

EL ESTUDIO CIENTÍFICO DE LOS VOLCANES EN LA AMÉRICA COLONIAL ESPAÑOLA

MIGUEL LEÓN GARRIDO

Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía (Sevilla)

Resumen

Desde los primeros momentos del Descubrimiento del Nuevo Mundo los frecuentes e intensos fenómenos volcánicos llamaron la atención de muchos descubridores, evangelizadores, cronistas, exploradores, estudiosos y miembros de la administración colonial. Más allá de las explicaciones míticas o religiosas, se esgrimieron diversas teorías y paradigmas científicos para explicar las causas de estos eventos. Estos modelos partieron de la tradición aristotélica que perduraba a inicios del siglo XVI, pasando por el organicismo, las teorías de Buffon, el neptunismo y plutonismo de finales del siglo XVIII, hasta llegar al extenso estudio de los volcanes americanos de Alexander von Humboldt. La discusión sobre el origen de los procesos eruptivos en la América colonial revela un provechoso intercambio cultural a ambos lados del Atlántico, un conocimiento por parte de los estudiosos criollos de las corrientes científicas en boga durante la Edad Moderna sobre el origen y estructura de la Tierra, los terremotos o el modelado de la superficie terrestre y, finalmente, la importante contribución de los descubrimientos americanos en el campo de la vulcanología.

Abstract

From the Discovery of the New World, the frequent and intense volcanic activity attracted the attention of many explorers, missionaries, writers, explorers, scholars and members of the colonial administration. Beyond mythical or religious explanations, various theories and scientific paradigms were successively used to explain the causes of these events. These models started from the Aristotelian tradition -still active in early 16th century, and evolved through Organicism, Buffon's theories, and late 18th-century Neptunism and Plutonism, until Alexander von Humboldt's comprehensive study of American volcanoes. The discussion on the origins of eruptive processes in colonial America reveals a fruitful cultural exchange on both sides of the Atlantic, proves that creole scholars kept abreast of the state of knowledge -on the origin and structure of the Earth, the cause of earthquakes and volcanism, the modeling processes on the earth's surface-, and shows the important contribution of American discoveries in the field of volcanology.

Palabras clave: Vulcanología, Geología, Ciencia colonial, Hispanoamérica, Edad Moderna.

Keywords: Volcanology, Geology, Colonial Science, Latin America, Modern Age.

Recibido el 30 de julio de 2016 — Aceptado el 10 de octubre de 2016

INTRODUCCIÓN

El propósito del trabajo consiste en presentar una semblanza acerca de los primeros estudios científicos de los fenómenos volcánicos llevados a cabo en la América colonial española. Con ello se pretende llevar a cabo una aproximación sobre las semejanzas y diferencias en las interpretaciones previas sobre los fenómenos eruptivos en el Nuevo y el Viejo Mundo, presentar las relaciones e influencias recíprocas entre los estudiosos y las instituciones científicas de la metrópoli y los radicados en los territorios coloniales, testigos de esos eventos, y finalmente valorar cuál fue la contribución de las investigaciones sobre los volcanes americanos al desarrollo de las ciencias de la Tierra en Europa.

La metodología para la realización del trabajo ha consistido en la localización y revisión de la bibliografía existente al respecto. En referencia a las fuentes primarias, como las obras de José de Acosta, Juan de Cárdenas, Francisco Cervantes de Salazar, Pedro Cieza de León, Francisco Javier Clavijero, Gonzalo Fernández de Oviedo, Alexander von Humboldt, Rafael Landívar, José Pedro de Llano y Zapata, Jose Ignacio Molina, Andrés Manuel del Río, Jorge Juan y Antonio de Ulloa se han consultado aquellas disponibles en portales web de instituciones científicas y humanidades de reconocido prestigio. En cuanto a las fuentes secundarias, se ha partido de las obras de autores de referencia en la historia de la geología como José Alsina, Francisco Javier Ayala, François Ellenberger, Manuel Julivert, Juan Manuel López de Azcona, Octavio Puche o Leandro Sequeiros, así como de los artículos y monografías disponibles al respecto en las revistas científicas de España e Hispanoamérica. Por lo que se refiere a la Vulcanología histórica durante el periodo colonial, constituyen referentes imprescindibles los trabajos de Guillermo Alvarado, María Eugenia Petit-Breuilh Sepúlveda y Virginia García Acosta.

EL MARCO CIENTÍFICO SOBRE LA INTERPRETACIÓN DE LOS VOLCANES A LO LARGO DEL TIEMPO

A fin de contextualizar los diversos estudios realizados en la América colonial española durante un periodo relativamente dilatado de tiempo (inicios del siglo XVI a comienzos del siglo XIX), resulta imprescindible presentar, siquiera de manera sintética, el marco histórico-científico de las Ciencias de la Tierra bajo el cual los diversos estudiosos elaboraron sus modelos interpretativos. Para ello se ha seguido

fundamentalmente a Julivert [2014], Ordóñez, Navarro y Sánchez Ron [2013] y Al-sina Calvés [2006], con diversas aportaciones de Capel [1980], Ellenberger [1989], García Casco [2011], López de Azcona [1981] y Sequeiros [2001 a y b, 2010, 2012]. Este marco va a partir de los diversos paradigmas que se han propuesto para explicar el origen de la actividad volcánica desde inicios de la Edad Moderna hasta mediados del siglo XIX.

El concepto de “paradigma” fue planteado por Tomas Kuhn [2004] en *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, un concepto un tanto impreciso, entendido como “logros científicos universalmente aceptados que durante algún tiempo suministran modelos de problemas y soluciones a una comunidad de profesionales” [KUHN, 2004, pp. 13-14]. Kuhn introduce el concepto de “ciencia normal”, que define como “una investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas, realizaciones que alguna comunidad científica reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento de su práctica posterior” [KUHN, 2004, p. 33]. Esta “ciencia normal” que realizan los científicos se lleva a cabo en el marco de unos “modelos o patrones” para la práctica científica cotidiana. Estas realizaciones son asumidas en momentos históricos por la comunidad científica y quedan plasmadas en tratados científicos clásicos [SEQUEIROS, 2012]. Kuhn no comparte una visión del progreso científico como el resultado de un mero proceso evolutivo por acumulación de saberes, y postula la existencia de momentos históricos en los que las que esas teorías comúnmente aceptadas por dicha comunidad científica para la explicación de determinados fenómenos y procesos (“paradigmas”) resultan insatisfactorias para explicar los nuevos hallazgos y fenómenos que progresivamente se van registrando en el transcurso de la investigación científica. En determinados momentos (“revoluciones científicas”) esos paradigmas entran en crisis y son sustituidos por nuevos modelos (o paradigmas). Ejemplos de crisis de paradigma y sustitución por otro nuevo lo constituirían la revolución copernicana, la revolución newtoniana o la física de Einstein.

La propuesta de Kuhn fue criticada, entre otros, por su maestro Karl Popper (1902-1994), durante el Seminario Internacional de Filosofía celebrada en el Bedford College de Princetown, en el que cuestionó los conceptos kuhnianos de “ciencia normal” y “enigma”, así como la existencia de “revoluciones científicas”, llegando a acusar a Kuhn de relativista e irracionalista. Para Popper, el concepto de “paradigma” de Kuhn corresponde al “programa de investigación” de Lakatos [SEQUEIROS, 2001b, 2012]. Consciente de la imprecisión del término “paradigma”, el propio Kuhn, en *Segundos pensamientos sobre paradigmas* (1978), abogó por la sustitución de dicho concepto por el de “matriz disciplinar”, entendido como “conjunto de generalizaciones simbólicas, modelos explicativos y ejemplos compartidos por una comunidad científica en su trabajo para describir una situación problemática del mundo natural o social” [SEQUEIROS, 2002, pp. 14-15].

Volcanes y terremotos en la Antigüedad y la Edad Media

Los fenómenos volcánicos y los terremotos y sus efectos devastadores eran conocidos en Europa desde los inicios de los tiempos históricos. El Mediterráneo central y occidental se caracteriza por una marcada actividad eruptiva y sísmica, al situarse en el límite de dos placas tectónicas. Está comúnmente aceptado que una explosión volcánica en Santorini en año 1620 a.C. provocó una ola gigantesca en las costas mediterráneas orientales y una secuela de gran destrucción, dando lugar a mitos como los del continente perdido de la Atlántida, que Platón (429-347 a.C.) recoge en los diálogos *Timeo* y *Critias*. La actividad del Monte Etna se atribuyó a la presencia del dios del fuego, el Hephaios griego y el Vulcano romano.

Más allá de las explicaciones míticas, Aristóteles (384-322 a.C.) abordó el fenómeno volcánico en su *Metereologica*. El modelo aristotélico para explicar la actividad eruptiva se fundaba en cuatro premisas básicas; la aceptación de una Tierra redonda e inmóvil con esferas concéntricas cuyos movimientos aparentes producían los desplazamientos de los cuerpos celestes; la división del Universo en dos grandes regiones, la región celestial y la región terrena; la existencia de cuatro elementos básicos, tierra, aire, mar y fuego, que interactuaban entre sí bajo las fuerzas de la atracción o repulsión, amor y odio; y finalmente el cambio continuo en la región terrestre, dando lugar a procesos de generación, crecimiento, decrecimiento y decadencia [BARRERO, 2004, pp. 109-110]. Según Aristóteles existirían dos tipos de exhalaciones: secas/calientes y húmedo/frías, correspondiendo las primeras al fuego. Estos elementos tendrían la capacidad de transformarse entre sí, de manera que se podría generar “fuego” si el frío de la tierra fuera dominado por el calor. Como la Tierra era naturalmente seca, al humedecerse por la lluvia y ser calentada por el sol y por el fuego, daba lugar a un soplo (*pneuma*) y exhalaciones que se desplazaban hacia el exterior, originando el viento, o al interior dando lugar al temblor. Este viento, al fragmentarse en pequeñas partículas sería capaz de calentar el interior de la Tierra dando lugar al fuego, un elemento con tendencia al movimiento ascendente, que saldría hacia la superficie provocando los fenómenos volcánicos. No obstante, otros autores clásicos, como Estrabón (62 a.C.-24 d.C) o Vitrubio (80-70 a.C.-15 a.C), cuestionaron este mecanismo y propusieron la existencia de canales subterráneos ardientes en el interior de la Tierra, presentes entre Nápoles y Sicilia, y que explicarían la actividad volcánica del Etna, las islas de Lípári o Isquia [CAPEL, 1980; ELLENBERGER, 1989, pp. 50-51; AMADOR, 2004, p. 254].

El modelo aristotélico, que se podría denominar, “teoría neumática” es recogido con más o menos matices tanto por Lucrecio (99 a.C.-55 a.C.) en *De rerum natura*, Séneca (4-65) en *Quaestiones naturales* o Plinio el Viejo (23-79) en su *Historia Naturalis*. Difundido por San Alberto Magno en el siglo XIII, fue básicamente aceptado por la comunidad de estudiosos para explicar las causas de los volcanes y terremotos hasta inicios de la Edad Moderna.

