de erosión, explícitamente, el que Godeffroy aplica para razonar la acción de las aguas, como primer agente de modelado, con matices según los climas, las morfoestructuras, las edades de la tectogénesis y la influencia local del recubrimiento vegetal. De este modo, las nociones usadas son conocidas, como erosión remontante, perfil de equilibrio fluvial, nivel de base, y las formas, torrenciales y aluviales, son las habituales en los manuales (meandros, capturas, terrazas, conos de deyección), con las edades del proceso basadas en las fases de la evolución cíclica davisiana.

⁷¹Dupaigne, A. (1873); *Les montagnes*, Tours, A. Mame.

⁷²Godeffroy, R. (1948): *La nature alpine. Exposé de Géographie Physique*. París, PUF.

Se trata, en fin, de una muestra interesante, por tanto, en el proceso histórico de las ideas morfogenéticas, aunque el libro, con 483 páginas, contiene numerosos contenidos que no recogemos aquí. Queda por decir que, tanto en las formas asociadas a estructuras plegadas como en la evolución del paisaje glaciar, Godeffroy sigue de cerca, entre otros autores, a de Martonne, pues su tratamiento de la información es sintético, con aplicación de conocimientos generales a las múltiples formas y procesos que cataloga, lo que también es indicativo de la amplitud de datos ya existentes y compilados. De Martonne, en efecto, había estructurado, a su modo propio pero en la estela teórica y en el expresivo estilo gráfico de Davis, el estudio del relieve –no sólo de montaña– en uno de los tomos de su *Tratado de Geografía Física*⁷³, obra didáctica de gran valor. Su traducción al español en los años sesenta del siglo pasado se hizo a partir de su séptima edición en Francia, pues su publicación original se remonta a 1909. Según P. Birot⁷⁴, de Martonne sería “precursor de la geomorfología climática”, aduciendo a sus planteamientos sobre los modelados nivales y glaciares en montaña, en regiones áridas y tropicales y en un artículo titulado “Le climat facteur du relief”, de 1913. Tal aspecto de la geomorfología procedía de la escuela alemana y de Passarge en concreto⁷⁵. Aunque de Martonne hubiera “sobrestimado el papel de la Morfología cíclica pre e interglaciar en los Alpes”, según Birot, fue ese precedente de la ciencia vecina el que le llevó a considerar que también “existe, para cada zona climática, una verdadera facies del modelado”. Dicha escuela alemana organizó incluso un simposio sobre geomorfología climática en 1927.

De Martonne se refiere a las montañas en diversos epígrafes de las 1.135 páginas del tomo II de su tratado, tanto en relación con su tectogénesis como de su modelado (sobre todo glaciar y, bastante menos, periglaciar), con una información notable y un orden preciso. En este tratado aprendimos varias generaciones partiendo de una geografía física con voluntad de ser coherente, nutrida y completa. Y el tomo dedicado a las formas de la Tierra era esencial, pues, en palabras de su autor, “el estudio del relieve del suelo es la parte más importante de la geografía física. Se podría considerar este estudio como la base de toda geografía”. Es decir, del paisaje.

⁷³Martonne, E. de (1967): *Tratado de Geografía Física. El relieve del suelo*. Barcelona, Juventud, Tomo II.

⁷⁴Birot, P. (1973): “Emmanuel de Martonne, precursor de la géomorphologie climatique”. *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, nº 408–409.

⁷⁵Passarge, S. (1931): *Geomorfología*. Barcelona, Labor.

Centraba su exposición en el modelado de la erosión normal, partiendo del ejemplo de los torrentes alpinos y, así, escribía: “el modelado de la erosión normal es el que ha creado las formas topográficas que observamos en torno de nosotros”. En él, los torrentes de montaña servirían de modelo visible como un “organismo de erosión completo [...] al servicio del modelado de erosión normal”. Tales torrentes o sistemas fluviales poseerían un destacado papel en el modelado, pero, además, como agentes del ciclo “normal” con sus fases prefijadas, representarían una acción modeladora generalizada, cuyo patrón se impone de manera directriz, incluso extendiéndose a otros medios, por ejemplo al kárstico o el glaciar. Ciertamente, en la edición española del tratado, de Martonne cita a Davis lo justo (a partir de publicaciones en 1895) y entre muchos otros autores de trabajos concretos (desde Powell a Penck), pero considera la erosión normal como el proceso morfogenético preponderante y al ciclo como “idea perfectamente justa”, aunque con el matiz de posibles interferencias en su desarrollo ideal por cambios en las pendientes o en el clima.

Su exposición sobre aspectos de la morfología de las montañas se concreta en cuatro apartados: la influencia de las rocas en el modelado, los relieves volcánicos, la evolución de las montañas plegadas y rejuvenecidas y los efectos de la glaciación. Es especialmente interesante su mezcla en la explicación morfogenética entre el atractivo intelectual de la ley del ciclo, con su “sucesión teórica”, y las constataciones, en el laberinto de múltiples observaciones, de fenómenos dependientes del clima.

Respecto a las “influencias estructurales” –influencias en el esquema erosivo, no morfoestructuras dominantes–, el mayor interés para lo que ahora nos ocupa queda dentro de los apartados referidos a las áreas de plegamiento y de mantos, con apoyo en trabajos especializados, como los de Bertrand (1884), Argand (1911) o Heim (1920), aunque la complejidad de los mantos de corrimiento alpinos en su relación con las formas de disección erosiva y de sus variedades regionales lleva a de Martonne a una exposición prudente. No obstante, su atención, tanto a tales mantos como al relieve apalachense, entre otros casos, es indicadora de su actitud de no esquivar ningún reto en la descripción científica de los relieves.

En cuanto a los glaciares de montaña, su tratamiento es detallado en temas, tipos y ejemplos locales, si bien no alcanza a formular sus “leyes de erosión”. Por un lado, puede inventariar las formas glaciares alpinas (circos, crestas, artesas, cubetas, umbrales, hombreras, sobreexcavaciones, formas complejas de acumulación y fluvioglaciares), pero la aplicación de una evolución cíclica, tal como la postuló Davis, como ley en analogía con la llamada erosión normal, por

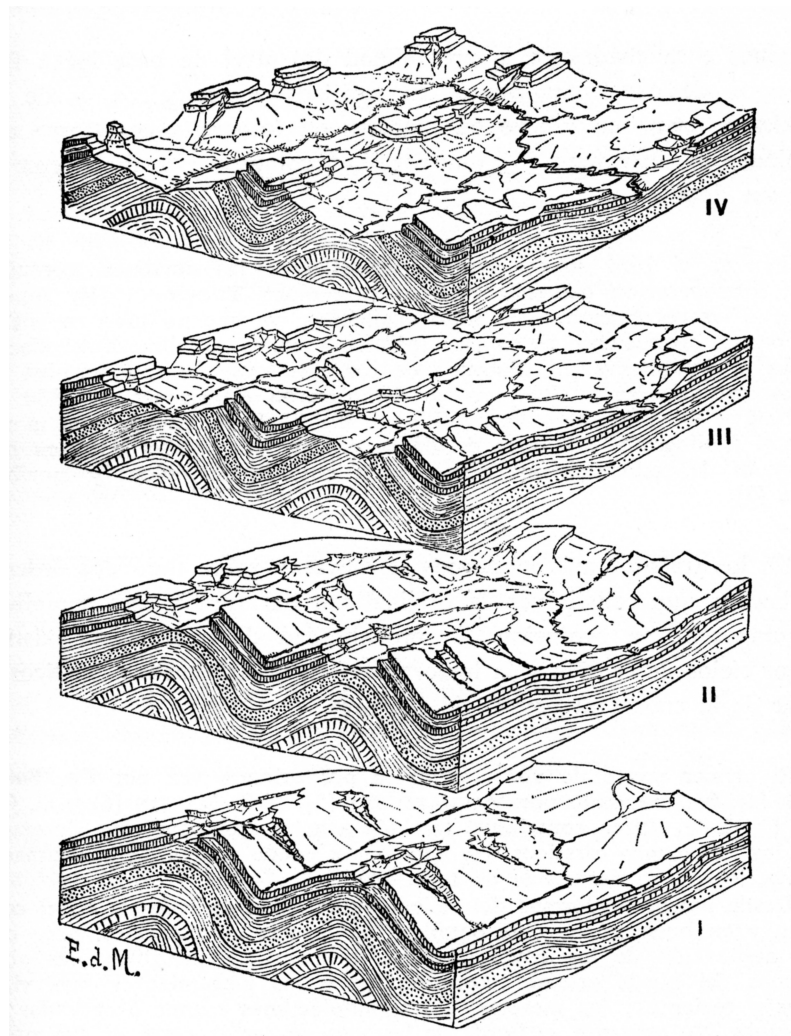


Figura 10: Evolución del relieve en montañas de estructura plegada, según de Martonne (1973).

prudencia ante la falta de datos y ante la inconstancia de los glaciares por las oscilaciones del clima, le parece enunciable pero también insegura. Aún entre dos concepciones de la evolución del modelado, cíclica y climática, esta obra puede considerarse una construcción muy respetable de una geomorfología plenamente científica, edificada sobre un modelo intelectual establecido, nutrida de múltiples datos de investigación, estructurada didácticamente y con atisbos frecuentes de una pluralidad de hechos geográficos que abren ventanas a nuevos métodos y a modos de entender la génesis de las formas de relieve y, con ellas, como antes citábamos, a las mismas bases de los paisajes.

