

LEOPOLD VON BUCH (1774-1853), LAS ISLAS CANARIAS, Y EL ORIGEN DE LA TEORÍA DE LOS CRÁTERES DE ELEVACIÓN

CÁNDIDO MANUEL GARCÍA CRUZ
INHIGEO

Resumen

Leopold von Buch fue uno de los más eminentes geólogos del siglo XIX. Su capacidad de observación y descripción del mundo natural no tuvo parangón durante décadas, lo que hizo de él uno de los científicos más influyentes de su época. Formado inicialmente en la escuela werneriana de Friburgo, fue abandonando paulatinamente el neptunismo para abrazar la corriente plutonista-vulcanista. Entre sus teorías geológicas destaca la de los *cráteres de elevación* como origen de las islas oceánicas: debido a una fuerza de origen magmático procedente del interior se levanta un conjunto de materiales estratificados de la superficie terrestre, cuyo posterior colapso da lugar a un cráter de elevación, distinto a los conocidos como cráteres de erupción. Esta idea la desarrolló Buch como teoría geológica a partir de sus estudios sobre las calderas de Taburiente (La Palma) y Las Cañadas (Tenerife), en las islas Canarias, en 1815, generalizando o ampliando algunas de sus observaciones efectuadas en Auvernia e Italia.

Abstract

Leopold von Buch was one of the most eminent geologists of the 19th century. His capacity for observation and description of the natural world, matchless for decades, turned him into one of the most influential scientists of his time. Buch was initially trained in the Wernerian School at Freiburg, but he was gradually leaving the Neptunism for embracing the Plutonism-Vulcanism. The *craters of elevation* as the origin of the oceanic islands is the most striking theory among his geological ideas: a layered materials of the earth's surface raises due to a force of magmatic origin coming from inside, whose subsequent collapse causes an elevation crater, unlike those known as eruption craters. Buch developed this idea as a geological theory from his studies about the calderas of Taburiente (La Palma) and Las Cañadas (Tenerife), in the Canary Islands, in 1815, either generalizing or expanding some observations he carried out in Auvergne and Italy.

Palabras clave: Leopold von Buch, Islas Canarias, Teoría de los cráteres de elevación, Siglo XIX.

Keywords: Leopold von Buch, Canary Islands, Theory of elevation craters, 19th Century.

Recibido el 3 de abril de 2016 – Aceptado el 3 de mayo de 2016

INTRODUCCIÓN

Christian Leopold von Buch, Barón de Gehmersdorf (1774-1853), es una de las figuras más conspicuas en el desarrollo histórico de la geología, y en particular de la vulcanología¹, uno de los hombres más distinguidos egresados de la Escuela de Minas de Friburgo. Algunos de sus contemporáneos lo consideraron uno de los científicos más sobresalientes de todos los tiempos [GEINITZ, 1853, p. 7], “el ingenioso explorador de la naturaleza, el mayor geognosta de nuestra época” [HUMBOLDT, 1853a,b, dedicatoria; DECHEN, 1853, p. 4], valorado asimismo como el más insigne geólogo que ha dado Alemania [GEIKIE, 1897, p. 245], el más ilustre de los discípulos de Werner [ZITTEL, 1899, p. 92; 1901, p. 61]. No obstante, para Nieuwenkamp [1970, p. 555], la mayor parte de los trabajos de Buch, a excepción de sus observaciones geognósticas efectuadas en sus viajes por Alemania e Italia, debería figurar en realidad entre las *belles lettres* de su época, puesto que la investigación geológica como tema principal es más bien escasa. Analizando la obra de Buch se ve que esta valoración es inexacta, y a pesar de la larga perspectiva temporal que representan los más de cien años transcurridos desde su fallecimiento, se ignora, además, la capacidad para interrogar a la naturaleza que tenía el científico prusiano, la minuciosidad, la precisión, la agudeza y el poder de sus observaciones, su perseverancia, su celo y su entusiasmo por la investigación de campo, a quien se debían las explicaciones más importantes sobre las que se basaban los conocimientos y las conclusiones de la época en relación con la formación de la corteza terrestre. Aunque sus explicaciones e interpretaciones en algunos casos fueran erróneas, se le considera el geólogo más influyente de la primera mitad del siglo XIX [ŞENGÖR, 2003, p. 83]; de hecho, muchos de los trabajos de Buch fueron traducidos casi simultáneamente o en poco tiempo al inglés y al francés por su relevancia. Durante su vida se produjeron los cambios más significativos y radicales sobre la historia de la Tierra (y sobre la historia de la vida), destacando entre ellos la estructura de las montañas y los mecanismos de su formación, y, sin duda, Buch fue uno de los principales protagonistas².

Leopold von Buch había nacido el 26 de abril de 1774 en el castillo familiar de Stolpe, cerca de Angermünde (Alemania), en el seno de una familia noble y acomodada, y falleció el 4 de marzo de 1853 en Berlín, unas semanas antes de cumplir 79 años.

Se formó durante tres años (1791-1793) en la Escuela de Minas (*Bergakademie*) en Friburgo, bajo la atención y supervisión especial, como alumno favorito y además interno en su propia casa, de Abraham Gottlob Werner (1749/1750-1817). Previamente, y con apenas 15 años, había estudiado en Berlín durante un semestre mineralogía y química. Resulta algo paradójico que esto fuese un requisito indispensable para la admisión en la Escuela werneriana, donde las reacciones químicas se consideraban ajenas a las características de los minerales, y la química era por lo tanto una actividad externa que no influía en absoluto en la independencia de la mineralogía. La corriente que imperaba en las enseñanzas de Werner³ era el Neptunismo, que promulgaba un origen acuoso para todas las rocas, incluido el basalto, como conse-



Fig. 1. Leopold von Buch (1774-1853) a la edad de 49 años, durante el período en que ya estaba trabajando sobre las islas Canarias, según un grabado de Ambroise Tardieu, de 1823 [ZITTEL, 1901, pp. 256-257]

cuencia de la precipitación y sedimentación a partir de un océano universal primigenio, aunque esta idea, en el caso particular de Werner que por otro lado era deísta, no tenía una base bíblico-hexameral en referencia al Diluvio Universal; asimismo, se infravaloraba en general el efecto de la erosión como agente geológico, aunque el propio Werner y algunos de sus discípulos sí le daban una cierta importancia. En esa Escuela de Minas conoció a Alexander von Humboldt⁴ (1769-1859), con el que mantuvo una amistad durante toda su vida; mutuamente se influyeron en el estudio de la geología, y Humboldt fue prácticamente el responsable de la orientación de Buch hacia el vulcanismo y de su visita a las islas Canarias.

Pasó el año 1794 en las universidades de Halle y Gotinga cursando fundamentalmente leyes, y dos años más tarde fue comisionado por el gobierno prusiano como inspector de minas en Silesia para llevar a cabo un estudio de esta región. Realizó en primer lugar una pequeña memoria preliminar sobre mineralogía [BUCH, 1797], clara, lúcida, simple y concisa, que llamó en seguida la atención sobre la capacidad descriptiva de su autor. Poco después finalizó su informe geognóstico [BUCH, 1797-1798; 1802a], en el que una de las conclusiones más importantes estribaba en su convicción, bajo el prisma del neptunismo werneriano [WERNER, 1787, p. 25], de que el basalto no era una roca de origen volcánico sino fruto de la precipitación a partir de un océano primordial. En Silesia, por ejemplo, había observado que el basalto se

encontraba sobre rocas muy diferentes, tanto antiguas como recientes, incluso sobre rocas más antiguas que las formaciones de carbón existentes, de las que dependía (entre otros materiales inflamables) la actividad volcánica según las ideas de Werner, que por otro lado infravaloraba la influencia de los volcanes en el modelado del paisaje, y como fenómenos geológicos los consideraba posteriores al Diluvio. El basalto era una roca muy abundante, consecuentemente no podía haberse producido por medio de fenómenos volcánicos, tal y como sentenció: “Las condiciones en las que se encuentra el basalto en cualquier país o región, excluye de forma inmediata toda idea de que hubiera ascendido como una sustancia fundida, más aún, que en cada montaña de esta clase se encuentre un volcán” [BUCH, 1797-1798/1802a, p. 126/ed. 1867, p. 227]. Reconoció también la *historia*⁵ de los diferentes materiales que formaban Silesia⁶ en la secuencia de formación, e interrogando esas formaciones *en el nombre de Werner*⁷, es decir, aplicando los mismos principios aprendidos en la Escuela de Minas de Friburgo, consideró que todas las masas rocosas debían haberse originado por precipitación acuosa, y que las desigualdades de la superficie terrestre se formaron bajo las mismas circunstancias y en el mismo lugar donde se encontraban, tal y como se observaban en el presente.

En los años siguientes, y tras recibir una herencia familiar, abandonó los trabajos para la administración y se dedicó por entero y de por vida, sin necesidad de trabajar para subsistir, a sus intereses personales y a financiarse sus propios proyectos de investigación. Entre éstos destacan sus viajes por Alemania, Italia, Francia, Escandinavia, y las islas Canarias⁸.

LEOPOLD VON BUCH, EL VIAJERO EMPEDERNIDO

Comenzó sus primeros viajes de estudios geognósticos a finales del siglo XVIII, con apenas 24 años, a pie, por Alemania e Italia. Pasó el invierno de 1797-1798 en Salzburgo, donde coincidió con Humboldt. La primavera siguiente cruzó los Alpes a través del Tirol, y se trasladó al norte de Italia, en la región de los Dolomitas, observando durante algunos días las Colinas Euganeas, cerca de Padua, formación volcánica ya extinta con el aspecto de pequeñas islas que sobresalen del terreno. Poco tiempo después visitó Roma, donde iba a ser consciente de una primera contradicción en relación con los principios wernerianos: encontró basaltos entre los materiales volcánicos de los montes Albanos, próximos a la capital italiana, semejantes a los que se hallaban en Alemania, y de su estudio minucioso concluyó que los minerales que formaban el basalto y el granito, entre ellos la leucita, no eran solubles en solución acuosa, por lo que estos cristales se debían haber formado en una lava mientras estaba fundida, descartando cualquier posibilidad que implicara su precipitación a partir de una disolución y su posterior incorporación a un magma [BUCH, 1799b,c, 1801]. Tales contradicciones motivaron que los intereses de Buch se orientaran hacia la observación del volcanismo activo, al tiempo que se empezaban a debilitar algunas de sus concepciones neptunistas, aunque en gran medida seguía bajo la influencia del pensamiento

werneriano como se puede apreciar en alguna de sus cartas [BUCH, 1799a, p. 361]. Buch se dirigió hacia el sur de Italia, puesto que los volcanes activos se encontraban en la zona meridional. Llegó por primera vez a Nápoles en febrero de 1799 con la finalidad de ascender al Vesubio y recorrer las zonas afectadas por la erupción de 1794, viaje que dio como fruto, junto con sus estudios geognósticos en Alemania, una extensa monografía en dos volúmenes [BUCH, 1802a, 1809]⁹. En 1804 realizó un segundo viaje a Italia, con una estancia más prolongada y mucho más fructífera que la anterior en sus aspectos prácticos; en esta ocasión estuvo acompañado de Humboldt y Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850), y fueron testigos de la erupción del Vesubio en agosto de 1805, que Buch describió de forma detallada, a pesar de que para él había sido poca cosa, algo incompleta y de las menos desastrosas [BUCH, 1805].