La Edad Moderna e inicios de la Edad Contemporánea. Las primeras Teorías de la Tierra; Organicismo y Buffon. Neptunismo y Plutonismo, las primeras escuelas geológicas

A lo largo del siglo XVII se asentaron los principios de la geología como disciplina científica. Como afirma Alsina Calvés [2006, p. 64] durante este periodo “la Tierra adquiere una Historia”. Aparecen las primeras “teorías de la Tierra” que aportan sus modelos interpretativos para explicar la actividad del planeta en general y la volcánica en particular.

Con Nicolás Steno (1638-1686) médico danés del gran duque de Toscana, se iniciaron los estudios geológicos propiamente científicos. Steno atribuye a los fenómenos eruptivos una gran capacidad para deformar los estratos superficiales, si bien no aborda en profundidad la cuestión sobre sus causas, ya que no se interesó especialmente por las montañas y relieves volcánicos [ELLENBERGER, 1989, pp. 223-225].

René Descartes (1596-1650), en su obra *Principios de la Filosofía* (1644), expuso una teoría de la tierra basada en los principios de la filosofía mecanicista. Para Descartes la Tierra consistía en un astro enfriado, salvo en su centro, en donde permanecería una materia incandescente igual que la del Sol [ALSINA CALVÉS, 2006, pp. 66-67]. Su interpretación acerca del origen de los volcanes se puede considerar “clásica”, al atribuirlos a la inflamación de los “humos” subterráneos [ELLENBERGER, 1989, p. 187].

Otras teorías siguen un modelo organicista, en el que se asimila por analogía el funcionamiento del planeta al del cuerpo humano, oponiéndose al mecanicismo cartesiano. Este organicismo tiene su raíz en Platón, demostrando la perduración de estas concepciones clásicas durante un periodo dilatado de tiempo [CAPEL, 1980]. Para Platón la Tierra era una esfera en equilibrio en el cosmos, que contiene varias cavidades, una de ellas ocupada por el ser humano, que estarían comunicadas entre sí mediante canales recorridos por llamas procedentes de un fuego central, destacando el *Piriflegetonte*, un río de lava en ebullición responsable de todos los volcanes del planeta [AMADOR 2004, p. 254]. Este modelo platónico es recuperado en el Renacimiento asociado al interés por la alquimia, el redescubrimiento de Platón y las primeras teorías formuladas en el siglo XVI por Miguel Servet o William Harvey sobre la circulación de la sangre en el cuerpo humano.

El mejor ejemplo de teoría organicista de la Tierra lo constituye la obra del jesuita Athanasius Kircher (1602-1680) *Mundus subterraneus* (1665). Kircher tuvo la oportunidad de estudiar de primera mano el vulcanismo durante su viaje por Italia en 1638, año en los que entraron en erupción el Etna y el Estrómboli, visitando el cráter del Vesubio, del que se esperaba una inminente erupción. Kircher conoció la obra de José de Acosta y estuvo interesado en la naturaleza americana, llegando a afirmar que ninguna otra parte del mundo contaba con tantos volcanes como América [FINDLEN, 2008, pp. 114-123]. Estuvo en contacto con los centros políticos y culturales del Nuevo Mundo, como fue en el caso de Chile y el jesuita Nicolás Mas-

cardi (1625-1673), buen conocedor de las montañas y los volcanes andinos [ORREGO, 2015].

Posiblemente su conocimiento directo y las noticias que le llegaron del Nuevo Mundo influirían en la redacción de *Mundus subterraneus*. Esta obra versa sobre un *Geocosmos* que constituiría el mundo terrestre considerado como una unidad, a medio camino entre el *Macrocosmos* (el mundo, *kosmos* en griego) y el *Microcosmos* (el organismo humano). Según Kircher, en el centro de la Tierra existiría un “gran fuego interno”, con un conjunto de grandes cavidades llenas de fuego, agua y aire, a las que denominó respectivamente pirofilacios, hidrofilacios y aerofilacios, que estarían comunicadas entre ellas y con la superficie terrestre por una red de canales [SEQUEIROS, 2001a; SEQUEIROS y PEDRINACI, 1999, pp. 189-190]. La obra de Kircher tuvo gran influencia en *novatores* españoles como Tomás Vicente Tosca (1651-1723) o Diego de Torres y Villarroel (1694-1770).

La teoría organicista que defendía la presencia de un fuego central como motor de las actividades volcánicas fue siendo cuestionada. Una de las principales críticas residía en la dificultad de la existencia de un fuego interior en un lugar tan alejado de la superficie terrestre como el centro del planeta. Antonio Lazzaro Moro (1687-1764) atribuyó las causas de los fenómenos eruptivos a los terremotos e incidió en el papel de los volcanes en el modelado de la superficie terrestre. Nicolás Lemery (1645-1715) asignó un papel preponderante a las reacciones químicas entre las diferentes sustancias presentes en el subsuelo. Según Lemery, bajo tierra se producirían una serie de “fermentaciones” en las que intervendría el hierro y el azufre, en presencia de agua y sin necesidad de aire. La energía desprendida por esas reacciones originaría los fenómenos eruptivos, y aquellas fermentaciones que no pudieran salir a la superficie provocarían los movimientos sísmicos. Incluso llegó a diseñar un experimento de un “volcán artificial” para demostrar su teoría, usando hierro, azufre en polvo y agua [AMADOR, 2004]. Este modelo tendría una clara influencia en las investigaciones posteriores, y localizaba la fuente de la actividad volcánica relativamente cerca de la superficie terrestre y no en un foco profundo. Jean Etienne Guettard (1715-1786) estudió los volcanes de la Auvernia y llegó a la conclusión de que la actividad eruptiva podía estar causada por la combustión de los depósitos subterráneos de betún o carbón [ALSINA CALVÉS, 2006, p. 129].

En el desarrollo de la Historia Natural tuvo un papel fundamental la aportación del francés Georges Louis Leclerc (1707-1788), conde de Buffon. Matemático, naturalista y geólogo fue nombrado en 1739 intendente del Jardín del Rey. Buffon expuso dos trabajos de suma importancia en la teoría de las ciencias de la tierra: *Historia y Teoría de la Tierra* (1744) y las *Pruebas de la Teoría de la Tierra* (1745), asimilando las teorías de Steno sobre los estratos y la sedimentación y elaborando un modelo cosmológico de la Tierra y del Sistema Solar y una teoría del modelado del terrestre de tipo neptunista. El modelo de Buffon implica una concepción lineal del tiempo geológico. Así, en su *Des Epoques de la Nature* (1778) Buffon parte de la idea de una

Tierra en proceso de enfriamiento a partir de un globo incandescente, atribuyéndole al planeta una antigüedad de 75.000 años a partir de una serie de experimentos a escala. Buffon describió 6 épocas en la historia de la Tierra, intentando acomodarse a los seis días de la Creación bíblica y evitar la censura eclesiástica. Para éste, los materiales volcánicos serían los más recientes. Buffon no atribuye los volcanes a la combustión de los yacimientos de carbón, sino a la oxidación de las piritas depositadas en fracturas y debajo del subsuelo, que reaccionarían con el agua que descendiera hacia dichas acumulaciones minerales. Según la hipótesis de Buffon, los volcanes más activos serían los terrestres, pero cercanos al mar [ALSINA CALVÉS, 2006, pp. 107-108].

En la segunda mitad del siglo XVIII se asistió a la aparición de dos grandes modelos explicativos para el origen y evolución geológica de la Tierra, el neptunismo y el plutonismo. La teoría neptunista fue defendida por el alemán Abraham Gottlob Werner (1749-1817), profesor de la Escuela de Minas de Freiberg, en lo que fue la primera escuela geológica internacional. Werner elaboró una teoría según la cual por sedimentación sucesiva en un océano primordial, la *Panthalasa*, derivarían los cuatro grandes tipos de terreno: el “Primitivo” (con granitos y gneises), de “Transición”, (atribuido hoy al Paleozoico superior), el denominado “*Flotz*” o “Sedimento”, que correspondería al Mesozoico y parte del Terciario, el de “Acarreo”, atribuido al Terciario, y el de “Aluvión”, básicamente relacionado con el Cuaternario. Uno de los puntos más controvertidos y débiles de la teoría neptunista radicaba en la interpretación del origen de las rocas volcánicas. Werner situaba a éstas entre los terrenos más modernos, junto a los procedentes de la erosión de los relieves. Al hacerse evidente la presencia de rocas cristalinas en algunos de los niveles más antiguos de la columna estratigráfica de Werner, éste asignó un origen sedimentario tanto para el granito como para el basalto, como productos de precipitados químicos a partir del agua del mar. Esta hipótesis suscitó una animada polémica entre los geólogos de finales del siglo XVIII. En cuanto a la localización de la fuente de calor de los volcanes, Werner la atribuyó a incendios subterráneos de las capas de carbón [JULIVERT, 2014, pp. 42-43]. El neptunismo recoge la herencia diluvista e implica una concepción del tiempo lineal, no cíclica [ALSINA CALVÉS, 2006, pp. 124-128], alcanzando una gran influencia en el desarrollo de la geología en España e Hispanoamérica, ya que Christian Herrgen, Andrés Manuel del Río y Alexander von Humboldt estudiaron en Freiberg con Werner.

Entre los argumentos en contra del neptunismo estuvieron los trabajos de diversos vulcanólogos franceses, como Nicolás Demarest, (1725-1815), Bartolomé Faujas de Sant-Fond (1741-1819) o Deodat de Dolomieu (1750-1801), que reconocieron el origen ígneo del basalto, describiendo detalladamente coladas de lava en el Macizo Central francés. Demarest criticó la teoría de Guettard y defendió la producción de basalto a partir de la fusión del granito. Dolomieu negó el carácter “primordial” de las rocas graníticas, esto es, que constituyeran parte de la corteza terrestre original, algo en lo que en principio estaban de acuerdo plutonistas y neptunistas, al descubrir

aflorescimientos en los que subyacentes a él se depositaron rocas de composición distinta que fueron atravesadas por una intrusión basáltica. En consecuencia, la fuente de calor no podría estar situada en los estratos sedimentarios o depósitos de piritita poco profundos que reaccionasen con el agua subterránea, sino que debería hallarse en un foco mucho más profundo, por debajo de la corteza. Estos geólogos establecieron las bases de la moderna Vulcanología.