En otra ocasión⁷⁶ comenté la existencia desde hace siglos en las ciencias de la naturaleza de dos posiciones metodológicas, que fueron calificadas respectivamente de realista e idealista, al usar fundamentalmente, una, el procedimiento inductivo y, la otra, el deductivo. Podrían ser dos modos de razonamiento o dos maneras de aproximarse a los hechos y a sus interpretaciones, una más propia del empirismo y otra del racionalismo. Sobre esta dualidad, J. Tricart⁷⁷ realizó su crítica al sistema de Davis, por su método deductivo y por las conclusiones que desprendió sobre el ciclo de erosión normal, que se extendieron ampliamente en la enseñanza de la geomorfología. Sin duda, esta disyuntiva metodológica alcanzó a los planteamientos sobre el modelado de las montañas, primando el papel de la observación en las investigaciones. Lo cual, dados tantas veces el escaso conocimiento y los pocos recursos informativos sobre esas áreas era un procedimiento indispensable. Pero esta necesidad y a la vez metodología no eran distintas a lo que habían hecho ejemplarmente Lyell, Hutton o Humboldt o Darwin, con avances, por ejemplo, sobre el neptunismo, o remontando el problema de la falta de datos a escalas universales. Todo ello llevó al rechazo a Davis en algunas escuelas geomorfológicas europeas desde mediados del siglo pasado, poniendo el énfasis en conceptos como la morfogénesis, los sistemas morfoclimáticos o los procesos, tendiendo a su relación e interdependencia con otros campos de la geografía física, como suelos, vegetación, aguas y clima. Finalmente, Tricart⁷⁸ formularía su entendimiento de la teoría, el método, el tratamiento y la exposición del relieve como una “ecología de formas”. Esta posición intelectual se aplicaría ya a sus primeras obras que afectaban a la morfología de montaña, como la *Géomorphologie des régions froides*⁷⁹, de 1963, que leímos entonces con avidez (y creo que con aprovechamiento).

⁷⁶Martínez de Pisón, E. (1975): “Reflexión sobre el realismo geomorfológico”. *Estudios geográficos*, nº 140–141.

⁷⁷Tricart, J. (1965): *Principes et méthodes de la Géomorphologie*. París, Masson.

⁷⁸Entre otros muchos trabajos de este autor, Tricart, J. (1972): *La Terre, planète vivante*. París, PUF.

⁷⁹Tricart, J. (1963): *Géomorphologie des régions froides*. París, PUF.

3. PAISAJES DE MONTAÑAS

Tipos de montañas

Tanto desde un punto de vista descriptivo como del genético, ha habido diferentes clasificaciones modernas de los tipos de montañas existentes. Vamos a recordar sólo unos pocos intentos de tipificación, desde finales del siglo XIX a mediados y al término del siglo pasado. Son meros ejemplos de un corte en el tiempo, pero expresivos de los cambios conceptuales y del progreso en conocimientos concretos.

El primero de ellos se debe a Lapparent (1896), en su geografía física antes citada. Considera, en principio, que debe llamarse montaña sólo a aquellos relieves individualizados con cumbres elevadas en todas direcciones. Su clasificación sistemática tiene varios principios. En primer lugar, desde un punto de vista genético revisa la ofrecida por algún otro autor, como Supan, de montañas plegadas uniformes o desiguales, simples o compuestas, simétricas o asimétricas. En segundo lugar, por localización, diferencia entre estilos alpino, pirenaico, andino, apalachense, etc. Y por su origen, las divide según sus materiales, sus deformaciones y su erosión.

Finalmente, ofrece su propia clasificación:

1. *Montañas de acumulación*, que diferencia en volcánicas, eólicas y glaciares, considerando a las dos últimas meras colinas.
2. *Montañas estructurales*, las más importantes, cuya causa atribuye a la pérdida del calor interior del planeta, con la consiguiente contracción, lo que daría lugar a compresión y deformación de los materiales corticales.
3. *Montañas plegadas de estilo jurásico*, es decir, con los clásicos pliegues de cobertera.
4. *Montañas complejas*, el Pirineo como modelo (núcleo antiguo, estructura en abanico), el Cáucaso y el tipo californiano.
5. *Montañas de tipos alpinos*, con intensidad en sus dislocaciones, empuje unilateral y mantos de corrimiento, con subtipos en las Rocosas y el Himalaya.

6. *Montañas de flexiones y pliegues con fracturas*, entre las cuales incluye las andinas y alsacianas.
7. *Montañas con dominio de fracturas*, como las escandinavas.
8. *Montañas de erosión*, como podrían ser las rejuvenecidas, las de modelado diferencial o las formadas por una excavación directa.

Además, en capítulos distintos, Lapparent incluye cuadros regionales más amplios, constatando bien el amplio saber de entonces en geografía descriptiva, la incorporación de la sistemática geomorfológica davisiana y la asunción de las interpretaciones orogénicas vigentes.

En la obra ya citada de L. U. de Sitter, editada en 1956 y traducida en 1962, desde la gran solidez de los conocimientos geológicos de su autor, hay nuevamente una clasificación genética de las cordilleras, previa a la incorporación generalizada del modelo de la tectónica de placas. Así, se refiere a “cordilleras intercontinentales de tipo mediterráneo”, a “cordilleras circumcontinentales de América” y a “arcos insulares”, que se suman a escudos, cuencas y bloques. Las primeras incluyen al Pirineo, con su estructura aproximadamente simétrica, su núcleo hercínico y su cobertera meso-cenozoica, los Alpes, con sus complejas unidades internas, y el Alto Atlas. Las segundas comprenden “el más grandioso de los sistemas montañosos modernos de la Tierra”, desde Alaska a la Tierra de Fuego, y se complementan a oriente con los Apalaches.

Aubouin modernizó en 1980 la clasificación de las cadenas montañosas, a partir de sus estilos estructurales, en intercontinentales, pericontinentales, marginales (o andinas) y geosinclinales (o alpinas), con subtipos y ejemplos en los Andes, Alpes, California, arcos insulares del Pacífico e Himalaya⁸⁰. En 1993 Debeltas y Mascle⁸¹ ordenaban su exposición, también estructural, en cadenas intracontinentales, de subducción, de obducción y de colisión, con descripciones geológicas de montañas concretas (Antiatlas, Atlas, Rocosas, Pirineo, Andes, Himalaya, Cáucaso, etc.). Sin duda, ambas aportaciones supusieron avances muy documentados.

⁸⁰ Aubouin, J. *et al.* (1980): *Tratado de Geología. Tectónica, tectonofísica, morfología*. Barcelona, Omega, Tomo II.

⁸¹ Debeltas, J. y Mascle, G. (1993): *Les grandes structures géologiques*. París, Masson.

En fin, para una clasificación geográfica resumo un trabajo propio que expuse y redacté en 1997⁸². Con él podríamos complementar la evolución en la sistemática geomorfológica de la clasificación de los tipos de montañas, tras la implantación de los nuevos conocimientos reseñados y en el cuadro de la tectónica global, aunque sin abandonar el viejo legado científico que sólo en parte podemos mencionar aquí.

Distinguía entonces entre tipos *morfoestructurales* básicos (orográficos) de *cordilleras* y de *cadena montañosas*, que voy a enumerar, pero que en su publicación –hace ya más de un cuarto de siglo– contenían una breve descripción. Dividía, primero, las cordilleras en sus tipos pirenaico (abánico disimétrico), himaláyico (hipercolisión y cizallamiento), andino (pericontinental de subducción), alpino (colisión con mantos), centroasiático (combinación entre estilo himaláyico y tectónica de bloques), alaskiano (bloques corticales desnivelados), pacífico-arábigo (con láminas de obducción), y tipos mixtos y variantes.

En las *cadena montañosas* proponía los siguientes sistemas: bloques de zócalo y tegumento, relieves en pliegues de cobertera, en conjuntos plegado-fallados, en mantos con espesores de cobertera, relieves apalachenses, cadenas y dorsales volcánicas, dorsales y bloques de rift, y estructuras mixtas. Añadía a las cadenas las *montañas aisladas* en diferentes relieves: domos en rocas sedimentaria y cristalinas, bloques en diferentes estructuras, núcleos rocosos resistentes, volcanes y tipos mixtos con las cadenas y las cordilleras.