Entre estos dos viajes a Italia, Buch visitó en 1802 Auvernia, en el Macizo Central Francés (Fig. 2). Esta región volcánica, sin parangón en toda Europa, se había convertido ya desde el siglo XVIII en un icono de interés excepcional por sus característi-



Fig. 2. Mapa de la cadena de picos de Auvernia levantado por los ingenieros geógrafos reales Pasumot y Dailley para la memoria de Nicolas Desmarest sobre el basalto [DESMAREST, 1771, lámina XV, entre pp. 774-775]; el Puy de Dôme destaca aislado en el centro de la parte superior del mapa. (Bibliothèque Nationale de France, París)

cas naturales para la investigación de campo, y formaba parte del itinerario obligado para los naturalistas, especialmente para aquellos viajeros interesados en sus aspectos geológicos. Entre los pioneros más relevantes que visitaron Auvernia, y participaron en el reconocimiento del volcanismo en esta región, se encuentran Barthélemy Faujas de Saint-Fond (1741-1819), Jean-Louis Giraud-Soulavie (1751-1813), Déodat Gratet de Dolomieu (1750-1801), Jean-Etienne Guettard (1715-1786), y Horace Bénédict de Saussure (1740-1799)¹⁰.

Precisamente a Buch le interesaba la cadena de picos o *puys*¹¹, entre ellos el Puy de Dôme, en las proximidades de Clermont. La conclusión más importante que extrajo de sus observaciones fue que estas estructuras, según su apreciación personal, habían sufrido un *solevantamiento* como formaciones hemisféricas carentes de cráteres en la cima y que interpretó como *toloides*¹². Cerca de algunos volcanes observó frecuentes erupciones de lava, y dedujo que los flancos de dichos volcanes estaban constituidos por delgadas capas de rocas regionales que se habían elevado para formar el techo de cavernas rellenas de lava. La fuerza expansiva de los vapores que circulaban por esas venas y cavernas del subsuelo era más que suficiente para provocar la elevación de las masas sólidas de la corteza terrestre [BUCH, 1802b; 1802c; 1809; caps. 4-6]. En el Montdore (Mont d'Ore) en concreto, no observaba ni cráter en la cima ni coladas de lava, y supuso que los basaltos se habían elevado con posterioridad a su consolidación, e interpretó el circo que coronaba este pico como una *estructura de colapso extensional* [BUCH, 1802a,b, pp. 303-311; 1867, pp. 513-516], no como un cráter. En los alrededores de Clermont, Buch señaló un descubrimiento hecho por Dolomieu unos años antes: los volcanes se elevaban a través de un zócalo de granito, y advirtió que estos volcanes estaban constituidos por una roca feldespática bastante peculiar que había pasado desapercibida, a la que llamó *domita*¹³ en referencia al Puy de Dôme, de cuyos materiales formaba parte [BUCH, 1802b, p. 244; 1809; 1867, pp. 478-479]. En el caso particular de este pico, Buch consideró que en realidad se trataba de una masa granítica que había sido alterada por la inflación de los vapores debido a una fusión parcial o imperfecta, y que se habría podido elevar como si fuera una burbuja en una masa pastosa, sin reventarse en la parte superior y consecuentemente sin exhibir fenómeno volcánico alguno [BUCH, 1802c, pp. 312-313].

Todos estos levantamientos los consideraba Buch como fenómenos repentinos, violentos, y direccionales¹⁴, y consecuentemente dentro de la filosofía catastrofista, aunque unos años antes había llegado a plantear una cierta uniformidad en la naturaleza, más próxima a la *Naturphilosophie* especulativa que a sus propias creencias [BUCH, 1806].

Sobre los basaltos del Montdore, sin poder definir con seguridad su origen, afirmaba que él no podía establecerse como defensor neptunista de los mismos, pero que sin duda eran distintos a los observados en Sajonia (Alemania) y en Suecia [BUCH, 1802c, p. 316]. Sobre esto mismo insistiría en el apéndice final de su obra de 1802-1809 dedicado a sus observaciones en Auvernia, al reconocer que los basaltos de esta

región francesa bien podrían tener un origen en el metamorfismo del granito, nunca por fusión, pero que en cualquier caso, ni los vulcanistas más entusiastas podrían ver en esto una regla general para aplicarla a los basaltos alemanes, para él claramente distintos [BUCH, 1802a,b-1809, p. 311/1867, p. 518]. Estas opiniones de Buch, según Şengör [2014, p. 45], son claramente el complejo neptunista de un recién convertido al vulcanismo. A pesar de que Auvernia ha sido calificada como *la tumba de las ideas neptunistas* [HALLAM, 1983, p. 17], y de hecho así lo fue para muchos discípulos de Werner, en el caso particular de Buch, como hemos visto, esta conversión (o deserción, según se mire) no llegó nunca a ser total.

A mediados de 1806, Buch abandonó Berlín y se dirigió hacia el norte de Europa, a Escandinavia, donde pasaría algo más de dos años, hasta octubre de 1808. Allí hizo, entre sus observaciones, dos muy relevantes para el conocimiento de las deformaciones de la corteza terrestre. Nada más llegar a Noruega, en las proximidades de Christianía (la actual Oslo), observó algo sorprendente: el granito, considerado por los wernerianos la roca más primitiva que conformaba el núcleo terrestre, se encontraba entre otras rocas más recientes, y a lo largo de grandes extensiones estaba cubierto por calizas fosilíferas que atravesaba mediante numerosas venas. Por lo tanto, este granito, en contra de las creencias neptunistas, tenía que haber sido expelido desde el interior del planeta por algún fenómeno que se podría asemejar a las ideas vulcanistas-plutonistas. Una segunda observación la realizó en la costa del Báltico y que calificó como “un fenómeno extraordinariamente extraño, curioso y espectacular” [BUCH, 1810, p. 290; 1870, p. 503]: se trataba de la existencia en el golfo de Botnia de evidencias geológicas de origen marino en terrenos que se encontraban en esa época muy por encima del nivel del mar, algo que ya había sido señalado por el topógrafo danés Erich Johan Jessen (1705-1783) cincuenta años antes [JESSEN, 1763, cap. xv], pero que había pasado desapercibido. Puesto que la retirada de las aguas implicaba un desequilibrio entre las masas terrestres y acuosas, Buch concluyó que “la única posibilidad es la convicción de que toda Suecia se está elevando lentamente, desde Frederikshald hasta Åbo e incluso hasta Petersburgo” [BUCH, 1810, p. 291; 1870, p. 504]. Estas observaciones de Buch abrieron nuevas perspectivas en los estudios geológicos en los países nórdicos, confirmandose en los años siguientes la elevación de Escandinavia.

Buch regresó a Alemania, pero aún le quedaba por realizar la más atractiva de todas sus expediciones: las islas Canarias.

EL VIAJE DE LEOPOLD VON BUCH A LAS ISLAS CANARIAS

Bajo el consejo de Humboldt, en 1815 Buch realizó un viaje a Canarias, “uno de los más interesantes viajes que puede hacer un hombre que se ocupa de la estructura del globo”, según el geólogo y mineralogista francés Louis Cordier (1777-1861), que unos años antes había quedado fascinado por la naturaleza de estas islas [CORDIER, 1803, p. 62]. En esa ocasión lo hizo en compañía del botánico noruego Christen

Smith (1785-1816), al que había conocido en Londres el año anterior. Durante casi seis meses recorrieron Tenerife, La Palma, Gran Canaria y Lanzarote. Además de la vegetación de las islas, Buch estudió exhaustivamente las calderas¹⁵ de Las Cañadas en Tenerife y Taburiente en La Palma. Fruto de ese viaje publicaría dos trabajos, uno sobre las islas basálticas y los cráteres de elevación, y otro sobre el Teide [BUCH, 1820; 1822]; unos años después, en 1825, publicaría la primera descripción física del archipiélago [BUCH, 1825a], obra que una década más tarde sería traducida al francés, y a finales del siglo XX, casi ciento ochenta años después, al castellano a partir de la versión francesa [BUCH, 1825b; 1825c; 1825d]¹⁶. En esta obra expone con todo detalle el itinerario seguido, que fue esencialmente descriptivo en temas geográficos y botánicos¹⁷, junto con una serie de observaciones geológicas del mayor interés en las que daba por sentado la existencia de los cráteres de elevación.

Después de pasar por Madeira, llegaron a principios de mayo a Tenerife con la idea fija de subir al Pico, una de las excursiones obligadas para la gran mayoría de los naturalistas europeos. Ascendieron al Teide dos veces en diez días, haciendo una descripción detallada de su recorrido. Visitaron también las coladas de 1706 que destruyeron Garachico, y otras lavas en la zona de Icod. A finales de junio van a Gran Canaria, recorren toda la isla y se detienen en la espectacular caldera de Tiraxana (Tirajana). A su regreso a Tenerife, en agosto, vuelven a subir a la cumbre de la isla y bajan por La Guancha, en la vertiente norte, lo que repiten en los días siguientes pero descendiendo en esta ocasión por la zona sur, hacia Güímar. A finales de septiembre se dirigen a La Palma, y penetran en la caldera de Taburiente por el barranco de Las Angustias, sin un camino definido y entre rocas escarpadas a ambos lados del arroyo, hasta que la gran depresión geológica se abre en toda su inmensidad; cuando acceden al borde de la cumbre de este extraordinario *cráter*, Buch percibe la grandiosidad y la turbación de las partes inferiores de la caldera, visión que para él representa un disfrute único en el mundo [BUCH, 1825a; 1877, pp. 259]. La última parte de este viaje lo dedicaron a Lanzarote¹⁸, a donde llegaron el 17 de octubre. Por su interés geográfico, y en su corta estancia de apenas diez días, visitaron la zona del volcán cuya erupción destruyó diversos pueblos en 1730 (en alusión a Montaña de Fuego), el volcán de La Corona, en la parte norte, y el Tinguatón, cerca de Timanfaya.

Buch realizó numerosas observaciones geológicas en las islas que visitó y que se recogen en la descripción de cada una de ellas. En los primeros párrafos sobre Tenerife es interesante destacar una curiosa observación y la interpretación correspondiente sobre la formación y el origen del valle de Taoro (La Orotava): “Si se observa desde lo alto la zona baja de esta superficie entre ambas paredes, se puede pensar casi instintivamente que es consecuencia del desmoronamiento de la ladera de la isla, quedando al descubierto los bordes de la parte inferior por los restos que se han desprendido. La proximidad de un volcán tan enorme y destructivo [en alusión al Teide], hace que este fenómeno no resulte tan extraño y pase desapercibido” [BUCH, 1825a; 1877, pp. 405-406]. Buch está señalando de una forma muy sencilla la posibi-

lidad de un gigantesco deslizamiento en la ladera norte de la isla de Tenerife que habría dado lugar a este valle. Es probable que adoptara una idea previa de su amigo Alexander von Humboldt (aunque no lo cita expresamente) para proponer esta explicación sobre el origen del valle de La Orotava: en su *Viaje a las regiones equinociales*, Humboldt intenta dilucidar la formación de la Cueva de Guácharo, en el valle venezolano de Caripe, y en general de los materiales rocosos horadados, planteando, frente a la acción directa del agua, la posibilidad de un *desmoronamiento* del terreno que modificaría la forma exterior de las montañas, como por ejemplo *la formación de un nuevo valle abierto en sus flancos* [HUMBOLDT, 1814, Libro III, p. 426]. Esta hipótesis se ajusta a las ideas modernas sobre grandes deslizamientos que desde los años 1960 llegaron a establecerse no solo para el valle de La Orotava, sino para otras zonas de Canarias (caldera de Las Cañadas y valles de Güímar e Icod, en Tenerife, o el escarpe de Las Playas y valle de El Golfo, en El Hierro, entre otros ejemplos), así como de otras islas volcánicas oceánicas como Hawái¹⁹.

Del resto de las observaciones solo se destacarán aquéllas que de una forma u otra tienen que ver con su teoría de los cráteres de elevación.