El neptunismo fue desplazado por el plutonismo del médico escocés James Hutton (1726-1797) en su artículo *Teoría de la Tierra* (1788). Para Hutton, la presencia de filones que cortaban a las rocas encajantes sería indicativa de la existencia de rocas fundidas en las profundidades de la Tierra, e interpretó a los granitos y los basaltos como rocas procedentes de la solidificación de magmas y lavas, confirmando el origen ígneo del granito. Hutton sigue el modelo del universo mecánico de Isaac Newton (1643-1727) y se inspira en la máquina de vapor que inventó su amigo James Watt (1736-1819). Según Hutton, la Tierra consiste en una máquina gigantesca que se mueve gracias al calor central, que se liberaría periódicamente gracias al vulcanismo. Esta capacidad volcánica de la Tierra iría disminuyendo a medida que se va perdiendo el calor interior. El planeta sería un cuerpo en lento y constante cambio en el que las rocas de los continentes iban siendo modeladas en un proceso continuo por ríos y mares. Los sedimentos arrastrados al océano se depositaban formando estratos horizontales en los fondos marinos. La presión de los estratos superiores sobre los inferiores hacía que en los más bajos subiera la presión y la temperatura e incluso llegaran a fundirse. El magma del interior de la Tierra podría escaparse por fisuras, dando lugar a los volcanes, que actuarían a modo de “válvula de escape” para prevenir terremotos y elevaciones del terreno, o moverse por su interior, generando grandes relieves y nuevos continentes en donde había antiguos océanos y a la inversa, las zonas erosionadas de los antiguos continentes podrían inundarse y dar lugar a nuevos océanos. Todo esto generaría un nuevo ciclo de erosión-deposición-consolidación-elevación sin principio ni final, una concepción del tiempo geológico cíclica, no lineal. El modelo de Hutton daría lugar al principio del uniformismo, según el cual los procesos naturales y las leyes que los rigen han permanecido uniformes a lo largo del tiempo geológico [ALSINA CALVÉS, 2006, pp. 131-135; GARCÍA CASCO, 2011, p. 16; SEQUEIROS, 2010, pp. 226-227]. Si bien Hutton exageraba el papel del calor interno en aspectos como su papel en la transformación del sedimento en rocas, la teoría plutonista ofrecía una explicación más satisfactoria que el modelo neptunista acerca del origen de los fenómenos volcánicos, que el autor ejemplificaba en la actividad del Etna. Las ideas de Hutton provocaron un intenso debate entre sus seguidores y los de Werner del que finalmente salieron triunfantes los primeros [JULIVERT, 2014, pp. 44-46].

Pervivencias medievales. Los volcanes en la cultura indígena

A las interpretaciones anteriores hay que añadir lo que Petit-Breuilh Sepúlveda [2007, pp. 415 y ss.] denomina pervivencias medievales en torno a los volcanes durante

la conquista de América. En Europa, desde la Antigüedad y la Edad Media se asociaron muchos cráteres como el Etna, con el propio infierno y tanto el fuego, el humo o el azufre se identificaban con Satanás. Los romanos interpretaron la lava y los fragmentos volcánicos como fragmentos de fuego (de ahí el nombre “piroclastos”) que fraguarían los cíclopes debajo de la superficie terrestre [SOTO, 2015, p. 9]. Todavía en fechas avanzadas de la Edad Moderna la actividad eruptiva se consideraba en muchos casos como el resultado de la acción punitiva de Dios respecto a las malas acciones de los seres humanos, como ocurrió con ocasión del nacimiento del Jorullo (1759). Su aparición se interpretó como un castigo divino a la impiedad del dueño de la hacienda en donde empezaron a surgir las primeras manifestaciones ígneas [CARREÓN NIETO, 2002]. En otros casos la actividad se achacaba a la presencia del mismo Diablo o a la persistencia de la adoración a dioses paganos. Tal fue el caso del Huaynaputina el año 1600 [MARSILLI, 2011]. Igualmente se invocaba a la propia acción de los santos castigando a los indígenas infieles. El cronista Felipe Guamán Poma de Ayala (1534-1615) narra un evento volcánico en Perú atribuido a San Bartolomé (equivalente cristianizado del dios andino Tunupa, que dominaba los fuegos y los volcanes), quien se venga del pueblo por haberlo echado y apedreado [DÍEZ CANSECO, 1996, pp. 105-106].

Los propios indígenas tenían sus creencias acerca de dioses que vivían en los volcanes, como era el caso de los cakchiqueles de Guatemala, que identificaban a uno de sus antepasados fundadores con el Dios Gagavitz, cuyo nombre significa “cerro de fuego”. Según los cakchiqueles, la causa de las erupciones residía en la existencia de un reino subterráneo de llamado Xibalbay (rico, magnífico en su idioma). De estas erupciones provendría la obsidiana, vidrio volcánico con el que fabricaban sus armas de caza y guerra, y por tanto un material de gran valor, similar al hierro o el acero para los conquistadores [PERALDO HUERTAS y MONTERO POHLY, 1996, p. 243]. Tomás López Medel alude a sacrificios de niños para aplacar al Masaya [LÓPEZ MEDEL, 1990, p. 124] y Francisco Cervantes de Salazar en su *Crónica de la Nueva España* (1971) recoge la creencia de los nativos relativa a que el volcán Popocatepetl era una boca del infierno a donde iban castigados los malos gobernantes una vez muertos [CERVANTES DE SALAZAR, 1971, Libro III, cap. LVIII]¹.

LOS SIGLOS XVI Y XVII. ARISTOTELISMO Y ORGANICISMO

Los primeros testimonios de los volcanes americanos. Conquistadores, viajeros y cronistas

Cuando los europeos llegaron a América, tuvieron que enfrentarse a una conquista no únicamente física, sino también a una comprensión y apropiación mental de un continente que desbordaba sus conocimientos previos [ELLIOTT, 2011]. En el campo de la geología, los recién llegados se encontraron con un continente geológicamente activo, de relieves accidentados, con enormes riquezas minerales, animales y plantas desconocidos, espectaculares erupciones y violentos seísmos, muchas veces

catastróficos. Si bien los volcanes eran conocidos en Europa y el propio Cristóbal Colón tuvo oportunidad de presenciar una erupción del Teide durante su primer viaje a América [CARRACEDO *et al.*, 2007], la presencia de numerosos cráteres activos, que superaban en altura a los europeos, y alineados a lo largo de lo que hoy se conoce como el Anillo de Fuego o cinturón volcánico circumpacífico, una franja de más de 38.000 kilómetros a lo largo de las costas del Pacífico en América y Asia, supuso un reto para los conocimientos previos de los recién llegados. Uno de los primeros contactos directos de los conquistadores con los fenómenos ígneos fue a la expedición que envió Hernán Cortés (1485-1547) a la boca del Popocatepetl. Cortés envió varios soldados al cráter, bajo el mando de Pedro de Ordaz, para la extracción de azufre con el fin de fabricar pólvora, pues le pareció que en dicho lugar podría haber depósitos de ese mineral nativo.

Bien sería, caballeros, que pues tan cerca tenemos aquel monte tan alto y tan extraño en su manera, que alguno de nosotros subiésemos a él, así porque me parece que pues hay humo y muchas veces parece fuego, que debe haber piedra azufre, de que poder hacer pólvora cuando la que traemos se acabare [CERVANTES DE SALAZAR, 1971, Libro III, cap. LVIII].

Este hecho revelaba tanto el arrojo y valentía de los primeros conquistadores, como su sentido práctico y el conocimiento previo de los terrenos volcánicos, ya que este mineral era extraído de las faldas del Teide con fines militares [MARTÍNEZ DE PISÓN, 1995, pp. 47-48]. El propio Cortés describe en su *Segunda Carta de Relación* una erupción del Popocatepetl y Pedro de Alvarado le informó de la actividad de los volcanes guatemaltecos. Según Bernal Díaz del Castillo (1492-1585) y Francisco López de Gómara (1511-1586) varios soldados intentaron bajar al cráter, desistiendo por su peligro [CRUZ REYNA, 2001, pp. 4-5].

En el Perú Pedro Cieza de León (1520-1554) hace referencias a diversos volcanes y fenómenos eruptivos recientes o históricos en la región, así como surgencias que pueden ser identificadas como fuentes termales. Así, por ejemplo, relata en relación a una erupción en las proximidades de Quito, lo siguiente:

Está a la mano derecha de este pueblo de Mulahalo un volcán o boca de fuego, del cual dicen los indios, que antiguamente reventó y echó de sí gran cantidad de piedras y cenizas, tanto que destruyó mucha parte de los pueblos donde alcanzó aquella tormenta. Quieren decir algunos, que antes que reventase, se veían visiones infernales, y se oían algunas voces temerosas. Y parece ser cierto lo que cuentan estos indios de este volcán, porque al tiempo que el adelantado don Pedro de Alvarado (gobernador que fue de la provincia de Guatemala) entró en el Perú con su armada, viniendo a salir a estas provincias de Quito les pareció que llovió ceniza algunos días y así lo afirman los españoles que venían con él. Y era, que debió reventar alguna boca de fuego de ésta, de las cuales hay muchas en aquellas sierras, por los grandes mineros que debe de haber de piedra de azufre [CIEZA DE LEÓN, 1553, pp. 118-119].

Cieza de León relaciona además la presencia de los volcanes con las mineralizaciones existentes, aspecto que más adelante reforzarán otros estudiosos, vinculando la riqueza del subsuelo con la actividad eruptiva.

Los volcanes en los primeros tratados de historia natural. Fernández de Oviedo, José de Acosta, López Medel y Juan de Cárdenas. Vázquez de Espinosa y la erupción del Huanayputina en 1600 Los jesuitas y el organicismo

Tras los relatos de conquistadores y curiosos, los cronistas de Indias y los primeros autores de tratados de historia natural que versaron sobre el continente recién descubierto abordaron, entre otros aspectos, la cuestión de los volcanes. Como afirma Petit-Breuilh Sepúlveda [2007, p. 406], algunos cronistas aludían a los filósofos clásicos o rescataban ancestrales interpretaciones sobre el origen de los procesos naturales, comenzando a ofrecer explicaciones al margen de los dogmas religiosos, estableciendo paralelismos entre la naturaleza y el funcionamiento del cuerpo humano, como hará más adelante Athanasius Kircher.