Según los *estilos de modelado*, primero establecía su diferenciación por sistemas morfoclimáticos según latitudes, según fachadas, gradiente de continentalidad, orientación de cordales, exposiciones de laderas, pendientes, desniveles y altitudes. En segundo lugar, por su complejidad orográfica en relieves simples y compuestos, y en adaptaciones a herencias complejas de modelado. Los tipos dinámicos de modelado se catalogaron según las morfoestructuras en razón de tectovariantes y litovariantes, así como, según la altitud, en los procesos propios de la baja, media y alta montaña. Sin duda, la diversidad no impedía la agrupación con criterio geográfico, sobre todo con un fin explícitamente didáctico en el que programar un curso de geomorfología de montañas

⁸²Martínez de Pisón, E. (2000): “Imagen de la naturaleza de las montañas”. En Martínez de Pisón, E. y Sanz, C. (eds.): *Estudios sobre el paisaje*, Madrid, Universidad Autónoma de Madrid y Fundación Duques de Soria.

Tratamos por último de resumir lo que sería un largo recorrido sobre el terreno pero sólo unos cortos pasos en la biblioteca, con unos contados ejemplos por los Alpes, el Himalaya y el Pirineo, los suficientes para mostrar frente a la montaña los progresos alcanzados en su información y sistematización durante el tiempo que hemos acotado⁸³. No olvidamos muchos trabajos que fueron ejemplares en estos u otros aspectos de la geografía de montaña en aquellos momentos⁸⁴, pero nos restringimos a lo más expresivo morfológicamente o históricamente.

Por los Alpes. Sabiendo que hay tres Suizas, la de los lagos, la de los valles y la de las montañas, nos restringiremos a éstas⁸⁵. Empezaría, por tanto, en los Alpes con una visita al Cervino, recuperando miradas a su asombrosa figura entre 1792 y 1989.

En la fecha de partida, 1792, de Saussure observó –era inevitable– que la masa rocosa del pico estaba compuesta por tres sectores superpuestos, pero señalando que las rocas de la base del pico tenían una asombrosa similitud con las de su cumbre. Ésta le parecía formada por serpentina con esquistos; por debajo habría gneis con rocas micáceas y la parte inferior de la montaña estaría de nuevo compuesta por serpentina con esquistos. No pasó de ahí en su examen, pero dio con un dato importante que se utilizaría más tarde para intentar explicar su geología.

En 1866 (un año después de su famosa ascensión por Whymper), el ingeniero italiano F. Giordano realizó, tras observaciones insistentes en los escarpes de la propia montaña, un corte geológico de la pirámide en más de diez pisos o conjuntos rocosos superpuestos y con contactos ideales, que comprendían, según sus datos –de la base a la cumbre–, primero esquistos verdes, luego dos franjas de calcoesquistos intercaladas con los anteriores y, por encima, sucesivamente, calizas cristalinas, esquistos compactos, gneis, eufótida, gneis, micaesquistos, esquistos alternando con gneis, y una cumbre de gneis. Giordano resumía su corte como un apilamiento de “rocas estratificadas en bancos bastante regulares [...] de origen sedimentario [...] con estructura fuertemente cristalina que debe ser efecto de una potente acción de metamorfismo”, y resaltaba

⁸³Para más excursiones mirando las piedras, ver Martínez de Pisón, E. (2000): *Cuadernos de montaña*. Madrid, Temas de hoy. Y su reedición ampliada en (2015), Madrid, Desnivel.

⁸⁴Es el caso de la conocida y amplia obra de Blanchard (1949): *Les Alpes Occidentales*. Grenoble, Arthaud.

⁸⁵Para más detalles al caminante, con referencias a la vez clásicas y nuevas, ver Trümpy, R. *et al.* (1979): *Geology of Switzerland. A guide book*. Basilea, Schweizerische Geologische Kommission. 2 tomos.

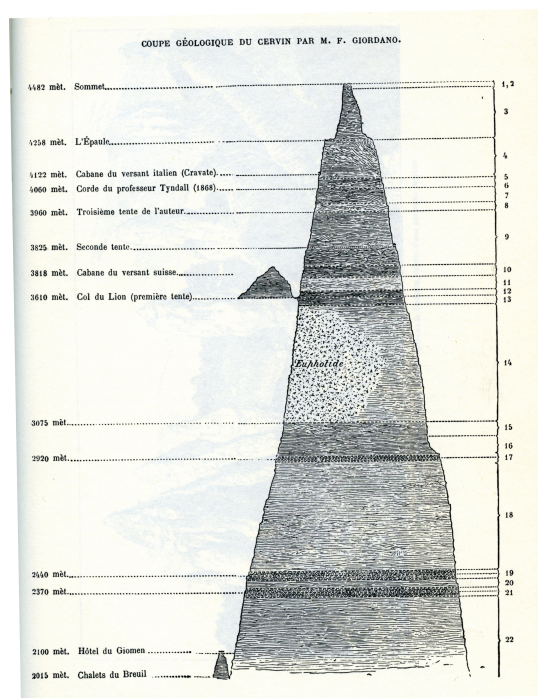


Figura 11: Corte del Cervino, según Giordano (1866).

una marcada distinción entre la base y el pie del pico propiamente dicho, diferenciación importante para las interpretaciones posteriores. Tal superposición no dejó de sorprender, ya entonces, a su estudioso. En cuanto al propio pico, el Cervino individualizado en el paisaje, concluyó que no sería sino el resto de una formación geológica antigua que se extendería a su alrededor en forma de manto, por lo que su destacado relieve constituiría el testigo residual, tras el vaciamiento erosivo de su contorno, de tal amplitud original de los materiales metamórficos⁸⁶. Esa formación de rocas de zócalo en aparente posición anómala es la recientemente denominada manto basal de la Dent Blanche⁸⁷, que está en próximo contacto, al este y al sur, con el afloramiento de los materiales mesozoicos de Zermatt y, algo más al sureste, de rocas volcánicas submarinas.

Años después, en 1934, Argand distinguirá con claridad en la masa del pico, en su núcleo, es decir, salvo en sus bandas cimera y en la base donde se apoya, varios pliegues apilados y fruncidos donde Giordano había dibujado en su corte simplificado sólo pisos horizontales. En

⁸⁶Puede verse tal corte en Whymper, E. (1897, reed 1998)). *The Valley of Zermatt and the Matterhorn. A Guide*. Reading, Gaston's Alpine Books.

⁸⁷Bearth, P. (1977): *Geologischer Führer von Zermatt*. Zermatt, Alpen Vereinigung Zermatt. Y Sloan, R. y Bearth, P. (2002): *Geological Guidebook to Zermatt*. Zermatt, Association of the Alpine Museum of Zermatt.

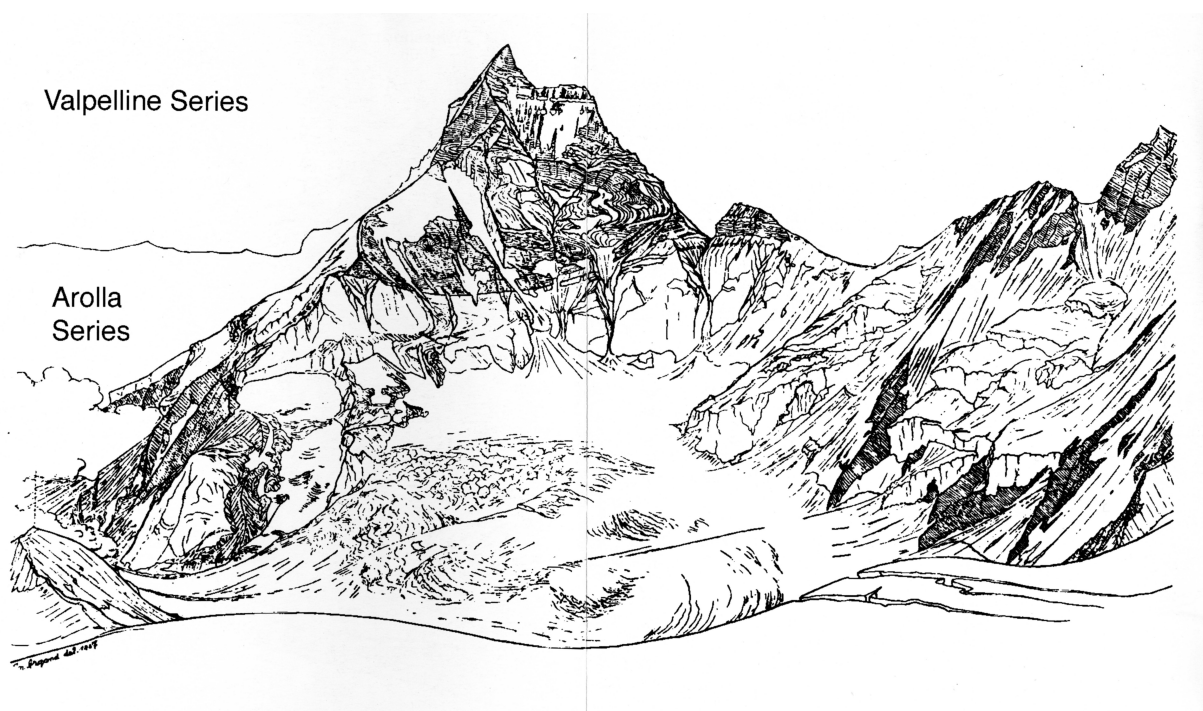


Figura 12: El Cervino, según Argand (1934).