Para Buch, los conglomerados basálticos que se disponen en capas alternativas y que observa en diferentes partes de Tenerife no presentan las características propias de una materia que ha corrido en estado fluido; además, la anchura de estas rocas permite rechazar la idea de haber sido en su momento corrientes (coladas) de lava, por lo que su origen no debe ser el resultado de la proyección a partir de cráteres. Asimismo, la toba parece que primitivamente estuvo bajo el mar, y que muchos materiales que están recubiertos de tosca²⁰ deben haberse originado por acciones completamente distintas y mucho más intensas que no podrían relacionarse en modo alguno con conos de erupción. Por eso señala al circo del Teide como un inmenso cráter de levantamiento, cuyas protuberancias constituyen una envoltura exterior o cinturón de peñones que precede al Pico pero que no pertenece realmente al él. Tan solo existen huellas de cráteres de erupción en forma de conos que se corresponderían con las corrientes de lava en la zona noroeste, responsables de la intensa acción volcánica que sería la causante de la fracturación y ruptura de los bordes de este cráter de levantamiento [BUCH, 1825a; 1877, pp. 406-441].

En la isla de Gran Canaria tampoco reconoce huellas de actividad volcánica, y en la caldera de Bandama, su más importante cráter, no ve nada que se pueda considerar una corriente o una lava antiguamente fluida. La primera mención como cráter de levantamiento para esta isla lo hace en Valsequillo, en cuyo valle existen escorias y conglomerados basálticos sobre traquitas en capas que forman el exterior de dicho cráter. Por otro lado, la caldera de Tirajana la cita repetida e indistintamente también como cráter de levantamiento, cuyo origen lo asocia con una grieta, de paredes verticales, y supone que el valle de Tejeda es una continuación de dicha grieta o una nueva hendidura que se abrió en la falda de la montaña en el momento del levantamiento [BUCH, 1825a; 1877, pp. 456-470].

Respecto de la isla de La Palma, Buch quedó totalmente impresionado por la Caldera de Taburiente, porque representaba de un modo tan claro la forma en que las islas basálticas han surgido del seno de la tierra, y en ninguna otra parte se podía penetrar tan lejos y tan profusamente en su interior. Una vez más encuentra asombroso el origen de las capas de conglomerado basáltico y los gruesos bloques que parecen proceder de una tierra extraña. Las faldas del barranco de Las Angustias son verticales, como lo serían las paredes de una gran grieta, donde perciben fácilmente la serie de capas de toba que se alternan con los basaltos, atravesados todos ellos por filones [diques] cada vez más frecuentes conforme se asciende. Nada de lo que observa Buch en la Caldera recuerda a un cono de erupción, ni a corrientes de lava, escorias o lapilli. Es evidente para él que se trata de un cráter de levantamiento con unas dimensiones que superan con mucho los de cualquier otra isla basáltica, tanto en circunferencia como en profundidad. Asimismo, Buch piensa que la disposición de los materiales, la inclinación de los estratos, y la distribución y forma de los barrancos tienen una causa común: la Caldera no es otra cosa que la gran chimenea, el cráter de levantamiento por el que se abrió paso la fuerza que levantó toda la isla del fondo del mar por encima de su superficie [BUCH, 1825a; 1877, pp. 477-487].

Por último, en sus observaciones sobre Lanzarote, Buch aporta en sus primeras páginas un documento muy interesante: la descripción que realizó Andrés Lorenzo Curbelo, cura párroco de Yaiza, sobre la erupción de Montaña de Fuego (1730-1736) que afectó a un tercio de la isla. Si el Teide, sugiere el científico prusiano, hubiese permanecido constantemente abierto, es probable que los vapores no hubieran buscado abrirse paso en Lanzarote, quebrando las capas basálticas que cubren la superficie de la isla (véase más adelante lo expresado sobre el Teide como *volcán central y único*). Reconoce, por otro lado, que todas las rocas lanzaroteñas no pertenecen a conos de erupción, sino que forman capas de verdadero basalto y conglomerados tobáceos como en todas las islas de levantamiento. Buch, además, clasifica los distintos tipos de islas oceánicas en tres grupos. En el primero, las *islas basálticas*, presentan un cráter de elevación, como sería el caso de Canarias; un segundo grupo al que denomina *islas volcánicas*, aisladas, con picos altos y cúpulas de traquita con un cráter encima; por último, el tercer grupo estaría formado por *islas de erupción*, de fenómenos eruptivos aislados, cuya existencia las relaciona con las primeras. Finalmente, en la parte septentrional de Lanzarote no observa profundos barrancos ni paredes verticales, lo que estaría acorde con la pendiente exterior de un cráter de levantamiento, uno de cuyos muros debió precipitarse al mar [BUCH, 1825a; 1877, pp. 497-505].

En ninguna parte de esta obra sobre el archipiélago canario (ni en cualquier otro de sus trabajos), Buch tiene en consideración la erosión en el modelado del paisaje, antes bien, le resta importancia a sus efectos [BUCH, 1844a,b], lo que viene a representar una cierta adhesión a los postulados neptunistas, a los que en realidad nunca renunciaría del todo.

Buch y Smith²¹ abandonaron Canarias el 27 de octubre de 1815, y regresaron a Inglaterra después de una larga y tortuosa travesía de mes y medio, el 8 de diciembre de ese mismo año. Posteriormente visitaría ya en solitario y durante algunos meses las Hébridas y la zona volcánica en el entorno de Edimburgo, en Escocia, y la Calzada de los Gigantes, en Irlanda.

LA TEORÍA DE LOS CRÁTERES DE ELEVACIÓN

Cuando Buch llegó al archipiélago canario en 1815 mantenía casi intactos sus principios neptunistas, a pesar de lo observado en distintas partes de Europa como ya hemos visto con anterioridad, y especialmente traía consigo la idea de que el basalto (al menos el que había estudiado en Alemania) no era una roca volcánica. Sin embargo, ya había abrazado algunas ideas vulcanistas, y empezó a reconsiderar la influencia de los volcanes en el modelado de la superficie terrestre, aunque habría de distinguir todavía entre lo que era un volcán, un cono de erupción y los materiales lávicos, distinción que en lo referente a los cráteres aparecería en algunas obras francesas generales de la época [HUOT, 1828, pp. 740-745; BURAT, 1835].

En sus trabajos en relación con Canarias [BUCH, 1820, 1822, 1825a,b,d, 1836], en especial en sus observaciones sobre los materiales que conforman el circo de Las Cañadas del Teide (Fig. 3), en Tenerife, y la Caldera de Taburiente, en La Palma



Fig. 3. Mapa de la isla de Tenerife, con la caldera de Las Cañadas en la parte central [BUCH, 1825c²², lámina I]. (Jardín de Aclimatación de La Orotava, Tenerife)

(Fig. 4), “le llevaron a proponer uno de los más bellos monumentos de la ciencia geológica” [SAINTE-CLAIRE DEVILLE, 1848, p. 35], la teoría de los *cráteres de elevación*, como origen de los grupos de islas basálticas, entre ellos Canarias, ampliando o generalizado sus ideas sobre los levantamientos en Auvernia. A este respecto, Gohau [2003] ha interpretado que la teoría de los cráteres de elevación nació a partir de estas últimas observaciones en el Macizo Central Francés, aunque en ningún momento Buch se expresa en esos términos en sus trabajos sobre Auvernia o sobre el Vesubio. Es en su trabajo leído en Berlín el 18 de mayo de 1818 [BUCH, 1820] cuando enuncia su teoría de los cráteres de elevación.



Fig. 4. Mapa de la isla de La Palma, donde se aprecia la caldera de Taburiente [BUCH, 1825c, lámina III]. (Jardín de Aclimatación de La Orotava, Tenerife)

Haciendo una síntesis de los trabajos citados, Buch inicia su razonamiento estableciendo una distinción entre lo que para él eran las islas basálticas y los volcanes. Los volcanes serían montañas aisladas, compuestas esencialmente de traquita, de for-

ma cónica, de diferentes alturas, representan la conexión del interior de la tierra con la atmósfera a través de chimeneas y por eso suelen estar envueltos por materiales distintos, bien sea de lava, piedras irregulares, lapilli o escorias. Las islas basálticas, por el contrario, son mucho mayores, con basaltos estratificados a su alrededor, carecen de corrientes de lava y raramente contienen traquita; nunca formaron parte de los continentes; constituyen una inmensa caldera o cráter de elevación, y en su parte central se forma un cono que podría llegar a ser un volcán permanente. Sobre esta diferencia, es imprescindible destacar algo relevante: para Buch *era más una observación que una hipótesis* [BUCH, 1820, p. 169].

Según esta teoría (Fig. 5), debido a una presión desigual procedente del magma del interior de la Tierra se produciría la elevación de una zona estratificada de la superficie terrestre (a). Se forma así una especie de domo que llega a romperse por colapso, con el consiguiente desarrollo de un cráter de elevación (b), distinto de los tí-

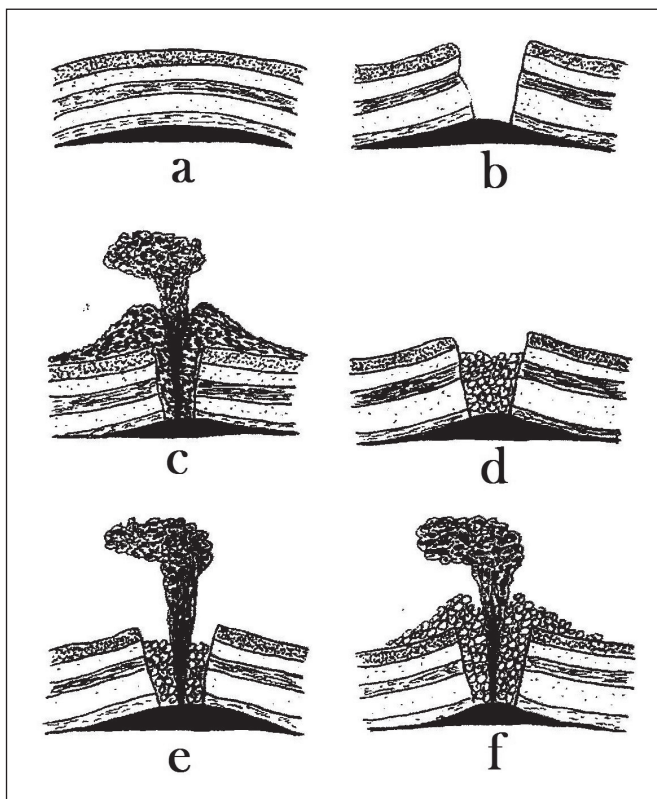


Fig. 5. Interpretación de la formación de los cráteres de elevación de acuerdo con las ideas de Leopold von Buch [GARCÍA CRUZ, 2009, p. 44, basado en unos esquemas (redibujados) de ZIMMERMANN, 1855, pp. 412-415] (Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig)

picos cráteres originados por una erupción (c). En su estadio inicial puede estar relleno de materiales líquidos, escorias volcánicas o rocas no fundidas. A veces, los cráteres de elevación pueden estar obstruidos, bien rellenos parcialmente de lava solidificada, escorias o pumitas, o totalmente taponados (d). Esta obstrucción funcionaría como una especie de válvula de seguridad, que sería removida por otra erupción de materiales líquidos o gaseosos, y, como fenómeno secundario, se desarrollaría en su interior un cono de escorias volcánicas (e). Las actividades volcánicas posteriores cubrirían totalmente estas zonas de elevación corticales (f).

Las islas Canarias habrían surgido del fondo oceánico como tumores presionados hacia arriba debido al empuje vertical de una fuerza procedente del interior de la Tierra, probablemente el magma ascendente de acuerdo con la teoría plutonista. Esto daría lugar a un cráter en la cima y una serie de fisuras radiales en la periferia (Fig. 6). Por su forma y su situación, tal y como observaba en el Teide, esta suposición²³ para él era casi una certeza [BUCH, 1825a; 1877, p. 435].