Posiblemente el primer cronista de Indias que realizó una aproximación científica al estudio del vulcanismo en el Nuevo Mundo fue Gonzalo Fernández de Oviedo (1478-1557). Durante su segunda estancia en América, tuvo la oportunidad de estudiar de primera mano las manifestaciones volcánicas de la región. En su *Historia natural y general de las Indias*, recoge diversas erupciones de los volcanes hoy conocidos como San Cristóbal, Santa Clara y Telica y se aproximó al cráter del Masaya a contemplar la lava incandescente, realizando varios dibujos y observaciones detalladas del cráter en su capítulo dedicado a este volcán [FERNÁNDEZ DE OVIEDO, 1855, pp. 67-75]. Fernández de Oviedo había subido al Vesubio durante su estancia en Nápoles y en su obra hace referencias a la actividad del Etna y de diversos focos en Grecia, Islandia e incluso Asia central. Llegó a enviar una carta describiendo los fenómenos que se producían en el Masaya al emperador Carlos V. En cuanto a las interpretaciones del origen del vulcanismo, Fernández de Oviedo, con motivo de la destrucción de la ciudad de Guatemala por el volcán del Agua en 1541, y aludiendo a la presencia de diversos volcanes en la región, aporta la siguiente explicación:

Todos los terremotos e tempestades se causan de las concavidades e cavernas que las montañas tienen en sus interiores, e porque son mineros de azufre o de alumbre, e los vientos reinclusos en aquellos vacuos, quando espiran, revientan e hacen esos daños En las partes que he dicho se han visto, como en Guatimala, é aun algunos muy peores podriamos traer á consequencia (...) de tarde en tarde acaesce, y en especial donde hay disposiciones de esos montes o zufretales o alumbres, debían apartarse de tales vecindades e asientos peligrosos [FERNÁNDEZ DE OVIEDO, 1855, p. 33].

Parece deducirse de este testimonio que a primeros del siglo XVI existía la creencia de que en el interior de la Tierra existían cavidades o vías subterráneas por las que circulaban vientos y vapores destilados por los minerales, especialmente azufre, y que serían responsables de las erupciones volcánicas [PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, 2007, p. 406]. El autor desaconseja además la ubicación de las ciudades en lugares próximos a los volcanes y encuentra paralelismos entre la destrucción de Guatemala y la destrucción de Pozzuoli en Italia en tiempos del emperador Tiberio, citando a Plinio el Viejo [FERNÁNDEZ DE OVIEDO, 1855, p. 32].

En 1534, Fray Blas del Castillo llevó a cabo la primera investigación directa documentada acerca del vulcanismo en el Nuevo Mundo, llegando a tomar muestras del material ígneo. En abril de ese año se hizo descender hasta el fondo del cráter del Masaya, introducido en una cesta, protegido con un casco y portando un martillo a la cintura, una calabaza de vino en una mano y una cruz en la otra, para observar de cerca la lava incandescente, que pensaba era oro. Posteriormente volvió a bajar, provisto esta vez de un caldero metálico para extraer material incandescente, que resultó ser escoria volcánica [FERNÁNDEZ DE OVIEDO, 1855, pp. 76-92].

El dominico Bartolomé de las Casas atribuyó en su *Apologética Historia* el fuego de los volcanes a la acción del viento, que aviva tanto la piedra azufre como las sustancias bituminosas que a su juicio estaban presentes en muchos terrenos de la región, como por ejemplo impregnando la piedra pómez. Siguiendo su razonamiento dicho bitumen impregnaría el terreno poroso y se encendería por la acción del viento y que, al igual que el aceite, no se apagaría con el agua, como si ocurría con el azufre [PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, 2007, p. 408]. Las Casas describió detalladamente los materiales volcánicos emitidos por el Masaya en 1566, así como fenómenos que hoy se podrían clasificar como freatomagmáticos. Menciona que el volcán produce “rocas esponjosas” (pómez o escoria ligera) que son arrojadas más lejos del volcán, y otro tipo de rocas, más pesadas (posiblemente lavas o escorias más densas), que se quedarían en las proximidades del cráter. Según su modelo explicativo, el motor que alimenta el calor del volcán sería un metal parecido al hierro o al cobre (“metalina”, según su denominación), que “encendería” a las rocas en las que el bitumen rellenara sus poros, fracturas u oquedades, actuando a modo de “combustible”. Las rocas que consumieran todo ese bitumen, al ser muy ligeras, podrían ser expulsadas por el volcán a las zonas más alejadas, mientras que aquellas que aún conservaran restos de dicha sustancia entre sus oquedades, por ser más pesadas, permanecerían en las áreas más cercanas al cráter [VIRAMONTE & INCER-BARQUERO, 2008, p. 424].

El volcán Masaya tuvo una gran influencia en las argumentaciones de Tomás López Medel (1520-1582) y expuestas en su *De los tres elementos. Tratado sobre la naturaleza y el hombre del Nuevo Mundo* (1570), en el que dedica un capítulo entero al vulcanismo [LÓPEZ MEDEL, 1990, pp. 119-128]. López Medel no pensaba que las causas del vulcanismo se debieran exclusivamente al azufre o a una mezcla de metales. Este autor argumentaba que dada la proximidad del volcán al Mar del Sur, y al sur la costa muy porosa y cavernosa, debía entrar mucho aire por dichas “porrigidades” avivando el fuego, cuya fuente, siguiendo a Alberto Magno y a Agrícola, asignaba a la “piedra napta”. Este material podría durar encendido durante siglos, “siendo aparejado lugar para ello las costas del mar y tierras calurosas, lo cual todo concurre (...) en nuestro volcán Masaya” [LÓPEZ MEDEL, 1990, p. 126]. A partir de sus observaciones en los Andes, señaló que los periodos de mayor actividad eruptiva coincidían con los vientos del Sur y del Mediodía. Igualmente observó que los volcanes se alineaban a distancias en torno del centenar de kilómetros [LÓPEZ MEDEL,

1990, p. 115]. Más adelante diversos autores volverán a intuir la presencia de grandes alineaciones de focos eruptivos a lo largo del continente.

La *Historia natural y moral de las Indias* (1590) del jesuita José de Acosta (1540-1600) culmina una primera fase del conocimiento científico de la naturaleza americana mediante un modelo explicativo que asimila la realidad distinta del Nuevo Mundo. Acosta dedica dos capítulos de su *Historia* a la cuestión de los volcanes. En primer lugar da cuenta de la importancia de la actividad volcánica americana respecto a la europea. Para Acosta “Aunque en otras partes se hallan bocas de fuego, como el monte Etna y el Vesubio, que ahora llaman el monte de Soma, en Indias es cosa muy notable lo que se halla de esto” [ACOSTA, 1590, Libro III Cap. XXIV]. Menciona la actividad de diversos volcanes en Quito, Guatemala y México, describiendo distintos tipos de fenómenos eruptivos y productos volcánicos. Acosta relaciona las erupciones y los movimientos sísmicos, si bien apunta la ocurrencia de seísmos en regiones en donde no hay volcanes, recurriendo a la clásica interpretación “pneumática” al respecto de Aristóteles y Séneca. Considera que las Indias eran un terreno favorable a los movimientos telúricos y las erupciones dadas sus propias peculiaridades, al ser el subsuelo americano muy cavernoso [MUSSET, 1996, p. 33].

Respecto al origen del material expulsado por los volcanes y el agotamiento progresivo que se produciría en la sucesivas erupciones, postula un sistema cíclico de los elementos que funcionaría de manera que nunca se agotara la fuente de la actividad ígnea [PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, 2007, p. 410].

Tienen algunos por opinión que los volcanes van gastando la materia interior que ya tienen de su composición, y así creen que terminará naturalmente fin en habiendo consumido la leña, digamos, que tienen (...). Mas háceseme cosa dura creer que en todos los volcanes pasa así, viendo que la materia que de sí echan es quasi infinita, y que no puede haber allá en sus entrañas junta. Y demás de eso hay volcanes que en centenares y aún millares de años se están siempre de un ser, y, con el mismo continente lanzan de sí humo, fuego y ceniza (...) Yo, de más afuera mirándolo, digo que tengo para mí, que como hay en la tierra lugares que tienen virtud de atraer a sí materia vaporosa, y convertirla en agua, y esas son fuentes que siempre manan, y siempre tienen de qué manar, porque atraen así la materia de el agua; así también hay lugares que tienen propiedad de atraer a sí exhalaciones secas y cálidas, y esas convierten en fuego y en humo, y con la fuerza de ellas lanzan también otra materia gruesa que se resuelve en ceniza, o en piedra pómez, o semejante [ACOSTA, 1590, Libro III Cap. XXV].

Interpretaciones similares de marcado carácter aristotélico y fuertemente influenciadas por José de Acosta son las expuestas, entre otros, por Antonio de Herrera y Tordesillas, Juan de Torquemada y Reginaldo de Lizárraga durante la primera mitad del siglo XVII [PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, 2007, pp. 410-412].

Juan de Cárdenas (1563-1609), en sus *Problemas y secretos maravillosos de las Indias* aborda la causa de los volcanes, aportando una curiosa teoría para la explicación de su actividad. Para Cárdenas los terremotos son debidos al calor del sol “el cual, con la rectitud y fuerza de sus rayos penetra hasta el indiano abismo” [CÁRDENAS, 1591, p. 65] y hasta aquí sigue la explicación “pneumática” aristotélica. En el caso de los volca-

nes su actividad “procede del fuego que perpetuamente arde en los mineros de azufre”, [CÁRDENAS, 1591, p. 69], muy abundantes en el continente. Para el autor las bajas temperaturas de las cumbres andinas, son las causas de este fuego, ya que:

el bolcan no puede ser monte baxo, si no tan alto y levantado que con su cumbre toque la media región del aire (...). “El frío grandísimo es el principal agente que aquí genera el fuego por vía de antiparístasis [CÁRDENAS, 1591, p. 70].

Cárdenas apoya su razonamiento en cuanto que observa, según él que las erupciones volcánicas son más violentas a mayor altura, cuando es invierno y en horas nocturnas [MARTÍNEZ DE PISÓN, 1995, p. 45].

La región andina alberga 204 de los aproximadamente 1.500 volcanes existentes durante el Holoceno (hace unos 10.000 años), más que cualquier otra región en el mundo, y 66 de los 550 activos en tiempos históricos. Entre los episodios más célebres, violentos y destructivos figura la erupción de tipo pliniano del Huayaputina, en los alrededores de Arequipa, en el actual Perú. Acaecida entre el 19 y el 26 de febrero año 1600, devastó una superficie de 950 km² alrededor del foco y levantó grandes nubes de ceniza y polvo volcánico que se adentraron hasta 1.000 km en el Pacífico, pudiendo tener una cierta incidencia en el clima global [TILLING, 2009]. Muchos de estos eventos fueron recogidos por el naturalista Antonio Vázquez de Espinosa 1570-1630 en su *Compendio y descripción de las Indias Occidentales (circa 1629)*, considerado por diversos estudiosos como la culminación de la tarea llevada a cabo por los grandes naturalistas del Nuevo Mundo desde Fernández de Oviedo hasta Acosta. En el *Compendio* Vázquez de Espinosa presta una especial atención a los fenómenos volcánicos, llevando a cabo la mayor enumeración de edificios eruptivos hasta la época, 22 en total de los que localiza con precisión 15. En el caso del Huayaputina Vázquez de Espinosa recoge el testimonio de un testigo presencial, Pedro de Vivar, llevando a cabo una descripción muy precisa de la erupción y sus consecuencias, de gran utilidad incluso en los modernos estudios vulcanológicos en el sector. En cuanto al origen del vulcanismo, Vázquez de Espinosa sigue la teoría aristotélica, atribuyendo estos fenómenos a la presencia de cavidades y minerales de azufre [VILLASECA, 2004; 2015].