1935 W. Collet⁸⁸ propuso una solución estructural al conjunto, en el que el Cervino sería un testigo, un residuo de una ingente formación rocosa en manto alóctono con un gran pliegue acostado y erosionado, del que quedarían en la cumbre y en la base del pico dos restos de sus flancos y cuyo núcleo, muy distorsionado o fruncido en múltiples pliegues horizontales, estaría formando la masa central de la montaña. Lo que quedaba de ambos flancos del gran pliegue en el Cervino serían gneises antiguos llamados de Valpelline y su núcleo de gneises más modernos de Arolla; tal conjunto metamórfico plegado en una estructura de sinclinal tumbado reposaría, además, de modo anómalo sobre una base de materiales distintos.

En 1989, estos elementos fueron explicados por Mattauer⁸⁹, en un marco geográfico mayor y con datos e ideas claramente modernos, como resultado de un colosal empuje orogénico y resolviendo su concreto rompecabezas en un modelo diferente: consistiría en un gran apilamiento de rocas desplazadas, en el que la masa del Cervino estaría formada por roquedo perteneciente a un zócalo continental sudalpino (o paleoafricano) desplazado, que reposa sobre rocas de origen

⁸⁸Carozzi, A. W. (2005): *Op. cit.*

⁸⁹Mattauer (1989): *Op. cit.*

oceánico que, a su vez, se apoyan sobre otro zócalo continental europeo. Tales unidades, movidas desde su posición original de este a oeste, están apiladas en dos mantos de corrimiento cuyas bases son netas, una la del Cervino o resto de un continente meridional que cabalga todo el conjunto, otra la de las rocas submarinas metamorfizadas en la base sobre la que se asienta el pico, y una tercera, como cimiento, la del zócalo europeo. Así, Mattauer definía al Cervino como “un fragmento de continente flotante”.

Si la orogenia con un fuerte componente horizontal ha sido la causante de esta disposición y de las transformaciones de las rocas, la erosión se ha encargado de esculpir de modo extraordinario el formidable relieve ahora visible. Una mirada alrededor mostraría con abundancia la inserción de esta estructura en un ámbito geológico y geográfico generalizado dentro del mismo esquema en este sector de la cordillera. En suma, el desplazamiento orogénico del continente sudalpino hacia Europa cerró el océano que separaba a ambos, desplazando, comprimiendo, plegando, fracturando, metamorfizando, revolviendo y apilando sus roquedos. El gran Cervino no sería más que el resto resistente de una lámina superficial del amontonamiento desordenado derivado de tal extraordinaria compresión entre dos continentes. O, dicho de otro modo, de una colisión entre dos placas. Ah, y las rocas horizontales de la cumbre serían un resto, en efecto, de la serie de Valpelline, allí suspendido y desconectado de su entorno. Siempre sublimes los Alpes.

Para acabar esta excursión por el progreso de las ciencias alpinas, permítanme recordarles las renovaciones, –aunque sea de paso, sin extenderme en ellas y entre otros muchos trabajos– que supusieron estudios de los años sesenta y setenta del siglo XX sobre temas específicos, por ejemplo, en los glaciares, con un libro de Vivian⁹⁰ y, en los procesos geomorfológicos de alta montaña, con otro de Galibert⁹¹. Son hoy muestras expresivas de aquellos modos de investigar con nuevas aportaciones, y son, por tanto, también testimonios de unos conocimientos concretos y de un estado de la naturaleza que ambos describen. Su suma es un recorrido, con los ojos bien abiertos, por los paisajes de la alta montaña en aquellos decenios.

⁹⁰Vivian, R. (1975): *Les glaciers des Alpes occidentales. Étude géographique*. Grenoble, Alier.

⁹¹Galibert, G. (1965): *La haute montagne alpine. L'évolution actuelle des formes dans les hauts massifs des Alpes et dans certains reliefs de comparaison à l'exception des montagnes désertiques*. Toulouse, Boisseau.

Por el Himalaya. Continuemos ahora en el Himalaya nuestra excursión por el tiempo, aunque sea con pocas palabras, sólo par a mencionar otro tipo y otra dimensión de cordillera, lejos del corazón universitario e investigador de Europa. Hubo un largo trabajo de inspección por un terreno grandioso pero nada fácil de recorrer, aunque escrito en letras mayúsculas. Observaciones como las de Odell en 1924 o de Wager en 1939, por ejemplo, permitieron ya un primer conocimiento detallado de la constitución geológica del Everest.

Una vez encontradas las claves del sistema orogénico del Himalaya, como resultado de la colisión entre el subcontinente indio y el asiático, con los correspondientes mantos de corrimiento y la sobreelevación de la cadena y el Tíbet, las piezas se han ido encajando en el modelo de la tectónica de placas como ejemplo de gran cordillera hoy intracontinental, aún activa, disimétrica en estructura, orografía y clima. Los tanteos de su geología pueden verse, por ejemplo, en el escrito de E. T. Atkinson⁹², y las propuestas de su concepto moderno se pueden encontrar, tras las reveladoras tesis movi listas de Argand⁹³, en el gran acúmulo de observaciones minuciosas y ordenadas que aportaron los trabajos de Gansser⁹⁴ y de Hagen⁹⁵, siempre entre otros. En nuestro trabajo en 1986 sobre la geomorfología del sector tibetano del Everest abordamos también estos aspectos y a su exposición de entonces me remito⁹⁶.

La interpretación expuesta por Hagen desde 1954 retoma hipótesis del pasado y dibuja un corte del Himalaya en el que, de un modo u otro, se han mantenido y desarrollado las tesis posteriores. La edificación del Himalaya se debería a grandes empujes tectónicos laterales y no a una simple elevación, poniendo Hagen expresamente a Wegener como descubridor de la teoría, de

⁹²Atkinson, E. T. (1882, reedición de 1993): *Geology of the Himalayas*. Nueva Delhi, Cosmo.

⁹³Argand, E. (1924): *La Tectonique de l'Asie*. Lieja. XIII Congrès géologique.

⁹⁴Heim, A. y Gansser, A. (1939, reedición en 1975): Central Himalaya. *Geological observations of the Swiss Expedition 1936*. Delhi, Hindustan Publishing Corporation. Gansser, A. (1964): *Geology of the Himalayas*. Londres, Interscience Publishers.

⁹⁵Hagen, T. (1969–1970): “Reports on the Geology of Nepal”. Basilea, *Deukschriften der Schweiz. Naturforsch. Gesellschaft*. Hagen, T. et al. (1963): *Mount Everest. Formation, Population and Exploration of the Everest región*. Oxford, Un.Press.

⁹⁶Martínez de Pisón, E., López, J. y Nicolás, P. (1989): *Observaciones geomorfológicas en la vertiente tibetana del Everest*. Madrid, Universidad Autónoma de Madrid. Martínez de Pisón, E. y López, J. (1989): “Major Pleistocene and Holocene glacial episodes in the Khumbu region, southern side of Mount Everest (Nepalese Himalaya)”. *Geogaceta*, 6.