Fig. 6. Cráteres de elevación. 1. Vista de la cima del Pico de Tenerife y del cráter de elevación que lo rodea; 2. Vista del cráter de elevación de la isla de La Palma; 3. Vista de la Isla Barren al norte de las Islas Nicobar [BUCH, 1825c, lámina vi] (Jardín de Aclimatación de La Orotava, Tenerife)

En relación con esto, es interesante hacer notar que Humboldt había observado, en su *Ensayo sobre la Nueva España* [HUMBOLDT, 1809, Libro III, cap. VIII, pp. 18-27], el fenómeno que interpretó como un *solevantamiento* del volcán Jorullo, en México, de acuerdo con el relato de los habitantes de la zona, surgido de la tierra en 1759: "... un terreno de 3 á 4 millas cuadradas, á que dan el nombre de *Malpais*, se solevantó [el Jorullo] como una vegiga. Todavía se distinguen hoy, por las capas de tierra removidas, los límites de este trastorno" [HUMBOLDT, 1809, Libro III, cap. VIII, p. 20, ortografía original], y que se asemejaba a lo visto en los *puy*s de Auvernia [HUMBOLDT, 1809, Libro III, cap. VIII, p. 22]. Según algunos autores [GOSSELET, 1896, pp. 287-289; MEUNIER, 1911, pp. 182, 193; BROUSSE, 1978; DEAN, 1980], Buch se habría basado en esta idea previa de Humboldt para elaborar su teoría, aunque Suess [1885, p. 156] señala a la caldera de Somma, en la zona del Vesubio, en este mismo sentido.

Estas ideas y distinciones sobre el volcanismo explican la aseveración que hizo sobre Lanzarote: después de haber observado conos de erupción, cráteres y lavas, aseguró que en esta isla "todavía no hay ningún volcán ni nunca lo ha habido" [BUCH, 1825a; 1877, pp. 502-503]. Buch consideraba, por ejemplo, que Canarias eran de origen volcánico, pero que en ellas existía un solo volcán, el Teide, y como volcán central dependían de él todos los procesos eruptivos, que por otro lado eran muy raros en el archipiélago. El hecho de que no se diesen erupciones simultáneas en una misma isla, y menos aún en islas distantes, le hizo suponer una relación estrecha entre todas las erupciones centradas en la actividad del Teide, puesto que la existencia de una de ellas provocaba el decrecimiento de la presión interna en los conductos que conectaban entre sí todas las islas en su conjunto y condicionaba de esta forma otras erupciones al mismo tiempo [BUCH, 1825a; 1877, pp. 508-511].

Esta hipótesis de los cráteres de elevación sería apoyada por algunos naturalistas muy notables de la época porque pensaban que ofrecía la mayor evidencia y rigor que se esperaba encontrar en cualquier ciencia basada sobre todo en las leyes generales de la física [DUFRÉNOY y ÉLIE DE BEAUMONT, 1833, p. 4]. Siguiendo la teoría neumática aristotélica sobre el origen y efectos de los terremotos (*Meteorológicos*, I.8), Alexander von Humboldt apoyaba esta idea tal y como lo expresa en su obra *Cosmos* [HUMBOLDT, 1845, Libro I, pp. 114-115, y 120-121], considerando que entre las causas de los levantamientos y hundimientos de las partes sólidas de la corteza terrestre, la más decisiva era, sin discusión alguna, "la fuerza elástica de los vapores contenidos en el interior de la tierra" [HUMBOLDT, 1845, I, p. 158]²⁴.

De igual opinión sobre los cráteres de elevación eran, entre otros geólogos, Charles Daubeney (1795-1867), en *Description of active and extinct volcanoes* [DAUBENEY, 1826, Lecture III, pp. 150 y 249-260; 1848, caps. XXVIII, pp. 442-454, XXXVII, pp. 603-637], Léonce Élie de Beaumont (1798-1874), en sus trabajos sobre el Etna [ÉLIE DE BEAUMONT, 1830; 1834; 1835; 1836, esp. 4ª parte, pp. 507-576], Henry de la Beche (1796-1855), en *The geological observer* [DE LA BECHE, 1851, cap. XII, p. 378], o Salvador Calderón y Arana (1851-1911), en sus estudios sobre las rocas de Gran Cana-

ria [CALDERÓN Y ARANA, 1875, pp. 402-404], no así muchos otros autores, como George P. Scrope (1797-1876), que también había trabajado en las primeras décadas del siglo XIX en Auvernia y en Nápoles [SCROPE, 1827, Libro II, cap. III; 1829; 1858, cap. V], y, de forma más destacada, Charles Lyell (1797-1875). Aunque éste último no visitó Canarias hasta 1854, Lyell fue crítico con las ideas de Buch desde el primer momento basándose sobre todo en el ejemplo de la isla de Santorini, tal y como lo expresó en una discusión en contra de esta teoría en sus *Principles of Geology* [LYELL, 1830, pp. 386-395; 1835, pp. 205-223], así como en otros trabajos posteriores [LYELL, 1850; 1857; 1858; 1859; 1871, cap. XXVIII]²⁵. Tras su visita al Etna, a finales de 1828, y bajo una perspectiva actualista, el científico escocés consideró la hipótesis de los cráteres de elevación como insostenible ya que sus defensores no aportaban evidencias basadas en los procesos ordinarios que actuaban en la naturaleza. Además, la fuerza que provocaba la elevación, bien de origen sísmico o ígneo, acabaría por destruir la horizontalidad de los depósitos iniciales, hecho éste que no se observaba en Canarias ni en otros ejemplos propuestos por Buch, como en Limaña (en la región de Auvernia), en el valle de Calanna (Italia), o en la Isla Barren (Golfo de Bengala). Por otro lado, Lyell defendía un origen meramente volcánico, por acumulación de materiales, como resultado de un conjunto de erupciones. Asimismo, los estudios realizados por Louis C. Prévost (1787-1856) sobre la recién formada isla de Julia²⁶, cerca de Sicilia, contradecían las ideas de Buch [PRÉVOST, 1831; 1832; 1835]. Más aún, en los ejemplos citados por Buch no se encontraban ni fisuras radiales ni materiales estratificados con fósiles marinos, tal y como se debería esperar. Las observaciones de Charles Darwin (1809-1882) sobre las islas volcánicas visitadas durante la expedición del *Beagle*, y tras la lectura de los *Principles* de Lyell, el trabajo citado de Prévost, así como otros de Theodore Virlet d'Aoust (1800-1894), especialmente sobre Santorini [VIRLET D'AOUST, 1832-33; 1833; 1835], le indujeron al naturalista británico a rechazar la teoría de Buch porque no podía admitir que estas montañas basálticas (en referencia a las islas de St. Helena, Mauricio y St. Jago), y la depresión central existente, se hubieran formado por elevación de un simple domo, con el consecuente arqueado de las capas que lo conforman [DARWIN, 1844, cap. IV, pp. 93-96]. También era de esta opinión Georg Hartung (1822-1891), que suponía un foco magmático común para todo el archipiélago [HARTUNG, 1857, p. 129; 1862, pp. 1-27], así como Karl von Fritsch (1838-1906), que había realizado varias observaciones geológicas durante su estancia en Canarias [FRITSCH, 1867-1868, p. 27/ed. 2006, p. 139], para quienes las islas se habían formado por acumulaciones volcánicas.

El debate sobre los cráteres de elevación se fue disipando de forma paulatina y cesó prácticamente en la segunda mitad del siglo XIX, algunos años después del fallecimiento de Leopold von Buch y la desaparición de sus defensores²⁷.

CONSIDERACIONES FINALES A MODO DE CONCLUSIÓN

La idea de los cráteres de elevación encaja perfectamente en el marco conceptual del siglo XIX, tras el descubrimiento de la isostasia a finales del siglo XVIII y el desarrollo posterior de los fenómenos orogénicos basados en procesos plutónicos y ajustes gravitacionales. Lo mismo sucede con algunas otras ideas de Buch, sobre todo si se tiene en cuenta la discusión que existía sobre el origen del basalto, a pesar de que ya se había producido en gran parte su *conversión* a la filosofía vulcanista. Con una perspectiva exclusivamente actual quizás pueda sorprender que este naturalista alemán *distinguiera perfectamente*, como ya hemos visto, entre islas basálticas, volcanes e islas eruptivas. En el caso de las primeras, solían estar coronadas por un cráter de elevación. Y esto precisamente era lo que Buch había *observado* en La Palma y en Tenerife: grandes extensiones de basalto y materiales que habían sufrido algún tipo de elevación. Por eso era imposible que Buch aceptara otro origen para las islas que no fueran los fenómenos de levantamiento desde el fondo oceánico. Sin embargo, los escasos conocimientos sobre la isostasia en las primeras décadas del siglo XIX impidieron a Buch llegar a relacionar los ajustes necesarios a tal efecto para concretar mejor su teoría²⁸, de la que, por otro lado, nunca renegó.

Esta teoría no tuvo tiempo de convertirse en ese tipo de *catástrofes* que Goethe, a la sazón seguidor también del Neptunismo²⁹, consideraba en relación con las ideas erróneas que se sufrían durante siglos de poder haber echado raíces y transformarse en una especie de credo que nadie ponía en duda ni podía investigar [GOETHE, 1829, p. 51]. El desarrollo de la ciencia geológica se lo impidió, en especial la concreción de otras teorías como la del geosinclinal³⁰, aun manteniendo ciertos vínculos con las ideas plutonistas. Pero hay que reconocer que ocupó un lugar preferente en esa época en tanto que introdujo numerosos conceptos, estimuló las expediciones geognósticas y consecuentemente la observación y los trabajos de campo, que enriquecieron el conocimiento sobre todo de los fenómenos volcánicos, cuya discusión con los grandes geólogos de su tiempo abrió nuevos caminos a otras ideas que calaron mejor por su coherencia y poder explicativo en las Ciencias de la Tierra.

Finalmente, y en relación con su origen, bien sea en la región de los picos en Auvernia (Francia) en donde se desarrolló inicialmente esta idea, bien en el volcán Jorullo (México), o incluso en Somma, en el área del Vesubio (Italia), es a partir de sus trabajos sobre Canarias, y no antes, cuando Buch cita los cráteres de elevación como teoría geológica.

NOTAS

1. Buch también fue un reconocido paleontólogo y botánico, e hizo importantes contribuciones a la teoría glacial, pero estos aspectos no serán tratados en este artículo.
2. Véanse, a este respecto, GREENE [1982, cap. 4], LAUDAN [1987, cap. 8], OLDROYD [1996, cap. 8], RUDWICK [2008, cap. 8], ŞENGÖR [2003, cap. IX, 2014], TOURET [2007], WESTERMANN [2009].