A partir de finales del siglo XVI muchos testimonios de primera mano sobre episodios volcánicos en la América colonial provinieron de los jesuitas, que comenzaron a llegar a Sudamérica a mediados del siglo XVI. Instalaron sus Reducciones en los territorios actuales de Paraguay, norte de Argentina y sur de Brasil, llevando a cabo una importante actividad misionera, cultural y científica en todos los dominios españoles. El interés por la naturaleza tuvo un papel importante para los misioneros jesuitas, compartiendo sus fuentes documentales, correspondencia privada, manuscritos o diarios de viaje [AGUILAR, 2011].

El jesuita Diego Rosales (1601-1677) expone una teoría claramente organicista en su *Historia general del Reino de Chile, Flandes Indiano (1674)*, con analogías entre

el fenómeno volcánico y el funcionamiento del cuerpo humano. Posiblemente esta explicación estuviera influida ya por las teorías de Kircher y su *Mundus subterraneus*, publicado diez años antes. Además hay que recordar que el propio Kircher mantuvo correspondencia con miembros de su Orden en Chile que le enviaron descripciones de diversos episodios eruptivos.

Pero lo que sin duda parece manifiesta maravilla de la naturaleza, es ver, que de los volcanes, y de partes cercanas a ellos, salgan aguas para saludables banos, unas calientes y hirviendo; otras junto a ellas frias; unas gruesas con sabor de azufre, y otras destiladas por las entrañas de la tierra frias purificadas de todas qualidades como destiladas por alquitran. Considerada la peregrina diferencia de aguas nacidas de un mismo principio, se puede decir, que el calor del fuego haze sudar la tierra en tan copioso raudales, y unos salen frios, y otros calientes; por comunicarse a estos por los poros y venas de la tierra algunas exalaciones y vapores calidos de la piedra azufre, y fuego, que arde en el volcan.

Son tambien los Volcanes segun el sentir de muchos causa de los espantosos temblores destas tierras (...). Porque el fuego y el ayre en las entrañas, y concauidades de los Volcanes, pelean ya condensandose el uno, y rarificandose el otro, y la materia del fuego alentando de el ayre, bulle, y lo padece la tierra, que no pudiendo sufrir en sus concauidades el ayre, padece palpitaciones y mortales ansias en el corazon, y estupendos temblores en todo el cuerpo [ROSALES, 2011, p. 2].

La obra de Kircher se extendió igualmente a Nueva España, a través de la correspondencia con dos jesuitas radicados en México, Francisco Jiménez y Alejandro Fabiano [PASTOR, 2014, p. 115].

LA ILUSTRACIÓN. DE BUFFON A HUTTON

El siglo XVIII en Europa y las colonias americanas se ha considerado tradicionalmente como la época de la Ilustración, que tiene sus raíces en la revolución científica del siglo XVII. Durante estos años la actividad investigadora se sistematizó e institucionalizó. El eje central lo constituyeron las sociedades científicas, creadas según el modelo de la *Royal Society* y la *Academia des Sciences de París*. Se fundaron los jardines botánicos, observatorios astronómicos y museos. Fue la época de las grandes expediciones patrocinadas por las monarquías europeas, tanto como actividad de prestigio y gloria para el rey como de conocimiento y apropiación interesada de nuevos recursos naturales necesarios para la expansión europea [ORDÓÑEZ *et al.*, 2013].

El legado de los jesuitas. Sánchez Labrador, Molina y Clavijero

Durante esta época la figura más importante en el conocimiento de la cuenca del Plata fue José Sánchez Labrador (1717-1798), misionero, jesuita, naturalista y filólogo, el cual se movió entre 1747 y 1767 en lo que hoy corresponde a las naciones de Argentina, Paraguay y Bolivia. Su obra más destacada es *Paraguay Natural* (1771), cuya primera parte, datada de 1757, estaba compuesta de tres libros, que constituyen el primer tratado sobre la geología y la paleontología de la región [OTTONE, 2008]. El tercer libro trata básicamente de la meteorología aunque se ocupa también de volcanes

y movimientos sísmicos. Recoge en el mismo la presencia de numerosos volcanes en Chile, que según el autor se originan en “los horribles fuegos escondidos en los senos de las montañas, cuyas bóvedas impelen y hacen volar por los aires” [SÁNCHEZ LABRADOR, 1771, III, p. 232; OTTONE, 2008, pp. 51-52]. En cuanto a la causa de los fenómenos volcánicos, para Sánchez Labrador no reside en que dicho fuego se esparza por los pirofilacios, sino que la atribuye al calor desprendido por la reacción de materias ácidas ricas en azufre como las piritas, al descomponerse en “cavidades subterráneas, llenas de aire y de agua, se seguirá la inflamación y rarefacción del aire, la dilatación del agua y su extensión en vapores y finalmente las explosiones o reventazones con sacudimientos” [SÁNCHEZ LABRADOR, 1771, III, p. 248; OTTONE, 2008, pp. 51-52].

En Chile hay que mencionar al jesuita Juan Ignacio Molina (1740-1829), que está considerado como el primer científico nacional. Nacido en Talca y fallecido en el exilio en Bolonia, en su obra *Ensayo sobre la historia natural de Chile* (1810) presenta un amplio estudio del clima, flora, fauna, geografía, geología y mineralogía de su tierra natal, reseñando diversos episodios volcánicos. El abate Molina fue un científico respetado ya en vida, que realizó numerosas aportaciones en el campo de la geología regional y económica del país, proponiendo teorías acerca del poblamiento americano y siendo visitado por Humboldt en su exilio en Bolonia o citado por Darwin. Ambos tomaron muchos de sus estudios como referencia en sus expediciones por el continente americano [CHARRIER y HERVÉ, 2011, p. 456].

Para Molina el centro de la Tierra estaría dominado por fuegos subterráneos, a los que atribuye los terremotos, el vulcanismo y las aguas termales de su tierra. Según Molina las erupciones se debían, además del calor central del planeta, a la efervescencia del material del subsuelo como bitúmenes, carbón o sulfuros, de los que de estos últimos había gran abundancia en Chile [MOLINA, 2011]. El subsuelo chileno estaría surcado por una serie de conductos por los que circularían aguas marinas, que al reaccionar con dichas materias “efervescentes” originarían la actividad volcánica [MOLINA, 1987, p. 44; CHARRIER y HERVÉ, 2011, pp. 455-456]:

Chile, en medio de su envidiable prosperidad, es golpeado funestamente, cada cierto tiempo, por los terremotos. Su misma riqueza es la causa. La tierra es rica en azufre y en todo tipo de minerales. La gran cantidad de sulfuros que se forma en sus entrañas, al ser mojado después de la sequedad del verano por las lluvias otoñales fermenta y luego se enciende. El agua se descompone instantáneamente, el oxígeno se une al azufre formando el ácido sulfúrico; el hidrógeno, entonces libre, escapa con gran estruendo, sacudiendo el terreno superior; el incendio y el movimiento se van propagando poco a poco; todo empieza a sacudirse; se forman nuevos fluidos elásticos que hacen aumentar el desconcierto; la tierra tiembla o se abre en grietas profundas, en donde nacen los volcanes según la mayor cantidad de agentes que allí actúen provocando la efervescencia.

Molina relaciona terremotos y volcanes, atribuyendo a los segundos el papel de disminuir los efectos dañinos y la violencia de los grandes seísmos. Esta hipótesis guarda evidentes semejanzas con las teorías organicistas de Kircher y su *Mundus subterraneus* y se asemeja a lo ya expuesto por Diego Rosales casi 150 años antes. Probablemente Molina, o incluso antes Rosales, tuviera la oportunidad de acceder a

la obra de Kircher o sus seguidores Juan Eusebio de Nieremberg (1595-1658) o José de Zaragoza (1627-1679)] presentes en la biblioteca del Colegio Máximo de Chile [ORREGO, 2015]. Para el abate, el proceso que según su modelo originaría la actividad volcánica, la reacción de agua subterránea marina con depósitos en el subsuelo, guarda una gran similitud con los mecanismos propuestos por Lemery y Buffon. Igualmente interesantes son las descripciones que realiza sobre las erupciones de los volcanes Villarica (1640) y Peteroa (1762). Molina detalla los efectos del vulcanismo y la secuencia de materiales emitidos, que luego han podido ser corroborados por los datos de campo y estudios geológicos efectuados más de dos siglos después [CHARRIER Y HERVÉ, 2011, p. 455].

Un personaje importante en la Ilustración criolla fue el jesuita Francisco Javier Clavijero (1731-1787). Religioso, escritor, docente y naturalista, estuvo en contacto con las obras de de Newton, Leibniz y Descartes y elaboró teorías sobre el origen del vulcanismo y las causas de los seísmos según aparecen en su *Physica particularis* [ZERPA RODRÍGUEZ, 2016, p. 58] y se interesó por el nacimiento del volcán Jorullo en 1759. En su obra *Historia Antigua de México* (1844) aborda la explicación de los volcanes:

El fuego encendido en las montañas de la tierra con las materias bituminosas y sulfúricas de las que hemos hecho mención, se ha abierto en algunas montañas respiraderos o volcanes que han solido arrojar llamas, humo y cenizas [CLAVIJERO, 1844, p. 8].

Menciona cinco volcanes con gran actividad y recoge la aparición y evolución del Jorullo desde 1759, que “no ha cesado de arrojar fuego y piedras inflamadas, con las cuales se han formado tres altos montes cuya circunferencia era en 1766 de seis millas” [CLAVIJERO, 1844, p. 9].

Las grandes expediciones y su aportación a la vulcanología americana. Jorge Juan, Antonio de Ulloa y Antonio de Pineda

La expedición de Charles Marie de La Condamine (1701-1774) al Virreinato del Perú (1735-1744), tuvo como objetivo primordial medir un arco del meridiano terrestre. En ella figuraron como científicos españoles dos alumnos de la Academia de Guardamarinas de Cádiz, Jorge Juan y Santacillia (1713-1773) y Antonio de Ulloa y de la Torre-Giralt (1716-1795). Durante su estancia el volcán Cotopaxi, en el actual Ecuador, mostró una gran actividad (1742-1744) y un gran terremoto asoló Lima en 1742. En su obra *Relación histórica del viage a la América meridional* (1748) recogen una serie de observaciones y registros de estos fenómenos y abordan las causas de las erupciones y los seísmos. En relación a los volcanes, atribuyen su origen a reacciones químicas que ocurrirían en el subsuelo, siguiendo los modelos de Lemery y Buffon.