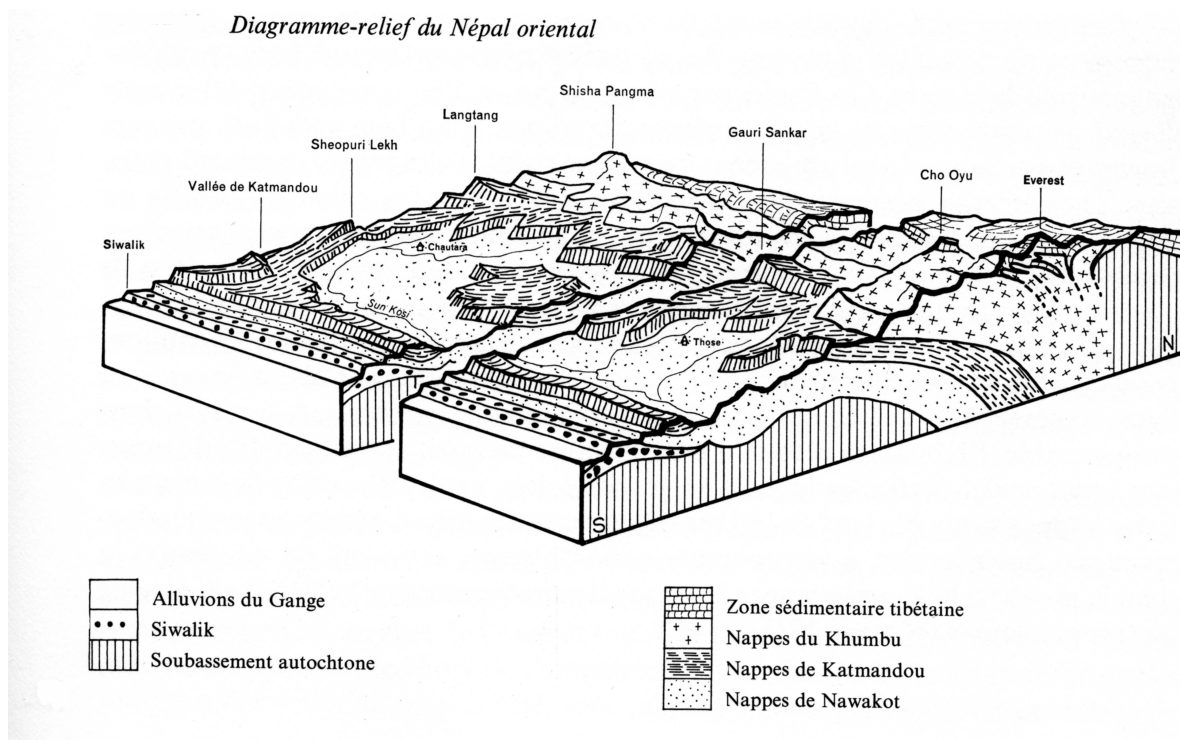


Figura 13: Corte estructural del Himalaya, según Hagen (1970).

modo que dos continentes que habían estado separados por una depresión marítima, a causa del movimiento convergente del meridional (La India) tuvo lugar un choque entre ambos y tal colisión ocasionaría la surrección de la cadena montañosa en su línea de soldadura, con la formación de grandes mantos de corrimiento desplazados hacia el sur. Dicha orogénesis se realizaría en varias fases y con marcada asimetría entre sus vertientes, situándose las grandes altitudes del Himalaya en la misma raíz de los mantos.

Bordet⁹⁷ estudió, en 1961 y 1970, esos mantos y comprobó cómo series metamórficas cubrían anómalamente materiales rocosos que no presentaban esa característica. Distinguió seis unidades geológicas desde el Ganges hasta el Tíbet, mostrando un corte de series repetidas y cabalgantes a modo de escamas hasta culminar en la llamada “Losa del Tíbet”, cuyo dorso descende por las laderas septentrionales de la cordillera. Al norte del conjunto se encuentra pinzada una banda de antiguas rocas submarinas, residuo del viejo mar que antaño se había interpuesto entre ambos

⁹⁷Bordet, P. (1970): “La structure del Himalaya”. *Bull. Ass. Géogr. Franc.*

continentes. La forma del Himalaya respondería, así, directamente a su estilo tectónico, más que a la litología o a la erosión, aunque todos estos factores se suman obviamente para dar lugar a su actual orografía.

Los reconocimientos sobre el terreno llevados a cabo por científicos de distintas nacionalidades europeas en el Himalaya fueron básicos para el visible avance en aquellas fechas de sus distintos sectores, temas y estructuras. Podemos recordar, además de lo citado, en Francia nuevamente a Bordet⁹⁸ y a Monique Fort⁹⁹ o, en Italia, a los científicos de la expedición “Lhotse’75” (Bartolami y otros en geología, Zanon en glaciología y Panizza en geomorfología¹⁰⁰, sin olvidar los trabajos de Desio en el Karakórum¹⁰¹), o en Alemania a Peter Misch¹⁰² y a Matthias Kuhle¹⁰³, etc., pero la lista sería larga e incompleta.

Sólo queremos destacar de nuevo la obra ya mencionada de Gansser en 1964. Si ya en su colaboración con Heim sobre su expedición de 1936 había llamado la atención no sólo por sus datos sino por su expresión gráfica en bellos y expresivos dibujos –propios siempre hasta hoy de la escuela geológica suiza–, en los que mostraban la composición y estructura de los grandes muros de las montañas himaláyicas, en su *Geology of the Himalayas* tal muestrario es realmente notable. Además de ofrecer un tratado riguroso y pormenorizado de la materia, este libro es una verdadera exposición de numerosos dibujos de contenido científico y expresión artística, cuyo estilo se sitúa en muchos casos dentro de lo que se suele llamar “línea clara”. Ello también permite que su lectura se convierta en un viaje grato, expresivo y didáctico por los grandiosos paisajes de la cordillera. Sigue siendo la gran obra sobre el entendimiento del escenario rocoso del Himalaya.

⁹⁸Bordet, P. (1961): *Recherches géologiques dans l’Himalaya du Népal, région du Makalu*. París, CNRS. Del mismo *et al.* (1975): *Recherches géologiques dans l’Himalaya du Népal, région du Nyi-Shang*. París, CNRS.

⁹⁹Fort, M. (1977): “Contribution a l’étude de la sédimentation de la haute chaîne himalayenne: le bassin de Sama”. En Vv Aa: *Himalaya. Sciences de la Terre*. París, CNRS.

¹⁰⁰Cassin, R. *et al.* (1977): *Lhotse’75. Spedizione alpinisto-scientifica del C.A.I. all’Himalaya del Nepal*. Bolonia, Club Alpino Italiano.

¹⁰¹Desio, A. (1987): *Sulle vie della sete dei ghiacci dell’oro. Aventure straordinarie di un geologo*. Novara, Instituto Geografico de Agostini. Del mismo (1952): *La conquista del K2*. Barcelona, Juventud. Desio *et al.* (s. a.): *La spedizione geografica italiana al Karkorum (1929)*. Milán, Bertarelli.

¹⁰²Misch, P. (1935): “Arbeit und vorläufige Ergebnisse des Geologen”. En Finsterwalder, R. *et al.*: *Forschung am Nanga Parbat. Deutsche Himalaya-Expedition 1934*. Hanover, Helwingsche Verlagsbuchhandlung

¹⁰³Kuhle, M. (1982): “Der Ghaulagiri und Annapurna-Himalaya. Ein Beitrag zur Geomorphologie extremer Hochgebirge”. Berlin, *Zeitschrift für Geomorphologie*.

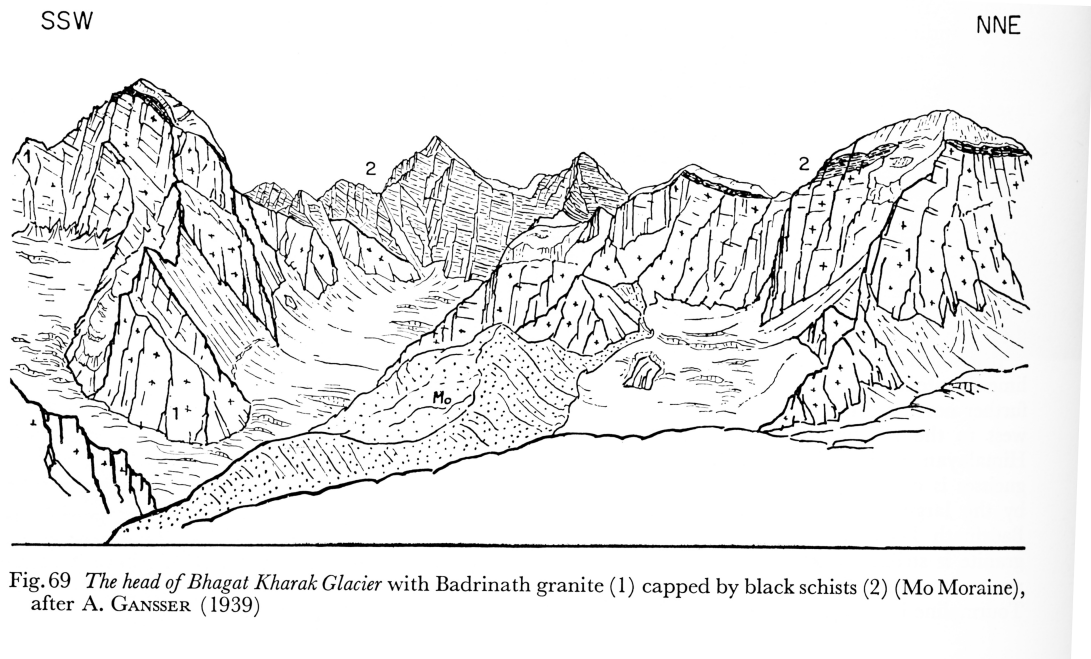


Figura 14: Apunte sobre el terreno de una estructura local del Himalaya, según Gansser (1964).