3. Los principios de la corriente werneriana se encuentran en *Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten* [WERNER, 1787], y que ejemplificaría unos años más tarde en su teoría sobre la formación de los diques [WERNER, 1791, cap. I, pp. 1-6]; estos principios estuvieron en vigor durante casi medio siglo tras la publicación de estas obras. Una interesante síntesis contemporánea se encuentra en JAMESON [1808]; véanse DEAN [1998], ELLENBERGER [1994, pp. 265-273], ENGELHARDT [1982], FOSTER [2000, pp. 187-190], GEIKIE [1897, pp. 201-236], GUNTAU [1984, 1996], HALLAM [1983, pp. 2-18], LAUDAN [1987, caps. 5 y 7], NIEUWENKAMP [1975], OSPOVAT [1967, 1969, 1971]; para la contribución de Werner a la historia, véanse también ALBURY y OLDROYD [1977, pp. 201-206], ÁLVAREZ MUÑOZ [2004, pp. 233-238], RUDWICK [2005, pp. 84-99], ŞENGÖR [2001, pp. 22-28]; véase, además, la nota 5.
4. Algunos de los más eminentes geólogos europeos de esa época pasaron por la Escuela de Minas de Friburgo atraídos por la personalidad de Werner y el atractivo de sus clases por su elocuencia, entusiasmo y persuasión. Destacan, además de Buch y Humboldt, el escocés Robert Jameson (1774-1854), los franceses Jean-François d'Aubuisson de Voisins (1769-1841) y André Brochant de Villiers (1772-1840), los alemanes Franz von Baader (1765-1841), Friedrich Mohs (1773-1839), y Johann von Voigt (1752-1821), este último uno de los grandes críticos del Neptunismo, o los españoles Josep Ricarte (¿-1794) y Fausto de Elhuyar (1755-1833), el hispano-mexicano Andrés Manuel del Río (1764-1849), incluso autores románticos como Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), o Novalis (Georg Philipp Friedrich von Hardenberg/1772-1801) fueron discípulos wernerianos. Después del fallecimiento de Werner, algunos geólogos e ingenieros de minas españoles también se formaron en esa Escuela, tal fue el caso de Joaquín Ezquerro del Bayo (1793-1859), Lorenzo Gómez Pardo (1801-1847), Felipe Bauzá Bávara (1801-1875), Rafael Amar de la Torre (1802-1874), e Isidro Sainz de Baranda (1806-?), piezas clave en el desarrollo, sobre todo, de la minería en España.
5. Se trataría, en principio, de un historicismo relativo o aparente, puesto que se ha considerado (erróneamente) que para los wernerianos la cronología era irrelevante o tenía poca importancia, de acuerdo con los principios de la *Naturphilosophie* especulativa, con la que normalmente se ha relacionado a la Escuela de Friburgo. Así lo recogió, por ejemplo, Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1731), en su *Encyklopädie der philosophischen Wissenschaften*, quien supuso que para Werner, el significado y el espíritu de un proceso geológico estaban en la conexión íntima de las diferentes formaciones que lo constituían, en conocer la ley que había determinado su existencia, en tanto que su secuencia no aportaba *nada* al conjunto [HEGEL, 1830, sec. 3, §339, Zusatz; en MILLER, 1970, p. 283]. Sin embargo, a la hora de analizar la contribución de Werner a la geología histórica, no hay que olvidar que su “columna estratigráfica” la entendía como un registro de acontecimientos contingentes, relacionados con periodos del pasado [WERNER, 1787; ZITTEL, 1899, p. 89; 1901, p. 58; BECK, 1918, p. 29; ADAMS, 1938, pp. 215-220; DAVIES, 1969, pp. 148-149], donde, además del *modo* de una formación, el *tiempo*, expresado como *orden de sucesión* (y así lo reconoció alguno de sus contemporáneos), también era *esencial*, y por lo tanto habría que considerar a las formaciones, bajo la perspectiva werneriana, *entidades históricas* [FITTON, 1817, p. 71; OSPOVAT, 1971, p. 19; LAUDAN, 1987, pp. 94-102 y cap. 7].
6. Entre los materiales observados en Silesia, Buch encontró un tipo de roca que describiría en los años siguientes y a la que denominó *gabbro* [BUCH, 1810/1816], término que ya le daban los lugareños de la Toscana a este material donde es muy abundante.
7. *Interrogar a la naturaleza en el nombre de Werner*, tal y como lo expresó uno de los alumnos del profesor de Friburgo, era lo que hacían estos discípulos dispersos por todo el mundo en relación con las verdades de la teoría neptunista [D'AUBUISSON DE VOISINS, 1819, p. xiv], que según el propio Buch se abría más a la observación que la teoría volcánica [BUCH, 1797, p. 69, continuación de la nota de la p. 68] (esta nota no aparece en las versiones francesa e inglesa de este trabajo).
8. Buch también visitó los Alpes austríacos, los Dolomitas italianos, Irlanda y Escocia.
9. El tomo 1 (1802a) está dedicado a Alemania, y el tomo 2 (1809) a su viaje a Italia. Según advierte el editor, este segundo tomo, aunque estaba terminado en 1806, no se pudo publicar por algunos accidentes con las planchas de impresión, y debido a la ausencia del autor (Buch se encontraba de viaje

por Escandinavia) tuvo que retrasarse tres años; no es cierto, por lo tanto, que la fecha sea un error del impresor, tal y como sostiene ŞENGÖR [2014, p. 45]. En ambos tomos se incluye un apéndice sobre Auvernia (véase la Bibliografía).

10. Las consideraciones históricas sobre los primeros geólogos que visitaron Auvernia están excelentemente recogidas en BROUSSE [1978a,b], JUNG [1946], MICHEL [1971], y TAYLOR [2007].
11. El término *puy* procede del occitano, *puech*, con el significado geográfico de *pico*, con el que se designa desde el siglo XI en Auvernia, y en otros departamentos meridionales, a pequeñas montañas que terminan en un cono, o a colinas, elevaciones o alturas (no necesariamente volcánicas) que sobresalen en un terreno llano; equivale a *pic* utilizado en otras regiones de Francia, y a *puig* en catalán.
12. *Toloide* es un término obsoleto considerado sinónimo de *domo volcánico* [ALLABY y ALLABY, 1990]; no aparece recogido en el diccionario de la RAE.
13. Se trata de una traquita que, además de feldespato potásico, contiene oligoclasa, hornblenda y biotita.
14. Esta direccionalidad de las cadenas montañosas la describiría Buch en los años siguientes en un estudio sobre el sistema geognóstico de Alemania [BUCH, 1824].
15. *Caldera* es el nombre que le daban ya desde hace siglos los habitantes de La Palma a la zona de Taburiente por su forma más o menos circular y paredes abruptas. Suele señalarse a Leopold von Buch como el científico que acuñó este término para el lenguaje geológico internacional tras su visita a Canarias y a partir de su estudio de la mencionada Caldera de Taburiente. Sin embargo, en ninguno de sus trabajos Buch expresa su intención de introducir este término en vulcanología, incluyendo sus obras sobre Auvernia e Italia, en las que, por otro lado, nunca aparece. Es a partir de su descripción física del archipiélago canario [BUCH, 1825a] cuando empieza a utilizar *caldera*, y lo hace en numerosas ocasiones, sobre todo cuando habla de la de Taburiente, y también de las de Bandama y Tirajana (Gran Canaria), si bien para la de Las Cañadas (Tenerife) suele nombrarla como el *Circo del Pico*. En el idioma alemán los sustantivos se escriben con mayúscula (así aparece también este término en las traducciones al francés y al castellano [BUCH, 1825b,d]), por lo que es difícil distinguir si un sustantivo se está empleando como nombre propio o como nombre común; no obstante, cuando a veces Buch habla de “*esta caldera*”, da la impresión de que está utilizando un término que, para él, ya pertenece al lenguaje vulcanológico.
16. La traducción francesa fue revisada por Buch que añadió algún material nuevo. Por otro lado, del cap. VI, que trata de la relación del volcanismo canario con el de otras partes del mundo, en la edición castellana (a partir de la francesa) sólo se tradujo una pequeña parte (*Sobre la naturaleza de las manifestaciones volcánicas de las islas Canarias*) [BUCH, 1825a, pp. 508-513; 1825b, pp. 319-326], y se prescinde del resto (...y su relación con otros volcanes del globo), desde *Volcanes centrales* en adelante [BUCH, 1825a, pp. 513-646; 1825b, pp. 326-519]. Esta edición castellana, además, arrastra algunos errores que se cometieron en la versión francesa.
17. Estas descripciones aparecerían en versión inglesa en los años siguientes [BUCH, 1826-1827].
18. Resulta interesante hacer notar, tal y como lo expresa el propio autor en su obra [BUCH, 1825a/1877, pp. 260-262], que el paso por Lanzarote fue accidental: el buque que debía llevarlos de regreso a Inglaterra desde Tenerife, el *Albion*, recibió la orden de ir a Lanzarote para cargar barrilla (*barilla* en el original), una planta herbácea (*Mesembryanthemum crystallinum*) que se comercializó con el Reino Unido durante medio siglo para la obtención de sosa a partir de sus cenizas para fabricar jabón. Desde finales del siglo XVIII hasta las primeras décadas del siglo XIX constituyó una fuente de ingresos muy importante para la economía lanzaroteña; véase, por ejemplo, PALLARÉS PADILLA [2004].
19. Esta idea del origen del valle de La Orotava por deslizamiento gravitacional fue retomada por Telesforo Bravo (1913-2002), especialmente en los años 1960, y existe abundante bibliografía a favor de la misma y sobre la controversia creada; véanse los trabajos pioneros de BRAVO [1954, pp. 148-149, 1962], NAVARRO y COELLO [1989]; véanse, además, SCHMINCKE y SUMITA [2010, pp. 66-84], VILLALBA MORENO [2013].
20. El término *tosca* se utiliza en Canarias para designar a la toba volcánica.

21. Christen Smith fallecería unos meses después, el 22 de septiembre de 1816, a punto de cumplir 31 años, en una expedición al Congo. En su obra sobre Canarias, Buch hace un breve apunte sobre la vida de Smith y su contribución al conocimiento de la botánica canaria [BUCH, 1825a/1877, pp. 265-273].
22. Este *Atlas* de las islas Canarias de Buch forma parte de su obra de 1825; la edición utilizada es la versión francesa de 1836 [BUCH, 1825c].
23. El texto original alemán dice *Vermutung* (suposición, especulación); sin embargo, en la edición francesa (1825b/1836, p. 202), y en la castellana a partir de ésta (1825d/1999, p. 172), se utiliza *hipótesis*, para lo que en alemán existe el término *Hypothese*, mucho más concreto. Aunque en el lenguaje ordinario pueden considerarse sinónimos, quizás el traductor francés, el ingeniero de minas Charles Boullanger, quiso darle mayor categoría epistemológica a la idea de Buch.
24. Humboldt también sostenía que los cráteres lunares eran de elevación, en contra de las opiniones, por ejemplo, de J.F.W. Herschel (1792-1871), para quien eran simplemente de origen volcánico [HERSCHEL, 1833, p. 229; HUMBOLDT, 1845, I, 237].
25. Para la relevancia de las ideas de Lyell al respecto, véanse WILSON [1998, pp. 27-31; 2007, pp. 210-211].
26. Conocida también como Graham Island, para los británicos, o Isola Ferdinande, para los italianos, se trata de un bajío que surgió por volcanismo submarino a primeros de agosto de 1831 al sur de Sicilia.
27. Esto es un buen ejemplo de lo señalado por Max Planck (1858-1947) en lo referente al mecanismo por el que unas verdades científicas triunfan sobre otras, lo que viene a suceder más por la desaparición gradual de los defensores de ideas antiguas que por la conversión de éstos a otras nuevas, con lo que las siguientes generaciones ya crecen familiarizadas con las nuevas ideas desde el principio [PLANCK, 1948, p. 22]. Véase la nota siguiente.
28. En los últimos años se han vuelto a retomar algunas de las ideas de Buch sobre los levantamientos tras el descubrimiento en diversas zonas de la Tierra (entre otras, Tenerife, Sicilia, Auvernia, Afar) de estructuras que se corresponden con las descripciones que realizó hace dos siglos el científico prusiano; la bibliografía al respecto es muy abundante, véanse, por ejemplo, MÁRQUEZ *et al.* [2011], DE GUIDI *et al.* [2014], WYK DE VRIES *et al.* [2014], HETHERINGTON *et al.* [2015].
29. Las tendencias de Goethe en relación con el Neptunismo quedaron reflejadas en el diálogo entre el “neptunista” Tales y el “plutonista” Anaxágoras sobre el origen de las montañas que aparece en el segundo acto de *Fausto* (1808).
30. Esta teoría fue propuesta por James Hall of Albany (1811-1898) en 1857 para explicar el origen de las montañas [HALL, 1859, pp. 67-73; MATHER. y MASON, 1939, pp. 406-413; HALL, 1883]; el término *geosinclinal* fue acuñado en 1875 por James D. Dana (1813-1895), quien además contribuyó a su desarrollo como teoría tectónica [DANA, 1873^a; 1873b; 1875, pp. 735-756]; véanse, además, DOTT [2005], GREENE [1982, cap. 5], LEMOINE [2006], ŞENGÖR [2003, pp. 123-133], y, por su interés histórico, KNOFF [1948].