Punto es muy sabido ya en los presentes tiempos el methodo de firmarse los volcanes y que su causa consiste en las materias sulfúreas, nitrosas y otras combustibles, que encierran las entrañas de la Tierra, las cuales unidas entre sí y convertidas en una pasta, que se prepara con el auxilio de las Aguas subterranas, se fermentan hasta un cierto punto, y entonces se inflaman, y con ellas el viento, que

las circundaba, se suerte, que aumenta este su cuerpo excesivamente al que tenía antes de inflamarse y produce el mismo efecto que la Polvora (...) y encendido el volcán, lo queda por tanto tiempo, lo que ha de menester para consumir aquellas materias oleaginosas, y sulfureas, que abundaban, o estaban de mas en el conjunto de su masa [JUAN Y SANTACILLIA Y ULLOA Y DE LA TORRE-GIRALT, 1748, pp. 109- 110].

Ambos distinguen dos tipos de volcanes:

(...) unos reducidos y otros dilatados; aquellos serán donde en espacio corto hay gran cantidad de materia inflamable; y estos, en los que una cantidad de materia se halla esparcida en el espacio anchuroso; los primeros, propios a ser contenidos en los senos de las montañas, que son como legítimos depósitos de estas materias; los segundos de estos como ramificación, que saliendo de aquellos se extienden por las llanuras (...). [JUAN Y SANTACILLIA Y ULLOA Y DE LA TORRE-GIRALT, 1748 p. 111].

Siguiendo la interpretación dominante durante la primera mitad del siglo XVIII, Jorge Juan y Ulloa asocian la existencia de vientos y corrientes de agua subterránea que circularían por las abundantes cavernas de la región, en muchos casos procedentes del deshielo de las cumbres andinas, que inflamarían los materiales azufrosos del subsuelo, liberando el aire contenido en ellos. Ambos aceptan la relación entre terremotos y volcanes. El aire liberado conjuntamente con el material inflamado circularía por dicho terreno cavernoso provocando los movimientos de la superficie terrestre y diversos fenómenos asociados (truenos, grandes ruidos, manantiales azufrosos...). En lo relativo a la importancia del viento subterráneo, Jorge Juan y Ulloa siguen los presupuestos aristotélicos [CAPEL, 1980].

A lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII la Corona impulsó una serie de expediciones de diverso tipo, botánicas, hidrográficas, mineralógicas y de límites. La Real Expedición Botánica a los reinos de Perú y Chile (1777-1786) fue dirigida por Hipólito Ruiz y José Antonio Pavón. La Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada (1782-1808) tuvo como principal inspirador a José Celestino Mutis. La Real Expedición Botánica a Nueva España (1787-1703) fue dirigida por Martín de Sessé y José Mariano Mociño. La expedición mineralógica de los hermanos Conrado y Cristiano Heuland en territorios del actual Chile (1795-1800) subrayó la importancia de los recursos metálicos chilenos.

La expedición Malaspina alrededor del mundo (1789-1794) para fijar los límites del imperio fue la más ambiciosa, preparada y organizada de todas las expediciones científicas de la historia de España. Organizada y dirigida para la Corona española por el marino italiano Alejandro Malaspina, contaba con las corbetas “Descubierta” y “Atrevida”. Malaspina cayó en desgracia a su vuelta a España. Se elaboraron más de 800 dibujos y grabados y recolectaron una cantidad ingente de muestras, una valiosísima información que no fue debidamente aprovechada.

De los tres naturalistas que participaron en la expedición, Luis Neé (1734-1803), Tadeo Haenke (1761-1817) y Antonio de Pineda (1753-1792), este último fue quien dedicó más tiempo al estudio de los volcanes. Desgraciadamente falleció mientras

exploraba la región filipina. Pineda, nacido en Guatemala de padres peninsulares, era un buen conocedor de la geología de Francia e Italia y visitó diversos volcanes en Hispanoamérica, las Marianas y las Filipinas estableciendo comparaciones entre el vulcanismo europeo, el continente americano y el Pacífico antes del siglo XIX [ZERPA RODRÍGUEZ, 2016, pp. 69-70] En sus observaciones orográficas por Hispanoamérica Pineda halló tanto pruebas irrefutables de la emersión pretérita del terreno, apoyada en la frecuente presencia de conchas fósiles, como de la abundancia de materiales volcánicos. Pineda refutó la opinión de Pierre Bouguer (1698-1758), científico de la expedición de La Condamine, que al no encontrar fósiles en los Andes durante su periplo asignó al continente americano un origen exclusivamente ígneo y elaboró un modelo según el cual el Nuevo Mundo o partes de él (Perú y Nueva España) habría estado sumergido y posteriormente la actividad volcánica había contribuido a darle forma.

Según Pineda, las cadenas montañosas constituyen el reservorio de las aguas subterráneas o del agua que dará lugar a los ríos que erosionan y remodelan la superficie terrestre, mientras que en las cavidades subterráneas las reacciones químicas producen grandes cantidades de calor y aires inflamables que originan las erupciones volcánicas que remodelan la faz de la tierra [GALERA GÓMEZ, 1988, pp. 201-203]. Para explicar el origen de los basaltos, pese a su formación inicial neptunista, asigna en base a sus observaciones de campo un mixto ígneo y acuático. Considera que la cristalización tan regular de las rocas basálticas era incompatible con un proceso tan violento como el eruptivo. Siguiendo a Pineda, las frecuentes erupciones volcánicas que sacudieron el continente americano produjeron gran cantidad de materiales volcánicos, que fueron depositados por un medio acuoso en los terrenos más bajos. Al irse evaporando el agua que contenía estos materiales originalmente provenientes de los procesos eruptivos fueron cristalizando lentamente, dando lugar a las simétricas y regulares columnas basálticas. Pineda armoniza así neptunismo y plutonismo que conjuga con los argumentos de Buffon sobre el origen del vulcanismo, en una visión dinámica de una naturaleza en continua transformación. En la interpretación de Pineda la tierra emergería del fondo del océano para, durante las primeras civilizaciones, producirse la subversión del globo a consecuencia de la acción volcánica [GALERA GÓMEZ, 1988, pp. 203-204].

La ciencia criolla y el estudio de los volcanes. La erupción del Iraizú. El nacimiento del Jorullo. Llano y Zapata y Alzate. El Seminario de Minería de México y influencia del neptunismo: Andrés Manuel Del Río. La “erupción desconocida” de 1808

El siglo XVIII en América fue testigo del nacimiento de una Ilustración americana que tuvo entre sus preocupaciones al conocimiento de la realidad natural de su continente. Estos naturalistas estaban en contacto con las corrientes científicas europeas y fundaron numerosas gacetas y diarios, en los que mostraron su interés por los

fenómenos naturales y continuaron en cierto modo la labor de los jesuitas. Destacaron tanto criollos como españoles nacidos en la metrópoli y que se asentaron en las colonias, como Celestino Mutis (1732-1808), José Longinos Martínez (1756-1802), Félix de Azara (1742-1721), José de Alzate (1737-1799), Andrés Manuel del Río (1764-1849), Francisco José de Caldas (1768-1816) o Hipólito Unanue (1755-1833). En la última década surgieron las primeras publicaciones sobre ciencias en forma de Anales, Actas, Boletines, Memorias, etc., como la *Gaceta de México* (1784-1841) o las *Memorias de la Real Sociedad Patriótica de la Habana*, en donde se incluyeron, entre otras materias, investigaciones sobre geología, mineralogía, o mineralurgia en el Nuevo Mundo. En la metrópoli bajo impulso de Carlos IV se crearon los *Anales de Historia Natural* en 1799, luego *Anales de Ciencias Naturales* [LÓPEZ DE AZCONA, 1981, p. 243].

En febrero del 1723 tuvo lugar la erupción del volcán Iraizú, en la actual Costa Rica. Esta actividad, muy violenta, de carácter estromboliano y asociada a eventos freatomagmáticos, fue descrita detalladamente por el entonces gobernador Diego de la Haya, cuyo testimonio ha sido relevante para la reconstrucción en la actualidad de ese episodio volcánico [ALVARADO, 2011; ALVARADO & SCHMINCKE, 2013]. Resulta interesante la relación que establece De la Haya entre la actividad volcánica y la actividad lunar, así como la mención expresa a la gran fertilidad de los productos volcánicos [DE LA HAYA, 1852; ALVARADO & SCHMINCKE, 2013]:

Desde entonces y hasta la fecha (11 de septiembre), se han observado la continuación de fuegos, cenizas y arenas, y particularmente con mayor aumento en los días de conjunción y oposición de la luna (...) y los campos se ha fertilizado con la proporción de arenas y cenizas que en ellos han caído, y queda con su continua fermentación hasta este día.

El año 1759 tuvo lugar el nacimiento de un nuevo volcán, el Jorullo, en el actual estado de Michoacán (México), siendo el único, junto con el Parícutín (década de los años 40 del siglo XX), que ha surgido durante los tiempos históricos en el continente americano. En 1763, en su etapa de crecimiento, fue visitado por fray Francisco de Ajofrín (1719-1819), religioso capuchino a quien se deben las primeras descripciones científicas y gráficas del Jorullo en su *Diario de Viaje a la Nueva España*. Para Ajofrín las causas del nacimiento del Jorullo se relacionarían en un posible bloqueo de los respiraderos del cráter del volcán Colima, a unas 80 leguas de distancia, lo que causaría que el magma incandescente de la gran cavidad subterránea buscara una salida al exterior provocando violentos choques en su ascenso y originando los seísmos. Ajofrín apoya su razonamiento en el hecho de la escasa actividad del Colima desde entonces [SANCHEZ, 2001, p. 353]. La idea de una serie de edificios o focos volcánicos conectados subterráneamente a lo largo de grandes distancias parecía ir afirmándose paulatinamente.

El nacimiento del Jorullo llamó igualmente la atención de Clavijero, siendo objeto incluso de algunos de los versos del poema *Rusticatio mexicana* (1782) del guatemalteco Rafael Landívar (1731-1793). En su segundo libro, dedicado al Joru-

llo, en los versos que explica las causas de los terremotos y los episodios volcánicos, escribe:

Tras golpear de Parténope en tantos momentos la Urbe,
y en tantos haber consumido sañudo sus mieses doradas,
se duele de ver nuestra Urbe y murallas y torres enhiestas.
Por eso insensible a través de telúricas cuevas profundas
buscando pasajes, en arte infernal muy taimado,
oprime por fin de una vena sulfúrea los rastros,
hasta poder penetrar en Felsinas cavernas.
Mas luego que toca Mulcíber el cóncavo antro,
de súbito el nitro, el azufre y el negro betún
se inflaman con sólo acercarlos las teas; Vulcano soltando
las riendas se ensaña, y al aire del antro hecho denso
por gruesos vapores relaja con fuego violento (...)

[LANDÍVAR, 2001, Libro II, versos 309-321].