Por el Pirineo. Vamos a cerrar este viaje de fin de nuestra conferencia en el Pirineo. Hace unos años se recuperó y publicó un manuscrito de 1794, obra de José Cornide¹⁰⁴, que contiene un capítulo sobre “historia natural” de la montaña. En él indica las capas rocosas que arman los relieves, calizas, esquistos, granitos, etc., señalando cómo, de los esquistos, “resultan aquellos picachos o crestones descarnados” por la acción de la intemperie, cuyas lajas son arrastradas por las aguas corrientes hacia los valles; o, en los granitos, hace referencia a la separación de la masa por sus fisuras, a partir de las cuales se han desprendido sus bloques sueltos; o destaca la acción erosiva de los torrentes y de los flujos de piedras. El geógrafo y escritor ilustrado estaba ya al corriente de los componentes y dinamismos físicos del Pirineo, tal como se conocían en su época.

¹⁰⁴Cornide Saavedra, J. (2008): *Descripción física, civil y militar de los Montes Pirineos (1794)*. Tremp, Gasineu.

De todos modos, como el asunto científico de esta historia cultural de la cordillera, tomado en general, podría ser demasiado largo, nos restringiremos a unas interesantes aportaciones en la expresiva década final del siglo XIX¹⁰⁵. Para reconstruir un esquema de lo conocido -no pretendemos más- en los últimos años de ese siglo, sigue siendo indispensable la consulta del estudio de Camena publicado en 1893¹⁰⁶.

Camena, discípulo de Vidal de la Blache, lógicamente escribe desde la perspectiva de la geografía francesa de su momento, pero, entonces, también tal marco era indispensable por la disparidad del número de estudios emprendidos en una u otra vertiente. Según las fuentes desde esa perspectiva, no se había prestado al conocimiento del lado español la misma atención que a la vertiente norte; sin embargo, en el siglo XIX, desde Ramond y con Schrader, el interés de los pirineístas franceses por la geografía del sur de la cordillera fue explícito y valioso.

Por otro lado, los datos geográficos disponibles, los que manejó Camena en su momento, eran limitados, como es natural (y debo añadir que, de cualquier modo, siempre me ha llamado la atención que el mapa de Labaña, del siglo XVII –*Aragonia Regnum*–, tiene más densidad de nombres en el Pirineo que en el valle del Ebro). Buena parte del Pirineo, señalaba Camena, había sido históricamente un obstáculo. Los contactos entre la Península Ibérica y el resto de Europa se hicieron sobre todo por uno u otro mar o por los pasos de los extremos oeste y este pirenaicos, no lejanos a sendos litorales. Los collados internos de la cordillera fronteriza, utilizados localmente y también por los peregrinos o con fines estratégicos permitían, sin duda, internamientos y relaciones, pero con claras limitaciones, y de ello derivó, en general la escasez de estudios tradicionales de la montaña. De este modo, su exploración geográfica de detalle fue tardía y, así, podía Ramond exclamar en 1801: “¿Dónde están nuestros maestros?”. Los busco, añadía, pero el “Monte Perdido sólo me ha visto a mí”. Todo cambió desde entonces y, al finalizar aquel siglo XIX, Camena escribía: “El Pirineo es recorrido por una legión de geólogos, botánicos, topógrafos, de simples turistas, las formas de la cordillera se revelan poco a poco, las teorías se suceden”.

¹⁰⁵Otros datos, entre aportaciones culturales múltiples, pueden encontrarse en Briffaud S. (1994): *Naissance d'un paysage, La montagne pyrénéenne à la croisée des regards. XVI-XIX siècle*. Tarbes-Toulouse, Archives des Hautes-Pyrénées y Université de Toulouse.

¹⁰⁶Camena d'Almeida, P. (1969): *Les Pyrénées. Développement de la connaissance géographique de la chaîne*. Amsterdam, Meridian. Ver también Ritter, J. (1988): *Ossau, Cotiella et autres pics. Une histoire géologique de Pyrénées*. Toulouse, ESPER.

Sin entrar en la imagen del Pirineo en la antigüedad ni en siglos posteriores, podemos comenzar con su interés para nuestro campo a finales del XVII, que es cuando -según dice Camena- “los prejuicios que se oponían al conocimiento del Pirineo comenzaron a disiparse”. Un ejemplo de esta nueva actitud son los recorridos por la montaña del botánico Tournefort en la década de 1680, pero todavía con una base cartográfica muy “precaria” y, en la parte española, “conjetural”. La ciencia llegó así al Pirineo con el siglo de las luces, como ya hemos visto al referirnos al *Discurso* de D’Arcet. A partir de entonces, Camena establece tres etapas de análisis geológico y geográfico: la primera, de iniciación, corresponde a los trabajos de Palassou, Pasumot, Ramond y Charpentier; la segunda a las aportaciones de Dufréney y Élie de Beaumont, con una primera cartografía geológica; y la tercera a las investigaciones entonces recientes.

Palassou mostró sus conclusiones entre 1774 y 1815, con observaciones mineralógicas, estudios de rocas y fósiles, señalamiento de la presencia de bloques erráticos, y ensambló la composición de conjunto de la cadena en un sistema de alineaciones paralelas. Pasumot clasificó las rocas y las etapas de erosión en 1797, no siguió la teoría que se refería a unos valles longitudinales iniciales, constató también la presencia de bloques erráticos, e indicó la similitud de determinados depósitos con las morrenas alpinas. Ramond aportó su conocimiento de la alta montaña y modificó con ello las ideas reinantes sobre la disposición del roquedo en las cordilleras según su edad -que consideraba a las rocas antiguas emplazadas en el eje de la cadena- al comprobar la existencia de materiales fosilíferos en el área cimera de Monte Perdido; siguió a Palassou respecto a los valles longitudinales, a sus lagos desbordantes y a su ruptura; insistió en la alineación general del relieve pirenaico en eslabones paralelos, afirmó la existencia de glaciares activos junto a las grandes cumbres y describió los que pudo visitar. Charpentier aportó en 1823 una visión general y metódica, aunque aún con mezclas teóricas entre las divisorias tradicionales y la teoría del levantamiento. Refiriéndose sólo a la vertiente francesa, estableció dos alineaciones en la cadena y distintos eslabones paralelos, indagó en sus valles y circos, consideró sus fases y describió sus ríos y sus glaciares, anotando seis núcleos de hielo en picos situados entre el Vignemale y la Maladeta.

En la segunda etapa, más especializadamente geológica, Camena destaca, en primer lugar, a Dufréney hacia 1830, cuyo método analítico le conduce a un progreso en las precisiones sobre el roquedo y los depósitos aluviales. Apoyándose en la hipótesis del levantamiento del eje granítico de la cordillera explicó también las posiciones de los terrenos cretácicos y su aparente anomalía

en el macizo de Monte Perdido, donde alcanzan las mismas cumbres. Respecto a Beaumont, célebre científico que antes mencionamos, concedió al Pirineo una descripción en la memoria del mapa geológico de Francia. Considera en ella que esta cadena montañosa es simétrica, clasifica su roquedo en terrenos antiguos, de transición y secundarios y explica sus disposiciones como consecuencia del levantamiento, cuyas dislocaciones pueden tener su eje tanto en los granitos como en las rocas sedimentarias. Aportó una caracterización geológica avanzada, con inspiración en los datos de Charpentier, y concibió al Pirineo como modelo de la geometría de su hipótesis general. Los trabajos geológicos crecieron hacia la mitad del siglo XIX, destacando los de Leymerie desde 1844, quien, dentro aún de tal teoría, puntualizó el reparto de los terrenos en lugares precisos. Respecto a los glaciares, aunque los bloques erráticos habían sido señalados desde Palassou en 1784 sin encontrar su origen, Fargeaud en 1839 y Angelot en 1840 ya estudian depósitos morrénicos en los valles pirenaicos considerándolos tales y antiguos.

La tercera etapa, que Camena denomina de “fallas y pliegues”, podría partir de la oposición que hizo Prévost hasta mediar el siglo XIX a la doctrina de Beaumont sobre las fuerzas generadoras del empuje vertical que ocasionaría el levantamiento de la montaña. Numerosos trabajos, además, aportaban sus observaciones de modo ajeno a la teoría o planteaban, como Lory y Magnan, otras maneras de entender la surrección de la cordillera. En 1874 Magnan expuso detalles que no encajaban en las explicaciones anteriores, refiriéndose en cambio a “fallas inmensas”, “pliegues gigantes” y “compresiones enérgicas”. Su planteamiento abarcaba las regiones vecinas, donde se habrían producido grandes hundimientos, a fuerzas derivadas de la contracción del Globo por enfriamiento, a una larga evolución geológica y a fallas que dirigirían las disposiciones de las cadenas. Entre otros muchos autores, cita Camena críticamente a Botella (1886) y de modo somero a Mallada (1878), que merecía un puesto mayor¹⁰⁷, como científico de conocimientos precisos. La *Memoria* de Mallada fue una aportación de gran entidad al conocimiento del Pirineo aragonés, falto de estudios tan sólidos y completos hasta ese momento y escaso en aportaciones españolas, con cartografía y serie de cortes geológicos de muy encomiable labor. En esta obra se tratan las estructuras, las litologías y la evolución geológica del Pirineo, insertándolas en su enlace hacia el valle del Ebro; y, además, se establece en ella la orografía de la cordillera y se menciona la existencia de glaciares activos en sus áreas cumbreñas.