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, F.D. (1939) *The birth and development of the geological sciences*. Nueva York, Dover (ed. 1954, reed. 1990), 506 pp.
- ALBURY, W.R. y OLDROYD, D.R. (1977) «From Renaissance mineral studies to historical geology, in the light of Michel Foucault's *The Order of Things*». *The British Journal for the History of Science*, 10(3), 187-215.
- ALLABY, A. y ALLABY, M. (1990) *A dictionary of earth sciences*. Oxford, Oxford University Press (2ª ed. 1999), 640 pp.
- ÁLVAREZ MUÑOZ, E. (2004) *Filosofía de las ciencias de la tierra. El cierre categorial de la geología*. Oviedo, Pentalfa, 355 pp.
- ARISTÓTELES *Los Meteorológicos*. Madrid, Alianza (trad. castellana 1996), 158 pp.

- BECK, R. (1918) *Abraham Gottlob Werner. Eine kritische Würdigung des Begründers der modernen Geologie*. (Zu seinem hundert jährigen Todestage). Berlín, Borntraeger, 49 pp. [Universitätsbibliothek, Friburgo].
- BRAVO, T. (1954) *Geografía general de las Islas Canarias*. S/C de Tenerife, Goya, tomo I, 410 pp.
- BRAVO, T. (1962) «El Circo de Las Cañadas y sus dependencias». *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 60, 93-108.
- BROUSSE, R. (1978a) «Trois grands sujets de débats en terre volcanique d'Auvergne. Première partie: L'origine des basaltes». *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 1^{ère} série, 12, 15-19.
- BROUSSE, R. (1978b) «Trois grands sujets de débats en terre volcanique d'Auvergne. Deuxième partie: Origine et construction des volcans. Troisième partie: Cratères de soulèvement». *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 1^{ère} série, 15, 30-36.
- BUCH, L. VON (1797) *Versug einer mineralogischen Beschreibung von Landeck*. Breslavia, Hirschberg, y Lissa, J.F. Korn, 53 pp. [Bayerische Staatsbibliothek, Múnich]. [Reproducido en: Ewald et al. (1867), pp. 38-72]. [Trad. francesa: *Essai d'une description minéralogique des environs de Landeck*. París [editor desconocido] (1805), 56 pp. (Bayerische Staatsbibliothek, Múnich); trad. inglesa a partir de la ed. francesa: *A mineralogical description of the environs of Landeck, in the County of Glatz*. Edimburgo, Constable (1810), xvi+140 pp. (Universitat Autònoma, Barcelona)].
- BUCH, L. VON (1797-1798) *Entwurf einer geognostischen Beschreibung von Schlesien* [publicado como cap. I de Buch (1802a), pp. 1-132; reproducido en Ewald et al. (1867), pp. 153-230].
- BUCH, L. VON (1799a) «Briefe gerichtet an den Freiherrn von Moll» (Botzen den 12. Mai/Rom den 23. September 1798)». *Moll's Jahrbücher der Berg- und Hüttenkunde*, 3, 359-364 [reproducido en: Ewald et al. (1867), pp. 98-100)].
- BUCH, L. VON (1799b) «Considérations sur le granit». *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle, et des Arts*, 49 (Messidor An VII), 206-213 [reproducido en: Ewald et al. (1867), pp. 101-108)].
- BUCH, L. VON (1799c) «Mémoire sur la formation de la leucite». *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle, et des Arts*, 49 (Messidor An VII), 262-270 [reproducido en: Ewald et al. (1867), pp. 109-117)].
- BUCH, L. VON (1801) «Geognostische Uebersicht der Gegend von Rom». *Der Gessellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin, Neue Schriften*, 3, 478-534.
- BUCH, L. VON (1802a) *Geognostische Beobachtungen auf Reisen durch Deutschland und Italien*. Berlín, Haude und Spener, vol. I, 320 pp. [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig] [reproducido en Ewald et al. (1867), pp. 143-340].
- BUCH, L. VON (1802b) «Mineralogische Briefe aus Auvergne, an Herrn Geh. Ober-Bergrath Karsten». En: *Geognostische Beobachtungen auf Reisen durch Deutschland und Italien*. Berlín, Haude und Spener, vol. I, pp. 225-311 [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig]. [Esta carta está reproducida en Buch (1809) con el mismo rango de páginas, y en: Ewald et al. (1867), pp. 468-523].
- BUCH, L. VON (1802c) «Extrait d'une Lettre de Mr. De Buch au Prof. M. A. Pictet, l'un des Rédacteurs de la *Bibl. Britann.* sur quelques observations faites aux environs de Clermont. Avec l'esquisse d'une charte (Neuchâtel, 2 Juillet 1802)». *Bibliothèque Britannique, Sciences et Arts*, 20(An X), 306-316. [Reproducido en: *Journal des Mines*, 76(Nivose an XI), 249-256 (1803), y *Annales Scientifiques, Littéraires et Industrielles de l'Auvergne*,

- 14, 108-120 (1841), seguida de otras observaciones de Buch (pp. 121-184) sobre la geología de Auvernia].
- BUCH, L. VON (1805) «Lettre au Prof. Pictet, sur la dernière Éruption du Vésuve et sur une nouvelle Expérience Galvanique». *Bibliothèque Britannique, Sciences et Arts*, 30, 247-263 [reproducido en: Ewald *et al.* (1867), pp. 524-532].
- BUCH, L. VON (1806) «Ueber das Fortschreiten der Bildungen in der Natur». [Antrittsrede in der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin gehalten am. 17. April 1806]. *Moll's Ephemeriden der Berg- und Hüttenkunde*, IV, 1-16 (1808) [reproducido en: Ewald *et al.* (1870), pp. 4-12].
- BUCH, L. VON (1809) *Geognostische Beobachtungen auf Reisen durch Deutschland und Italien*. Berlín, Haude und Spener, vol. II, 311 pp. [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig] [reproducido en: Ewald *et al.* (1867), pp. 341-518].
- BUCH, L. VON (1810) *Reise durch Norwegen und Lappland*. Berlín, G.C. Nauck, vol. 2, VI+406 pp. [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig] [reproducido en: Ewald *et al.* (1870), 2ª parte (cap. VII-X), pp. 357-563]. [Trad. inglesa: *Travels through Norway and Lapland during the years 1806, 1807, and 1808*. Londres, R. Jameson (1813), XVIII+460 pp. (Universitat Autònoma, Barcelona); reed. en Cambridge University Press (2011)].
- BUCH, L. VON (1810/1816) «Ueber den Gabbro». *Der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin Magazin für die neuesten Entdeckungen in der gesammten Naturkunde*, 4, 128-149/*ibidem*, 7, 234-237 [reproducido en: Ewald *et al.* (1870), pp. 85-108/pp. 702-705].
- BUCH, L. VON (1820) «Über die Zusammensetzung der basaltischen Inseln und über Erhebungs-Crateren». *Abhandlungen der physikalischen Klasse der Königl. Preussische Akademie der Wissenschaften* (aus den Jahren 1818-1819), pp. 51-68 (leído el 18 de mayo de 1818) [reproducido en: (Leonhard's) *Taschenbuch für die gesamte Mineralogie*, 15(2), 391-427 (1821), y en: Ewald *et al.* (1877), pp. 3-19].
- BUCH, L. VON (1822) «Ueber dem Pic von Teneriffa». *Abhandlungen der physikalischen Klasse der Königl. Preussische Akademie der Wissenschaften* (aus den Jahren 1820-1821), pp. 93-104 (leído el 23 de noviembre de 1820) [reproducido en: Ewald *et al.* (1877), pp. 23-33].
- BUCH, L. VON (1824) «Ueber die geognostischen Systeme von Deutschland. Ein Schreiben des Herrn Leopold v. Buch an den Geheimerath v. Leonhard». *Mineralogische Taschenbuch für das Jahr 1824*, 2, 501-506 [reproducido en: Ewald *et al.* (1877), pp. 218-221].
- BUCH, L. VON (1825a) *Physikalische Beschreibung der Kanarischen Inseln*. Berlín, Hofdruckerei von Königl. Akademie, 2 vols., XIV+388+381 pp. [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig] [reproducido en: Ewald *et al.* (1877), pp. 229-646].
- BUCH, L. VON (1825b) *Description physique des Îles Canaries*. París, F.G. Levrault (trad. francesa 1836), VII+525 pp. [Biblioteca del autor].
- BUCH, L. VON (1825c) *Atlas des Îles Canaries*. París, F.G. Levrault (trad. francesa 1836), 14 pp. [Jardín de Aclimatación de La Orotava, Tenerife].
- BUCH, L. VON (1825d) *Descripción física de las Islas Canarias*. La Orotava (S/C Tenerife), J.A.D.L. (trad. castellana 1999 de la ed. francesa 1836), 263 pp.
- BUCH, L. VON (1826-1827) «Observations made during a visit to Madeira, and a residence in the Canary Islands». *Edinburgh New Philosophical Journal*, [1], 380-384 (April-October/1826); *idem*, [2], 73-86 (October/1826-April/1827).
- BUCH, L. VON (1827) «Ueber die Natur der vulkanischen Erscheinungen auf den canarischen Inseln und ihre Verbindung mit andern Vulkanen der Erdoberfläche». *Annalen der Phy-*

- sik und Chemie* [Poggendorff's *Annalen*], 10(5), 1-46. [Este artículo es parte de Buch (1825a), VI, pp. 508-513].
- BUCH, L. VON (1836) «Ueber Erhebungsscratere und Vulkane». *Annalen der Physik und Chemie* [Poggendorff's *Annalen*], 37, 169-190 [reproducido en: Ewald *et al.* (1885), pp. 292-308; existe trad. inglesa: «On volcanoes and craters of elevation». *Edinburgh New Philosophical Journal*, 21, 189-206 (April-October/1836)].
- BUCH, L. VON (1844a) «Ueber Granit und Gneuss, vorzüglich in Hinsicht der äusseren Form, mit welcher diese Gebirgsarten auf Erdfäche erscheinen». *Abhandlungen der physikalischen Klasse der Königlische-Preussische Akademie der Wissenschaften* (aus dem Jahre 1842), 2(1), 57-78.
- BUCH, L. VON (1844b) «Ueber Granit und Gneuss, vorzüglich in Hinsicht der äusseren Form, mit welcher diese Gebirgsarten auf Erdfäche erscheinen». *Abhandlungen der physikalischen Klasse der Königlische-Preussische Akademie der Wissenschaften*, 4(2), 717-738.
- BURAT, A. (1835) «Cratères». En: F.E. Guérin (dir.) *Dictionnaire Pittoresque d'Histoire Naturelle et des Phénomènes de la Nature*. París, Bureau de Souscription, tomo 2, pp. 374-377. [Bibliothèque Nationale de France, París].
- CALDERÓN Y ARANA, S. (1875) «Reseña de las rocas de la isla volcánica Gran Canaria». *Anales de la Sociedad Española de Historia Natural*, 4, 376-407.
- CORDIER, L. (1803) «Lettre de L. Cordier, ingénieur des mines de France, au cit. Dévilliers fils. Extrait. Aux îles Canaries de Santa Cruz de Tenerife, le 1 mai 1803». *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts*, 57, 55-63.
- DANA, J.D. (1873a) «On the origin of the mountains». *American Journal of Science*, 3rd Series, 5, 247-350.
- DANA, J.D. (1873b) «On some results of the Earth's contraction from cooling including a discussion of the origin of the mountains and the nature of Earth's interior». *American Journal of Science*, 3rd Series, 5, 423-443.
- DANA, J.D. (1875) *Manual of geology, treating the principles of the science with special reference to American geological history*. Nueva York, Ivison, Blakeman, & Taylor (2^a ed.). [Biblioteca del autor].
- DARWIN, C.R. (1844) *Geological observations on the volcanic islands*. Londres, Smith-Elder, vii+175 pp. [Biblioteca del autor].
- DAUBENEY, C. (1826) *A description of active and extinct volcanoes*. Londres-Oxford, Phillips-Parker, 466 pp. [British Library, Londres].
- DAUBENEY, C. (1848) *A description of active and extinct volcanoes*. Nueva York, Cambridge University Press (facsimile 2011 de la 2^a ed.), xxiv+743 pp.
- D'AUBUISSON DE VOISINS, J.F. (1819) *Traité de Géognosie*. Estrasburgo-París, F.G. Levrault, vol. I, lxii+496 pp. [Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid].
- DAVIES, G.L. (1969) *The Earth in decay. A history of British geomorphology 1578 to 1878*. Londres, Macdonald Technical and Scientific, 390 pp.
- DEAN, D.R. (1980) «Graham Island, Charles Lyell, and the craters of elevation controversy». *Isis*, 71(4), 571-588.
- DEAN, D.R. (1998) «Plutonists, neptunists, vulcanists». En: G.A. Good (ed.) *Sciences of the Earth: An Encyclopedia of events, people, and phenomena*. Nueva York, Garland, vol. I, pp. 691-695.
- DECHEN, H. VON (1853) «Leopold von Buch. Sein Einfluss auf die Entwicklung der Geognosie». *Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der Preussischen Rheinlande und Westphalens 1853*, pp. 1-25.