Las referencias a las cuevas, el betún y los niveles sulfúreos y nitrosos como origen de la actividad volcánica pueden ser indicativas de cuanto habían calado en el pensamiento científico de los ilustrados americanos, incluso en una obra poética, las teorías geológicas formuladas en Europa. Posteriormente el Jorullo fue visitado por el Intendente de Valladolid, José Antonio Riaño, y los mineralogistas Franz Fisher y Samuel Schröder. También se acercaron a contemplarlo José Mariano Mociño y los naturalistas de la Real Expedición Botánica a Nueva España (1787-1803), así como Alexander von Humboldt [URQUIJO TORRES, 2010, p. 79].

Uno de los naturalistas criollos que mostró mayor interés por las emergentes ciencias de la Tierra fue el sacerdote José de Alzate, impulsor del *Diario literario de México*, y considerado como el primer periodista científico novohispano. Acompañó a Pineda en su reconocimiento de los volcanes mexicanos. A la hora de explicar el vulcanismo, Alzate muestra una clara influencia de Buffon y su *Teoría de la Tierra* [PASTOR, 2014, pp. 117-118]. Establece una relación entre los volcanes y los terremotos. De estos últimos distingue dos tipos: unos sentidos a larga distancia, que suceden durante un tiempo prolongado y generalmente acompañado de grandes ruidos, y otros causados por la acción de los fuegos subterráneos y el desfogo de los volcanes y que, según la cantidad de materia acumulada, levantan o no la tierra y producen o no un volcán, siendo acompañados de un mayor o menor temblor de tierra bien localizado, a corta distancia y de poco tiempo de duración [ALZATE, 1980, pp. 27-28; PASTOR, 2014, pp. 117-118].

Siguiendo a Lemery, Alzate atribuye las fermentaciones que ocurren en el interior de la Tierra a las reacciones entre el azufre, el hierro y el agua subterránea, que provocarían que en pocas horas que la tierra se eleve, hinche y abra [ALZATE 1980, p. 28; PASTOR, 2014, pp. 117-118]. Por esta causa, los terrenos más cercanos a los volcanes son susceptibles de padecer más terremotos. “Según la observación de muchos físicos los terremotos siguen en sus movimientos la misma dirección que guardan las

serranías” [ALZATE, 1980, p. 29; PASTOR, 2014, pp. 117-118], líneas que van desde el Pacífico norte hasta Centroamérica.

En la segunda mitad del siglo XVIII, con motivo de los intentos de la reactivación de la actividad minera por parte de los Borbones, especialmente en los territorios americanos, se crearon varios Seminarios de Minería. El Real Seminario de Nueva España fue fundado en 1777, seguido en 1778 por el de Almadén en territorio metropolitano (1777). En 1785 inició su labor el Seminario del Perú y posteriormente se crearon Escuelas de Minería en Chile (Arica, 1801) y Nueva Granada [LÓPEZ DE AZCONA, 1981]. En México empezó a consolidarse una importante tradición de investigación geológica vinculada al Real Seminario, con Fausto de Elhúyar (1755-1833), director y Andrés Manuel del Río (1764-1849), profesor de mineralogía. Ambos impulsaron notables avances en los campos de la minería y la metalurgia. Del Río, descubridor del “pancromo” o vanadio, permaneció en México hasta su muerte y está considerado como el padre de las ciencias geológicas mexicanas.

Del Río escribió el año 1795 *Elementos de Orictognosia*, el primer tratado de mineralogía publicado en la América colonial, siguiendo los postulados de su maestro Werner. Del Río tuvo mucho interés en el origen de la obsidiana, vidrio volcánico con el que los aztecas y otros pueblos originarios de México confeccionaron numerosas armas y objetos decorativos. Este vidrio volcánico se encontraba en diversas localidades de Europa y América, siempre en la proximidad de volcanes ya fueran activos o extintos. Del Río se oponía al origen volcánico del basalto [ZERPA RODRÍGUEZ, 2016, p. 71] y en obras como “*Los volcanes, impugnación sobre la teoría dominante del origen volcánico de algunas rocas*” o su “*Discurso sobre los volcanes*” presentado en 1799 adopta posturas vehementemente neptunistas [PUCHE RIART Y AYALA CARCEDO, 1993, pp. 90-91; ZERPA RODRÍGUEZ, 2016, p. 71]. Niega que exista en el subsuelo terrestre suficiente azufre para que por combustión con el agua pudiera provocar grandes erupciones volcánicas, en contra del modelo de Lemery. Para Del Río, la presencia de capas horizontales de basalto, a veces muy finas, o el hecho de que estos niveles contengan minerales hidratados que únicamente se podrían haber formado, según él, en un medio acuoso, como ceolitas o nódulos de calcita, son pruebas de su origen marino, origen que incluso extiende a la obsidiana, el vidrio volcánico por excelencia, cuya estructura niega que sea compatible con la de una escoria volcánica [DEL RÍO, 1799, pp. 346-348].

Como contraste a la ardorosa defensa de la teoría de Werner que tuvo lugar en los territorios novohispanos, reflejo a su vez de la gran controversia geológica del momento en Europa, en la metrópoli el debate entre plutonismo y neptunismo pasó prácticamente desapercibido. En la España peninsular la influencia de Werner quedó patente en la obra de su discípulo en Freiberg Christian (o Cristiano) Herrgen (1765-1816), que realizó una importante labor en el Real Escuela de Mineralogía de Madrid, o en otro neptunista, Carlos de Gimbernat (1768-1834), posiblemente el primer vulcanólogo español, si bien Gimbernat llevó a cabo sus estudios en el Vesubio [LÓPEZ DE AZCONA, 1981, pp. 66-69; SOLÉ SABARÍS, 1983].

En el Virreinato del Perú destaca la labor del ilustrado Jose Pedro de Llano y Zapata (1721-1780), autor de diversos escritos de historia natural americana, como *Memorias historico-fisico-apologeticas de la América Meridional*. Con motivo del terremoto del Lima de 1746, Llano y Zapata dejó un escrito en el que investigaba las causas de los terremotos y su relación con los volcanes, demostrando un amplio conocimiento tanto de las teorías de los autores de la Antigüedad (Aristóteles, Plinio el Viejo o Séneca), y de la obra de autores como Kircher, como de los experimentos químicos de Lemery para explicar las causas de las erupciones [LLANO Y ZAPATA, 1748, p. 24].

Otra contribución al estudio de los volcanes fue la llevada a cabo por los grandes científicos criollos Francisco José de Caldas e Hipólito Unanue a finales de la primera década del siglo XIX. Caldas, afincado en el virreinato de Nueva Granada, describió una serie de fenómenos meteorológicos asociados a nubes de polvo que obscurían la luz del sol en la ciudad de Bogotá, entre diciembre de 1808 y febrero de 1809, al mismo tiempo que Unanue documentaba un fenómeno similar en Lima. Estas observaciones se atribuyen en la actualidad a la presencia de aerosoles de polvo volcánico presentes en la estratosfera, similares a los ocasionados con motivo de la erupción del Tambora (Pacífico) en 1815 con consecuencias visibles en todo el hemisferio norte del planeta y dando lugar al conocido como “año sin verano” de 1816. En el caso de 1808-1809 estos dos registros de nubes de polvo separados al menos 2.600 km indican que el origen pudo estar en la actividad de un volcán tropical hacia finales de noviembre o primeros de diciembre de 1808, si bien todavía no se ha localizado el foco exacto [GUEVARA-MURÚA, 2014].

LOS INICIOS DEL SIGLO XIX. HUMBOLDT Y LA CONSOLIDACIÓN DEL PARADIGMA PLUTONISTA

A inicios del siglo XIX tuvo lugar el viaje a la América colonial española de Alexander von Humboldt (1769-1859). Humboldt había estudiado geología en Freiberg con Abraham Werner. Partió hacia las posesiones americanas de la Corona junto con el botánico Aimé Bonpland (1773-1858), en una estancia entre los años 1799 y 1804, durante la cual realizó numerosas aportaciones al conocimiento de la flora, fauna, biogeografía, geografía política y geología americana. La búsqueda de un conocimiento directo de los volcanes le llevó a realizar peligrosas ascensiones en las que puso en juego su salud e incluso su vida, pero en cambio le permitió llevar a cabo un estudio detallado de la actividad eruptiva, el termalismo o los volcanes de lodo, así como diversas observaciones geofísicas [MINGUET, 2003, p. 638].

Humboldt se valió de su propia experiencia en el Teide, que visitó durante su viaje de ida a las colonias. Tuvo su primer contacto con los volcanes americanos en septiembre de 1799 en la montaña de Cuchivano, en las proximidades de Popayán. Aquí estudió las llamaradas periódicas procedentes de la actividad volcánica que su-

cedían en sus cuevas. Posteriormente visitó en Cartagena de Indias la zona de los “volcancitos”, en la selva de Turbaco (abril de 1801). Los “volcancitos” consistían en pequeños conos de ceniza de seis a siete metros de alto con frecuentes emanaciones de lodo y gas, con nitrógeno en elevadas proporciones. Posteriormente se desplazó a los volcanes de Puracé y Pasto (noviembre de 1801).

Entre enero y junio de 1802, en la región de Quito, llevó a cabo una intensa y fértil actividad en los Andes; estudió los volcanes de alrededor de Quito, como el Pichincha, Cayambé-Urcu, Nevado del Corazón, Carguairazo, Cotopaxi, Ilinissa y Cápac-Urcu. Durante su estancia en Ecuador pudo distinguir la presencia de dos sistemas volcánicos distintos pero relacionados entre sí. Después de una fallida ascensión al Pichincha, subió al Chimborazo, asomándose al cráter y comprobando su actividad. Observó la coincidencia entre la actividad volcánica del Pasto y un terremoto que asoló la ciudad de Riobamba, deduciendo algún tipo de relación entre ambos fenómenos. Igualmente se interesó por la vulcanología histórica, recopilando datos sobre una erupción del Capac-Urcu en las vísperas de la invasión inca de la región ecuatoriana.

Durante su estancia en México entre abril de 1803 y marzo de 1804 tuvo la oportunidad de completar las observaciones realizadas acerca del vulcanismo andino con las realizadas acerca de los volcanes novohispanos. En septiembre de 1803 visitó el Jorullo, buscando testigos presenciales fiables del nacimiento de volcán en 1759. Describió el emplazamiento geológico del volcán, el evento del surgimiento del cráter y los fenómenos asociados (conos de ceniza, fuentes hidrosulfurosas), apuntando que la actividad volcánica parecía ir en disminución. A su vuelta a México, observando la alineación de los volcanes de Puebla, Orizaba, Nevado del Toluca, Tancitaro y Colima, dedujo la existencia de una falla a lo largo de la cual se alinearían dichos focos. En la región mexicana escaló el Nevado del Toluca y el Cofre del Perote [MINGUET, 2003, pp. 129-178].