¹⁰⁷Mallada, L (1878): *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. Madrid, Memorias de la Comisión del Mapa Geológico.

Destaca Camena, por su originalidad de planteamiento, la cartografía geológica realizada por de Margerie y Schrader en 1891 y 1892¹⁰⁸ y el significativo cambio derivado de los obtenidos por el primero en su trabajo de 1886 en el macizo de Monte Perdido, con pliegues vergentes en sus dos direcciones opuestas, es decir, tanto al norte como al sur. El corte de los pliegues en acordeón desde Monte Perdido hacia Ordesa y el valle del Ara representaba la apertura a un nuevo entendimiento de este sector del Pirineo. Camena también pensaba que se había alcanzado una cumbre en el entendimiento científico de la cordillera. Además, no olvidó las aportaciones sobre la glaciación y los glaciares en aquellos momentos, con Collomb y Martins (1867) sobre sus huellas antiguas, con Penck (1883) sobre los glaciares del pasado y los activos, de Trutat y Degrange-Touzin (1882) y de Vallot (1887) sobre la dinámica de los hielos pirenaicos entonces actuales y de los testimonios de los pirineístas, tan expresivos hoy sobre su estado natural en aquellas fechas.

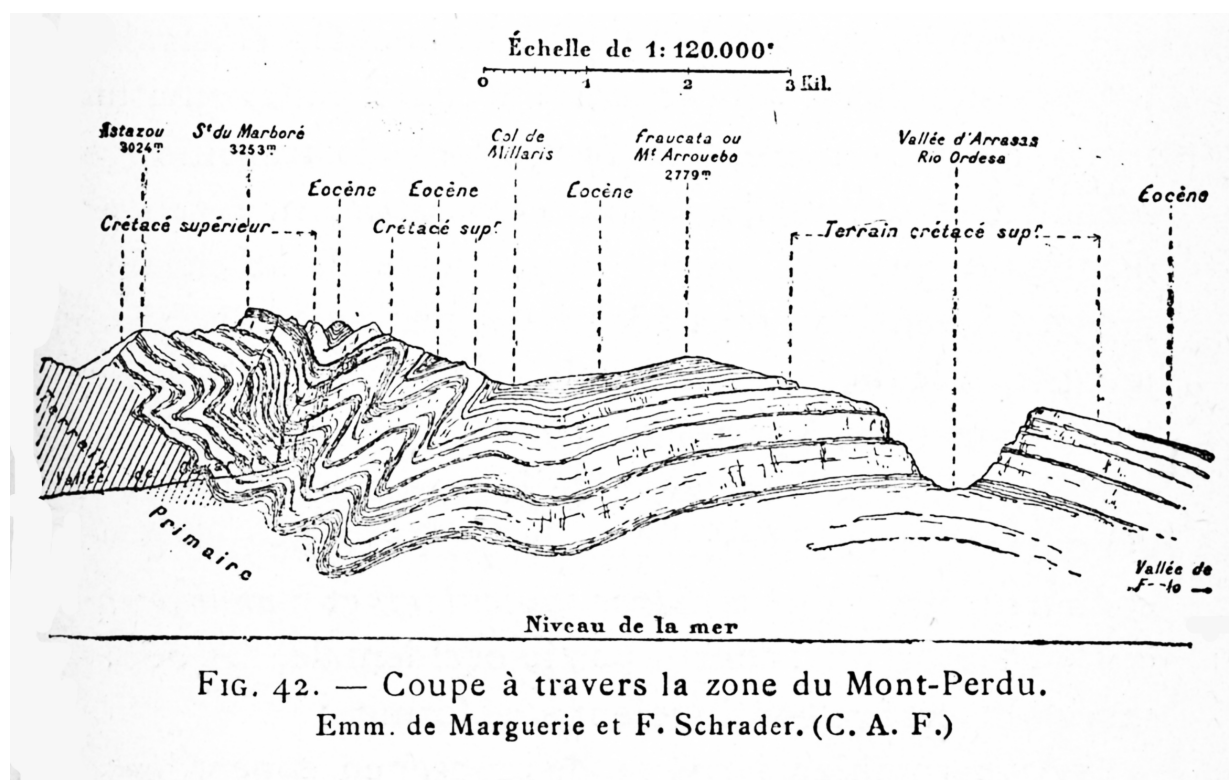


Figura 15: Corte de Monte Perdido y de Ordesa, según de Margerie (1887).

¹⁰⁸Margerie, E. de y Schrader, F. (1891): "Aperçu de la structure géologique des Pyrénées". *Ann. Club Alp. Fr.*
 Margerie, E. de (1887): "Notes géologiques sur la région du Mont Perdu". *Ann. Club Alpin. Fr.*,13.

Una obra de síntesis expresiva de conocimientos de todo orden sobre el Pirineo a finales del XIX –casi contemporánea de la de Camena– fue la de Eugène Trutat¹⁰⁹. Trutat confesaba que la constitución geológica de la cordillera siempre había sido un desafío a la “sagacidad” de los científicos, destacando las aportaciones de Charpentier, Leymerie, Magnan y de Margerie, y reproduciendo de éste su corte en 1886 de Monte Perdido con las capas fuertemente plegadas. Aunque con ciertas extrañezas en su exposición, se refirió Trutat tanto a la estructura bandeada en el desarrollo longitudinal de la cadena como a sus distorsiones transversales por una compresión horizontal. Repasó, además, la distribución del granito y del gneis, para seguir luego con todas las edades, del Cámbrico al Cuaternario, ponderando – a partir de Magnan– varias etapas de formación de la cordillera. No obstante, hizo unos cálculos que le llevaron a sugerir que el Pirineo podría haber alcanzado en una edad no demasiado antigua los 8.000 metros de altitud.

Consideró indudable la glaciación cuaternaria del Pirineo, que habría alcanzado una extensión “considerable”, proponiendo tres etapas glaciares, para lo que describió varios casos de rocas pulimentadas y estriadas, así como de morrenas por los valles norteños, entre los que destacaba como ejemplar el del Garona. Se refirió a los glaciares que estaban activos en su momento, a los que calificó de aparatos de cumbres, salvo en el caso del Vignemale, cuya lengua tenía aún un aspecto alpino. Comentó sus grietas y morrenas frontales, que alcanzaban todavía los frentes de hielo, pero sólo distinguió cinco macizos glaciados importantes (Maladeta, Oo, Perdido, Gavarnie y Vignemale). Sin embargo, Schrader había dado ya casi al mismo tiempo, en 1894, unas referencias y unos datos mucho más detallados sobre el glaciario activo pirenaico¹¹⁰.

En fin, luego se llevó a cabo toda la geomorfología del Pirineo, que se fundamentó en los clásicos estudios de Nussbaum, Gaurier, Casteret, Solé, Llopis, Fontboté, Taillefer, Barrère, Debon y tantos otros que, aunque bien quisiéramos, no nos es factible inventariar ya en estas líneas. Lo cual es una excelente señal de su abundancia. Y un reto para volver sobre ello en el futuro.

Vamos a acabar la excursión visitando el Monte Perdido –un formidable ejemplo–, como hacía con mis alumnos. Sería impropio prescindir de Ramond y de su constatación del carácter sedimentario de los materiales que arman el macizo hasta su misma cumbre, alterando con ello el

¹⁰⁹Trutat, E. (1896): *Les Pyrénées. Les montagnes, les glaciers, les eaux minerales, les phénomènes de l'atmosphère, la flore, la faune et l'homme*. París, Baillière.

¹¹⁰Schrader, R. (1936): *Pyrénées*. Toulouse, Privat. Selección de artículos en (2005): *Pirineos*. Madrid, Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

presupuesto de que el eje de la cordillera debería estar constituido por materiales primarios. Hay un singular manuscrito de 1832, firmado por José de Viu, de geografía itinerante y descriptiva del Pirineo, con abundantes citas de naturalistas y viajeros franceses en su lado norte, donde consideraba el origen de la montaña en tres etapas geológicas. En el caso concreto de Las Tres Sorores escribía: “mil veces he fijado mis miradas sobre el Monte Perdido y sus amenazadores acólitos, preguntándoles la historia de las revoluciones de la tierra”, viendo en las montañas secundarias meridionales, de “extremadas asperezas”, indicaciones de “los violentos esfuerzos que causaron estos desórdenes”¹¹¹.