- DE GUIDI, G., IMPOSA, S., SCUDERO, S. y PALANO, M. (2014) «New evidence for Late Quaternary deformation of the substratum of Mt. Etna volcano (Sicily, Italy): clues indicate active crustal doming». *Bulletin of Volcanology*, 76, 1-13.
- DE LA BECHE, H. (1851) *The geological observer*. Londres, Longman, 695 pp. [British Library, Londres].
- DESMAREST, N. (1771) «Mémoire sur l'origine et la nature du basalte à grandes colonnes polygones, déterminées par l'Histoire Naturelle de cette pierre, observée en Auvergne. Première Partie». *Histoire de l'Académie Royale des Sciences à Paris, avec les Mémoires de Mathématique & de Physique pour la même année*, pp. 705-775 (publiée à 1774).
- DOTT, R.H., Jr. (2005) «James Hall Jr. 1811-1898». *National Academy of Science, Biographical Memoir*, 87, 180-197.
- DUFRÉNOY, A. y ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1833) «Mémoire sur les groupes du Cantal et du Mont-Dore et sur les soulèvements auxquels ces montagnes doivent leur relief actuel». Extrait des *Annales des Mines* (tome III, III^e série), 94 pp.
- ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1830) «Sur les formes et les relations des volcans, d'après M. Léopold de Buch, et particulièrement d'après sa Description physique des îles Canaries». *Annales des Sciences Naturelles*, 19, 390-423.
- ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1834) «Mémoire sur quelques points de la question des cratères de soulèvement». *Bulletin de la Société géologique de France*, IV, 225-291.
- ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1835) «Recherches sur la structure et l'origine du Mont Etna». *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris*, 1, 429-433.
- ÉLIE DE BEAUMONT, L. (1836) «Recherches sur la structure et sur l'origine du Mont Etna». *Annales des Mines, sér. 3*, 9, 175-216, y 575-630; 10, 351-370, y 507-576. [Reproducido en: M. Brochant de Villiers (ed.) (1838) *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*. París, F.G. Levrault, vol. 4, pp. 1-226].
- ELLENBERGER, F. (1994) *Histoire de la Géologie*. París, Technique et Documentation (Lavoisier), tomo 2 (La grande éclosion et ses prémices, 1660-1810), xiv+381 pp.
- ENGELHARDT, W. VON (1982) «Neptunismus und Plutonismus». *Fortschritte der Mineralogie*, 60(1), 21-43.
- EWALD, J., ROTH, J. y ECK, H. (eds.) (1867, 1870) *Leopold von Buch's Gesammelte Schriften*. Berlín, G. Reimer, tomo 1, lII+740 pp., y 2, VII+783 pp. [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig].
- EWALD, J., ROTH, J. y DAMES, W. (eds.) (1877, 1885) *Leopold von Buch's Gesammelte Schriften*. Berlín, G. Reimer, tomo 3, XII+714 pp., y 4(parte 1), XII+512 pp. [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig].
- FITTON, W.H. (1817) «Art. IV. *Transactions of the Geological Society, established November 1807*. Vol. III, 4to. pp. 444. W. Phillips, London, 1816». *Edinburgh Review*, 29(57), 70-94.
- FOSTER, J.B. (2000) *La ecología de Marx. Materialismo y naturaleza*. Barcelona, Ed. Intervención Cultural/El Viejo Topo (trad. castellana 2004), 449 pp.
- FRITSCH, K. VON (1867-1868) «Reisebilder von der Canarischen Inseln». *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 5, 1-44 [ed. bilingüe castellano-alemán: *Las Islas Canarias. Cuadros de viaje*. Centro de la Cultura Popular Canaria, La Laguna (2006), 242 pp.].
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2009) *El origen de las Islas Canarias*. Tegueste (S/C Tenerife), Baile del Sol, 166 pp.
- GAUDANT, J. (ed.) (2009) *L'essor de la géologie française*. París, Presses de Mines, 380 pp.

- GEIKIE, A. (1897) *The founders of geology*. Londres, Macmillan (2ª ed./1905: Nueva York, Dover; reimp. 1962), 486 pp.
- GEINITZ, H.B. (1853) *Gedächtnissrede auf Leopold von Buch Gehalten am 23. April 1853 in der Aula der Polytechnischen Schule zu Dresden*. Dresde, Arnoldsche Buchhandlung, 32 pp. [Bayerische Staatsbibliothek, Múnich].
- GOETHE, J.W. VON (1829) «Analyse und Synthese» (1ª ed. póstuma 1833). En: E. Trunz (ed.) (1981) *Goethes Werke*. Múnich, C.H. Beck, vol. 13 (Naturwissenschaftliche Schriften I), pp. 49-52.
- GOHAU, G. (2003) «Naissance de la théorie des cratères de soulèvement: du Puy de Dôme au Cantal». *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 3^{ème} série, 17, 131-140 [reproducido en Gaudant (2009), pp. 81-93].
- GOSSELET, J.A.A. (1896) *Constant Prévost: Coup d'oeil rétrospectif sur la géologie en France pendant la première moitié du XIXe siècle*. [Extract des *Annales de la Société géologique du Nord*, vol. xxv]. Lille, Liégeois-Six, 346 pp. [Bibliothèque Nationale de France, París].
- GREENE, M.T. (1982) *Geology in the Nineteenth Century. Changing views of a changing world*. Ithaca (NY), Cornell University Press, 324 pp.
- GUNTAU, M. (1984) *Abraham Gottlob Werner*. Leipzig, Teubner, 120 pp.
- GUNTAU, M. (1996) «The natural history of the earth». En: N. Jardine, J.A. Secord y E.C. Spary (eds.) *Cultures of Natural History*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 211-229.
- HALL, J. (1859) *Natural History of New York*. Albany (NY), C. van Benthuyssen, vol. 3 (Palaeontology), part I (text), 533 pp. [British Library, Londres].
- HALL, J. (1883) «Contributions to the geological history of the North American continent». *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science*, 31, 29-71 («Conferencia Persidencial», 1857).
- HALLAM, A. (1983) *Grandes controversias geológicas*. Barcelona, Labor (trad. castellana 1985), vii+180 pp.
- HARTUNG, G. (1857) «Die geologischen Verhältnisse der Inseln Lanzarote und Fuerteventura». *Neue Denkschrift der allgemeinen Schweizerische Gesellschaft für die gesammten Naturwissenschaften*, 15(4), 1-168.
- HARTUNG, G. (1862) *Betrachtungen über Erhebungskrater, ältere und neuere Eruptivmassen nebst einer Schilderung der geologischen Verhältnisse der Insel Gran Canaria*. Leipzig, W. Engelmann, 108 pp. [Biblioteca Municipal, Santa Cruz de Tenerife].
- HEGEL, G.W.F. (1830) *Encyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse*. En: *Werke*, tomo 9 [II: *Die Naturphilosophie* (mit dem mündlichen Zusätzen)]. Berlín, Suhrkamp, (ed. 1986), 539 pp.
- HERSCHEL, J.F.W. (1833) *A treatise on Astronomy*. Londres, Longman, 422 pp. [British Library, Londres].
- HETHERINGTON, R., MUSSETTI, G., HAGOS, M., DEERING, C., CORTI, G., MAGEE, G., IAN, B., WYK DE VRIES, B. VAN, y MARQUES, A. (2015) «Forced folds and craters of elevation in the Afar». *Geophysical Research Abstracts*, vol. 17 (EGU General Assembly 2015).
- HUMBOLDT, A. VON (1809) *Ensayo político sobre Nueva España*. París, J. Renouard (trad. castellana 1822, 2ª ed. 1827), vol. 2, 447 pp. [Biblioteca Universitaria, La Laguna].
- HUMBOLDT, A. VON (1814) *Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent, fait en 1799, 1800, 1801, 1802, 1803, et 1804*. París, F. Schoell, tomo I, 643 pp. [Bibliothèque Nationale de France, París].

- HUMBOLDT, A. VON (1845) *Cosmos, Ensayo de una descripción física del mundo*. Madrid, Los Libros de la Catarata-CSIC (trad. castellana 1874, ed. 2011), 959 pp.
- HUMBOLDT, A. VON (1853a) *Atlas, Umrisse von Vulkanen aus den Cordilleren von Quito und Mexico: Ein Beitrag zur Physiognomik der Natur*. Stuttgart, J.A. Cotta, 24 pp. [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig].
- HUMBOLDT, A. VON (1853b) *Kleinere Schriften*. Stuttgart-Tubinga, J.A. Cotta, vol. I (*Geognostische und Physikalische Erinnerungen*), VIII+474 pp. [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig].
- HUOT, J. (1828) «Volcans». En: *Encyclopédie Méthodique (Géographie-physique)*. París, Agasse, tomo 5, pp. 656-817. [Bibliothèque Nationale de France, París].
- JAMESON, R. (1808) *System of Mineralogy* (vol. 3: *Elements of Geognosy*). Edimburgo W. Blackwood, XVI+368 pp. [British Library, Londres]. [Existe facsímile con el título: *The Wernerian theory of the Neptunian origin of rocks*. Nueva York, Hafner (1976)].
- JESSEN, E.J. (1763) *Det kongelige Norge: fremstillet efter dets naturlige og borgerlige tilstand*. Copenhagen, F. Kisel, tomo I, [13]+668 pp. [British Library, Londres].
- JUNG, J. (1946) «Les pionniers de la découverte des volcans d'Auvergne» [Hommage à J.B. Rames et inauguration du Musée]. *Revue de la Haute Auvergne*, 31, 251-259.
- KNOFF, A. (1948) «The geosynclinal theory». *Bulletin of Geological Society of America*, 59, 649-670 [versión castellana: «La teoría del geosinclinal». *Notas y Comunicaciones, Instituto Geológico y Minero de España*, 27, 171-214 (1952)].
- LAUDAN, R. (1987) *From mineralogy to geology. The foundations of a science, 1650-1830*. Chicago, Chicago University Press, XII+278 pp.
- LEMOINE, M. (2006) «Une science en crise au milieu du XX^e siècle, la géodynamique: des géosynclinaux aux océans disparus». *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 3^{ème} série, 20(7), 129-165 [reproducido en Gaudant (2009), pp. 133-170].
- LYELL, C. (1830) *Principles of Geology*. Chicago, University of Chicago Press (facsímile 1990), vol. I, [LVIII]+XV+511 pp.
- LYELL, C. (1835) *Principles of Geology*. Londres, J. Murray, vol. II. (4^a ed.), 403 pp. [British Library, Londres].
- LYELL, C. (1850) «On craters of denudation, with observations on the structure and growth of volcanic cones». *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 6(1), 207-234 [leído el 19 de diciembre de 1849].
- LYELL, C. (1857) «On the formation of continuous tabular masses of stony lava on steep slopes; with remarks on the origin of Mount Etna, and on the theory of "Craters of Elevation"». *Proceedings of the Royal Society of London*, 9, 248-254.
- LYELL, C. (1858) «On the structure of lavas which have consolidated on steep slopes with remarks on the mode of origin of Mount Etna, and on the theory of "Craters of Elevation"». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 148, 703-786.
- LYELL, C. (1859) «On Professor C. Piazzi Smyth's supposed proofs of the submarine origin of Tenerife and other volcanic cones of the Canaries». *Philosophical Magazine*, 18, 4th ser., 20-22.
- LYELL, C. (1871) *Student's Elements of Geology*. Londres, J. Murray, XXI+624 pp. [British Library, Londres].
- MÁRQUEZ, A., HERRERA, R., DUVERT, A., GÓMEZ DE LA PEÑA, L., GRANJA BRUÑA, J., LLANES ESTRADA, M. y WYK DE VRIES, B. VAN (2011) «The role of dome intrusions and flank spreading in the morphology of Teide volcano (Canary Islands)». *AGU Fall Meet Abstract*, 1, 2599.