Es imprescindible hacer una breve mención a quienes sucedieron a de Margerie en su análisis tectónico y en su interpretación morfoestructural —en un constante progreso— hasta la fecha límite que nos hemos fijado. Desde la misma cumbre de Monte Perdido, a 3.349 m de altitud, hasta el llamado “pliegue tumbado de Torla”, con un desnivel de más de dos mil metros, es visible una formidable cascada de pliegues cabalgantes en materiales mesocenoicos, cuyo muro posterior norteño está recortado por el circo de Gavarnie y con su raíz observable desde La Larri, sobre el valle de Pineta. De este corte formidable han dado cuenta, entre otros, Dalloni (1910), Jacob (1927), Selzer (1934), Misch (1934), Mengaud (1939), Rutten (1955), de Sitter (1956), Alastrué, Almela y Ríos (1957), Wensink (1962), Ten Haaf (1966), Van de Velde (1967), Soler y Puigdefábregas (1970), Souquet (1972), Seguret (1972), deteniéndonos aquí para no salirnos de nuestra etapa y porque este trabajo alcanzó las claves modernas de la explicación de la unidad de Monte Perdido en relación con el llamado “manto de Gavarnie”.

En pocas palabras, de Margerie corrigió el dibujo de la estructura meridional de las capas secundarias de Monte Perdido, que se habían considerado en posición monoclinal, ondulada y tabular, mostrando, en cambio, un plegamiento extremo con los materiales fruncidos y apilados. Tal macizo estaría, así, compuesto por varios pliegues cabalgantes hacia el sur, con su base local perceptible en lo que se llamaría el “pliegue de Torla”, y afectado por fracturas longitudinales. El conjunto de dicha cascada de pliegues montados unos sobre otros fue detallado en el siglo XX, mostrando sus discontinuidades y la consiguiente multiplicación del espesor de su masa sedimentaria. Dicho macizo formaría parte de un manto de corrimiento más amplio, cuyas características en escamas serán ajustadas progresivamente por los autores citados, sobre todo desde los años sesenta del pasado siglo. La estrecha relación de tales estructuras con el relieve

¹¹¹Viu y Moreu, J. (2015): *El Pirineo*. Zaragoza, Prames.

es evidente, incluso en la notable excavación de los cañones que hienden tal macizo, al adaptarse su trazado a guías tectónicas y litológicas. Por ejemplo, Ordesa sigue el rumbo de la charnela fracturada de uno de los pliegues básicos y frontales del macizo, lo que facilitó el encajamiento del valle en esa posición, coincidente con la dirección longitudinal de tal sector pirenaico.

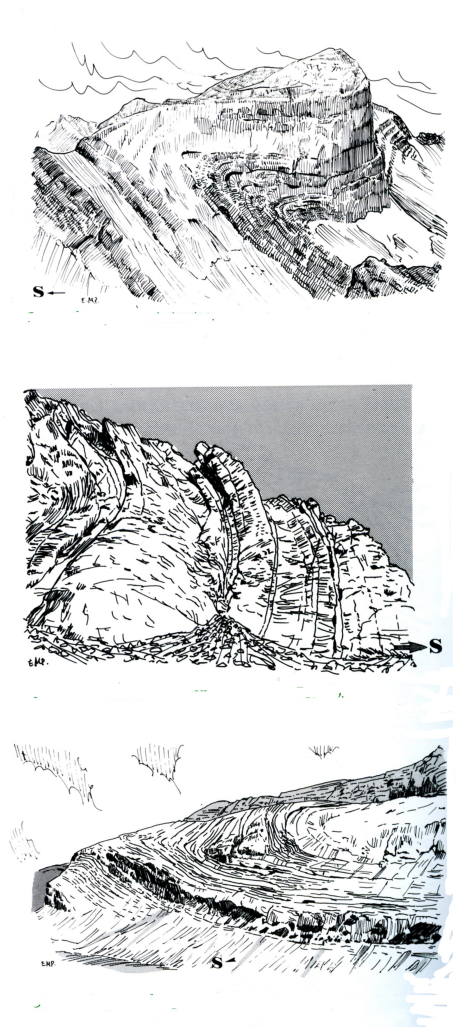


Figura 16: Serie de tres pliegues superpuestos y vergentes al sur en el macizo de las Tres Sorores o de Monte Perdido, según Martínez de Pisón (1994).

A ello se unieron trabajos geomorfológicos y glaciológicos, como los de Ramond, Briet y Schrader en el XIX y, en el XX, los de E. Hernández Pacheco (1920 y 1935), Obermaier (1921), Gómez de Larena (1936), F. Hernández Pacheco y Vidal Box (1946), Boyé (1952), etc.¹¹². Que hoy se siga investigando en estos altos parajes tiene ahí sus raíces. Las observaciones sucesivas se refieren tanto a la extensión de las lenguas de hielo en el Pleistoceno como a la dinámica de los glaciares activos. Respecto al glaciar escalonado de Monte Perdido, esos trabajos testimonian la secuencia de su recesión desde el gran aparato que vio Ramond al inicio del siglo XIX, cayendo en cascada de séracs hacia el ibón de Tucarroya. En 1860, Schrader constató que el frente de este glaciar alcanzaba aún el escarpe meridional del Balcón de Pineta. Las observaciones en el siglo XX muestran que persistía la cascada de hielo en el flanco del pico en 1935, pero que en 1945 se había reducido a una columna. Doce años después, dicha columna había desaparecido, dejando a la vista un escarpe rocoso descarnado y cesando, al quedar desconectado, la alimentación directa al sector inferior. El resto del hielo se mantuvo colgado, por tanto, en dos repisas rocosas cercanas a la cumbre, donde, hasta hoy, no ha cesado su retroceso¹¹³. Con la imagen, aún radiante, de lo que ahora queda de aquellos hielos, vistos desde el cuenco del circo de Tucarroya (o Plana de Marboré) a 2.600 m de altitud, cerramos este recuerdo al progreso en el conocimiento antiguo de las formas de las montañas, que se hizo como quien sube a una cumbre, avanzando a cada paso¹¹⁴.

* * * *

¹¹²Para una información bibliográfica detallada remito a las 53 referencias que incluí en mi capítulo: (2001): “El relieve como fundamento del paisaje”. En Vv Aa: *Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. Madrid, Canseco. Ver también Martínez de Pisón, E. (1986): “El macizo plegado de Monte Perdido”. En Martínez de Pisón y Tello, B. (coords.): *Atlas de Geomorfología*. Madrid, Alianza. Del mismo: (2000): “Introducción”. En España, A. de: *El Parque Nacional del Valle de Ordesa*. Madrid, Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Respecto al glaciario, Nicolás, P. (1981): “Morfología del circo de Tucarroya”. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, VII. Del mismo: “Morfología de un aparato glaciar. El glaciar nororiental de Monte Perdido”. En Martínez de Pisón, e. y Tello R. (coords.) 1986: *Atlas de Geomorfología*. Op. cit.

¹¹³Con amplia información y el añadido de una visión cultural del glaciario pirenaico, ver: Serrano, E. (2023): *Glaciares. Cultura y patrimonio. La huella cultural de los glaciares pirenaicos*. Valladolid, Universidad de Valladolid.

¹¹⁴Carcavilla, L. (2016): *Montañas*. Madrid, IGME y Catarata.

CONCLUSIÓN

“This world is not a living being,
like a plant or an animal
and yet there is evidently a sense
in which we may speak of it as endowed with life”.

A. Geikie: *Physical Geography* (1894).

Transcurre el tiempo, los saberes van construyendo la ciencia siglo a siglo. También, en sólo una vida de formación geográfica, recorreremos un camino en el que aprender, a través de lecturas acumuladas, del esfuerzo y del talento de numerosos estudiosos de las montañas, a entender su obra desde la admiración, la gratitud y el respeto, y a comprender mejor los paisajes por los que hemos andado con una interrogación en la mente. Para contribuir a que ese legado no caiga en el olvido que nace de las exigencias del presente, hemos escrito su recuerdo y reconocimiento en estas páginas con espíritu de historiador y un punto de nostalgia. Pues también somos herederos de un sentimiento que Dupaigne expresaba de este modo en su libro de 1873, antes citado: “Es esta variedad en la altitud, la forma, la naturaleza de las rocas, la vegetación, la luz, el clima, la que crea la individualidad de cada montaña y le otorga esa belleza particular que vincula y seduce al hombre como la de un ser personal y vivo”.



Pautas geométricas en el roquedo del Midi d'Ossau, Pirineo (dibujo de E. M. de Pisón).

certest