- MATHER, K.F. y MASON, S.L. (1939) *A source book in Geology, 1400-1900*. Nueva York-Londres, Hafner (facsimile 1964), 702 pp. [Biblioteca del autor].
- MEUNIER, S. (1911) *L'évolution des théories géologiques*. París, F. Alcan, 367 pp. (trad. castellana: *Evolución de las teorías geológicas*. Madrid, J. Ruiz Editor/1911, 383 pp.). [Biblioteca del autor].
- MICHEL, R. (1971) «Les premières recherches sur les volcans du Massif Central français (18e-19e siècles) et leur influence sur l'essor de la géologie». En: E. Wegmann (ed.) *Symposium en l'honneur du professeur Jean Jung: Géologie, Géomorphologie et structure profonde du Massif central français* (Clermont-Ferrand, 31 mars-3 avril/1971). Clermont-Ferrand, Plein Air Services Éds. (1973), pp. 331-344.
- MILLER, A.V. (ed.) (1970) *Hegel's Philosophy of Nature* [2ª parte de *Encyclopaedia of the Philosophical Sciences* (1830)]. Oxford, Clarendon [trad. inglesa de la ed. alemana de F. Nicolín y O. Pöggeler (1959), con las *Adiciones* (Zusätze) según el texto de K.L. Michelet (1847)], xxxi+457 pp.
- NAVARRO, J.M. y COELLO, J. (1989) «Depressions originated by landslide processes in Tenerife». Abstracts *ESF Meeting on Canarian Volcanism*, pp. 150-152.
- NIEUWENKAMP, W. (1970) «Buch, Leopold von». En: C.C. Gillispie (ed.) *Dictionary of Scientific Biography*. Nueva York, C. Scribner, vol II, pp. 552-557.
- NIEUWENKAMP, W. (1975) «Trends in Nineteenth Century petrology». *Janus*, 62(4), 235-269.
- OLDROYD, D. (1996) *Thinking about the Earth: a history of ideas in geology*. Londres, Athlon Press, 410 pp.
- OSPOVAT, A.M. (1967) «The place of the 'Kurze Klassifikation' in the work of A.G. Werner». *Isis*, 58, 90-95.
- OSPOVAT, A.M. (1969) «Reflections on A.G. Werner's "Kurze Klassifikation"». En: C.J. Schneer (ed.) *Toward a history of geology*. Cambridge (MA), MIT Press, pp. 242-259.
- OSPOVAT, A.M. (1971) «Introduction and notes». En: A.G. Werner (1787) *Short classification and description of various rocks*. Nueva York, Hafner (trad. inglesa 1971), pp. 1-37.
- PALLARÉS PADILLA, A. (2004) *Tres productos históricos en la economía de Lanzarote: la orchilla, la barrilla y la cochinilla*. Arrecife (Lanzarote), Centro Científico-Cultural Blas Cabrera, Discurso de recepción como académico (leído el 20 de mayo de 2004), n° 9, 43 pp.
- PLANCK, M. (1948) *Wissenschaftliche Selbstbiographie. Mit einem Bildnis und der von Max von Laue gehaltenen Traueransprache*. Leipzig, J.A. Barth (ed. póstuma), 33 pp.
- PRÉVOST, L.C. (1831) «Lettre de M. Prévost, envoyé par l'Académie des Sciences pour explorer l'île volcanique récemment sortie du sein de la Méditerranée (Malta, 2 octobre 1831)». *Bulletin de la Société géologique de France*, 2, 32-38 (séance du 7 Novembre 1831).
- PRÉVOST, L.C. (1832) *Introduction au rapport fait à l'Académie royale des sciences, sur le voyage à l'île Julia en 1831 et 1832*. París, Lachevardière, 47 pp. [Bibliothèque Nationale de France, París].
- PRÉVOST, L.C. (1835) «Notes sur l'île Julia, pour servir à l'histoire de la formation des montagnes volcaniques». *Mémoires de la Société géologique de France*, II, 91-124.
- RUDWICK, M.J.S. (2005) *Bursting the limits of time. The reconstruction of geohistory in the age of revolution*. Chicago-Londres, University of Chicago Press, xxiv+708 pp.
- RUDWICK, M.J.S. (2008) *Worlds before Adam. The reconstruction of geohistory in the age of reform*. Chicago-Londres, University of Chicago Press, xxii+614 pp.
- SAINTE-CLAIRE DEVILLE, C. (1848) *Études géologiques sur les îles de Ténériffe et de Fogo*. París, Gide, 256 pp. [Bibliothèque Nationale de France, París].

- SCROPE, G.P. (1827) *Memoir on the geology of Central France; including the volcanic formations of Auvergne, the Velay and the Vivarai, with a volume of maps and plates*. Londres, Longman, XVI+182 pp. [British Library, Londres].
- SCROPE, G.P. (1829) «On the volcanic district of Naples». *Transactions of the Geological Society of London*, 2nd Ser., 2, 337-352.
- SCROPE, G.P. (1858) *The geology and extinct volcanoes of Central France*. Londres, John Murray [2^a ed. de Scrope (1827)], XVII+258 pp. [facsimile en Nueva York, Arno Press (1978), y reed. en Cambridge University Press (2011)].
- ŞENGÖR, A.M.C. (2001) *Is the Present the key of the Past or the Past the key to the Present? James Hutton and Adam Smith versus Abraham Gottlob Werner and Karl Marx in interpreting history*. Geological Society of America, Special Paper, N° 355, 52 pp.
- ŞENGÖR, A.M.C. (2003) *The large wavelength deformations of the lithosphere: Materials for a history of the evolution of thought from the earliest times to plate tectonics*. Geological Society of America, Memoir N° 196, 347 pp.
- ŞENGÖR, A.M.C. (2014) «Eduard Suess and Global Tectonics: an illustrated 'short guide'». *Austrian Journal of Earth Sciences*, 107(1), 6-82.
- SCHMINCKE, H.U. y SUMITA, M. (2010) *Geological evolution of the Canary Islands*. Coblenza, Görres, 200 pp.
- SUESS, E. (1885) *La Faz de la Tierra*. Madrid, R. Velasco, vol. I (trad. castellana 1923), LXIV+625 pp. [Biblioteca del autor].
- TAYLOR, K.L. (2007) «Geological travelers in Auvergne, 1751-1800». En: P.N. Wyse Jackson (ed.) *Four centuries of geological travels: The search for knowledge on foot, bicycle, sledge and camel*. Geological Society of London, Special Publication, 287, 73-96.
- TOURET, J. (2007) «Élie de Beaumont (1798-1874), des systèmes de montagnes au réseau pentagonal». *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 3^{ème} série, 21, 127-155 [reproducido en Gaudant (2009), pp. 95-132].
- VILLALBA MORENO, E. (2013) *Deslizamientos, tsunamis y crisis volcánicas. Medio siglo de polémicas geológicas en Canarias*. Bubok, 254 pp.
- VIRLET D'AOUST, T. (1832-33) «Système volcanique de l'île de Santorin». *Bulletin de la Société géologique de France*, 3, 103-110.
- VIRLET D'AOUST, T. (1833) «Analyse d'un mémoire intitulé: "Examen de la théorie des cratères de soulèvement", de M. von Buch». *L'Institut*, I, 54-56, y 63-64.
- VIRLET D'AOUST, T. (1835) «Idées nouvelles sur la nature des comètes et la formation de leurs queues; les aérolithes; l'origine de la terre et des planètes; la formation des montagnes; les cratères de soulèvement; le soulèvement de la Suède, etc.». *Bulletin de la Société géologique de France*, 6(1), 212-223.
- WERNER, A.G. (1787) *Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten*. Dresde, Walther, 28 pp. [Biblioteca del autor]. [Existe versión inglesa: *Short classification and description of various rocks*. Nueva York, Hafner (ed. bilingüe alemán-inglés 1971), 194 pp.].
- WERNER, A.G. (1791) *Neue Theorie von der Entstehung der Gänge mit Anwendung auf den Bergbau besonders den freibergischen*. Friburgo, Gerlachischen Buchdruckerei, XL+256 pp. [Biblioteca del autor]. [Exite versión inglesa: *New theory of the formation of veins; with its application to the art of working mines*. Boston, Adamant Media (trad. inglesa 1809, facsimile 2005), xxxvi+298 pp.].

- WESTERMANN, A. (2009) «Inherited territories: The Glarus Alps, knowledge validation, and the genealogical organization of Nineteenth-Century Swiss alpine geognosy». *Science in Context*, 22(3), 439-461.
- WILSON, L.G. (1998) «Lyell: the man and his times». En: D.J. Blundell y A.C. Scott (eds.) *Lyell: the past is the key to the present*. Geological Society of London, Special Publication, 143, 21-37.
- WILSON, L.G. (2007) «The geological travels of Sir Charles Lyell in Madeira and the Canary Islands, 1853-1854». En: P.N. Wyse Jackson, (ed.) *Four centuries of geological travels: The search for knowledge on foot, bicycle, sledge and camel*. Geological Society of London, Special Publication, 287, 207-228.
- WYK DE VRIES, B. VAN, MÁRQUEZ, A., HERRERA, R., GRANJA BRUÑA, J.L., LLANES, P. y DELCAMP, A. (2014) «Craters of elevation revisited: forced-folds, bulging and uplift of volcanoes». *Bulletin of Volcanology*, 76, artículo 875, 20 pp.
- ZIMMERMANN, W.A.F. (1855) *Der Erdball und seine Naturwunder. Populaires Handbuch der Physischen Geographie*. Berlín, G. Hempel, tomo 3, 1ª parte (Die feste Erdrinde) (7ª ed.), 512 pp. [Bibliotheca Albertina, Universität Leipzig].
- ZITTEL, K.A. VON (1899) *Geschichte der Geologie und Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts*. Múnich-Leipzig, R. Oldenbourg, 868 pp. [trad. inglesa: *History of Geology and Palaeontology to the end of the Nineteenth Century*. Londres-Nueva York, C. Scribner (1901), 562 pp.]. [Biblioteca del autor].