Humboldt llevó a cabo grandes descubrimientos respecto a la geología americana, desde una visión globalizadora, fruto de su formación con Werner. Hispanoamérica dejaría una profunda huella en su obra científica posterior. Realizó una aproximación a una litoestratigrafía global, una “pasigrafía” u orden de depósito a escala terrestre, en la que comprobó que de una manera general la estructura de la corteza terrestre era similar a ambos lados del océano.

Según Troll [1960], sus estudios de los volcanes canarios y americanos lo convencieron del origen plutónico de las rocas eruptivas, abandonando su neptunismo inicial y abrazando el plutonismo de Hutton. Aportó una teoría magmática del vulcanismo y estableció una relación de causa-efecto entre la actividad volcánica, los movimientos tectónicos y los seísmos, tal y como expresa el propio Humboldt en *Cosmos* (1875):

La elevación de la temperatura a proporción que se va profundizando en el terreno, y la reacción del interior del globo contra la superficie, nos conducirán á la larga serie de los fenómenos volcánicos:

tales son, los terremotos, las emisiones gaseosas, las fuentes termales, los volcanes de ceniza y las corrientes de lava que vomitan los cráteres eruptivos [HUMBOLDT, 1875, p. 9].

Además, con la denominación de rocas “endógenas” para las rocas eruptivas y “exógenas” para las rocas sedimentarias formuló dos conceptos claves en la geodinámica y con el término “horizonte geológico”, una afortunada concepción estratigráfica.

El sabio alemán ya identificó la existencia de una serie de cadenas de volcanes activos según distintas alineaciones, meridiana en la región Andes y aproximadamente ecuatorial para el caso de los volcanes novohispanos. En este caso conjeturó sobre la presencia de fallas activas que se extendían del Pacífico al Caribe [MINGUET, 2003, pp. 638-639]. Hoy se sabe que el vulcanismo andino se relaciona con la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa de Sudamérica, mientras que el vulcanismo del sur de México se origina por la subducción de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe, dando lugar al Eje Neovolcánico. Dicho eje se localiza según falla de desgarro de la corteza de dirección este-oeste surcada por fallas norte-sur, en cuya intersección se forman los focos eruptivos.

CONCLUSIONES

La actividad de los volcanes del Nuevo Mundo fue recogida en diversos escritos, como los archivos oficiales, eclesiásticos o privados, las crónicas coloniales, los relatos, los escritos de viajeros, la comunicación epistolar y los periódicos, que dejaron testimonios directos de los fenómenos eruptivos, que siguiendo a García Acosta [1996, pp. 12-14], constituyen fuentes primarias. Igualmente muchos estudiosos elaboraron teorizaciones, bien a partir de su propia experiencia, bien a través de hechos recogidos por otros autores en fuentes primarias, sobre las causas de los fenómenos volcánicos. Estas fuentes han contribuido al desarrollo de la investigación histórica sobre la actividad eruptiva en Hispanoamérica [PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, 2013] y pueden constituir unas herramientas útiles para poder indagar cuál ha sido la evolución de los modelos explicativos de la comunidad de estudiosos americanos acerca de las causas últimas de estos eventos y el intercambio de ideas científicas a ambos lados del continente.

Desde un primer momento se puso de manifiesto la familiaridad de los recién llegados con los fenómenos eruptivos, de los que en no pocos casos tendrían un conocimiento directo previo a partir de los volcanes europeos. Pronto desbordados por la intensidad, abundancia y majestuosidad de los cráteres americanos, los primeros estudiosos recurrieron a su propio bagaje cultural para explicar la singularidad americana, invocando la autoridad en la materia de Aristóteles, Plinio o Séneca. Será José de Acosta el que conjugue las teorías hasta entonces clásicas con el reconocimiento de la distintiva realidad de la naturaleza del Nuevo Mundo, que Acosta asocia a la abundancia de cavernas y oquedades en el continente americano.

Con el siglo XVII la llegada de los jesuitas, con una tradición investigadora consolidada en Europa, supuso la difusión en América de las teorías organicistas. Los jesuitas americanos pudieron tener conocimiento directo de Kircher a través de las bibliotecas de la Orden en América y el propio Kircher fue un conocedor del vulcanismo en el Nuevo Mundo. Se estableció un intercambio de conocimientos muy útil tanto para los teóricos que establecían modelos globales para el funcionamiento de la Tierra, como para los misioneros, viajeros o curiosos que presenciaban de primera mano tales eventos.

Durante la primera mitad del siglo XVIII la América colonial española contempló el cambio del paradigma organicista y su sustitución por los presupuestos de Buffon y Lemery, quedando patente en los escritos de Jorge Juan, Ulloa, Clavijero, Molina o Alzate. Este modelo interpretativo ya no atribuye a un fuego interior del centro de la Tierra el motor del vulcanismo, sino a procesos químicos que tienen lugar cerca de la superficie terrestre, debidos a la reacción entre el agua procedente del deshielo de las elevadas cumbres americanas con los abundantes minerales de azufre presentes en su subsuelo.

La aparición del Jorullo supuso la oportunidad de estudiar el nacimiento de un volcán, cuestión a la que los autores criollos no fueron ajenos en su quehacer científico. Paralelamente se consolidan las ideas acerca de presencia de grandes conjuntos volcánicos según alineaciones bien definidas a lo largo de las cuales se producen otros fenómenos como el termalismo o los terremotos, ya intuida por López Medel.

Los científicos peninsulares y criollos participaron igualmente en las discusiones teóricas de las primeras escuelas geológicas que se consolidaron en Europa a finales del siglo XVIII, sin limitarse a una mera recepción acrítica de las ideas procedentes del Viejo Mundo. Con matices, las diferentes interpretaciones respecto al origen de los basaltos americanos que hacen Pineda o Del Río recuerdan a las controversias entre los plutonistas de la escuela de Hutton y los neptunistas seguidores de Werner en Europa. Finalmente, los trabajos de Humboldt respecto al vulcanismo americano supusieron la definitiva aceptación del paradigma plutonista, la primera elaboración de un modelo litoestratigráfico a escala terrestre y una contribución a la geología regional del continente en el que se establece una relación entre la dinámica terrestre, el vulcanismo y los terremotos, confirmada más de 150 años después por la moderna Tectónica de Placas. El propio Humboldt consultó las fuentes criollas o a los más respetados científicos de la región, como el abate Molina, a la hora de elaborar sus teorías sobre la geología del continente americano.

Durante todo este proceso, a lo largo de tres siglos, se estableció un diálogo científico provechoso para ambos continentes y se puso de manifiesto la importancia del territorio americano y de los científicos que desarrollaron allí su actividad en el establecimiento de las bases de las modernas geología y vulcanología.

NOTAS

1. La cuestión sobre las interpretaciones de los indígenas acerca de los fenómenos volcánicos o del origen de la Tierra, aun siendo una materia extraordinariamente interesante, excede los objetivos de este trabajo. Este tema es abordado por Petit-Breuilh Sepúlveda [2006].

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, J. (1590) *Historia natural y moral de las Indias*. Sevilla, Juan de León. Edición de José Alsina Franch [<http://www.artehistoria.com/v2/contextos/12553.htm>].
- AGUILAR, H. (2011) “Los misioneros jesuitas y su relación con la naturaleza sudamericana”. *Boletín Biológica*, 21, 21-26.
- ALSINA CALVÉS, J. (2006) *Historia de la Geología*. 1ª ed., Barcelona, Montesinos.
- ALVARADO, G. (2011) *Los volcanes de Costa Rica: geología, historia, riqueza natural y su gente*. Costa Rica, EUNED.
- ALVARADO, G. y SCHMINCKE, H.U. (2013) “The 1723 A.D. Violent Strombolian and Phreatomagmatic Eruption at Irazú Volcano, Costa Rica”. *Rev. Geol. Amer. Central*, 48, 41-61.
- ALZATE Y RAMÍREZ, J.A. (1980) *Obras I. Periódicos. Diario Literario de México. Asuntos varios sobre ciencias y artes. Observaciones sobre la física, historia natural y artes útiles*. México, Universidad Nacional Autónoma de México [PASTOR, 2014, pp. 117-118].
- AMADOR, F. (2004) “Los “Volcanes” de Nicholas Lemery (1645-1715)”. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 12(3), 253-259.
- BARRERO, A. (2004) “El aporte de Aristóteles a la Meteorología”. *Meteorol. Colomb.* 8, 107-113. [http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero08/08_13.pdf].
- CAPEL, H. (1980) “Organicismo, fuego interior y terremotos en la ciencia española del siglo XVIII”. *Geocrítica*, 27-28, 1-91 [<http://www.ub.edu/geocrit/geo27-28.htm>].
- CÁRDENAS, J. (1591) *Primera parte de los problemas y secretos maravillosos de las Indias, compuesta por Juan de Cárdenas, médico*. México, Juan de Ocharte [<http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000048991&page=1>].
- CARRACEDO, J.C.; RODRÍGUEZ BADIOLA, E.; PÉREZ TORRADO, F.J.; HANSEN, A.; RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, A.; SCAILLET, S.; GUILLLOU, H.; PATERNE, M.; FRA PALEO, U. y PARIS, R. (2007) “La erupción que Colón vio en la Isla de Tenerife (Islas Canarias)”. *Geogaceta*, 41, 39-42.
- CARREÓN NIETO, M.C. (2002) “Un castigo divino; el volcán de Jorullo”. *Tzintzun, Revista de Estudios Históricos*, 35, 37-64.
- CHARRIER, R. y HERVÉ, F. (2011) “El abate Juan Ignacio Molina: una vida dedicada a la historia natural y civil del reino de Chile”. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 68(3), 445-463.
- CERVANTES DE SALAZAR, F. (1971) *Crónica de la Nueva España*. Madrid, Atlas. Edición de Manuel Magallón [<http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/cronica-de-la-nueva-espana--0/html/>].
- CIEZA DE LEÓN, P. (1553) *La Crónica del Perú. El señorío de los incas*. Colección “Clásica”, 226. 1ª ed., Caracas, Biblioteca Ayacucho.
- CLAVIJERO, F.J. (1844) *Historia antigua de México y de su conquista: sacada de los mejores historiadores españoles y de los manuscritos y pinturas antiguas de los indios traducida del italiano por J. Joaquín de Mora*. México, Imprenta de Lara [<http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080023605/1080023605.html>].

- CRUZ REYNA, S.; QUEZADA, J.L.; PEÑA, C.; CEPEDA, O. y SÁNCHEZ, T. (2001) *Las cenizas volcánicas del Popocatepetl y sus efectos para la aeronavegación e infraestructura aeroportuaria*. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Instituto de Geofísica, Universidad Autónoma de México
[<http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/parte1.pdf>].
- DE LA HAYA, D. (1852) “La actividad del volcán Irazú en 1723”. *La Gaceta (Diario Oficial de Costa Rica)*, 175-177 [ALVARADO y SCHMINKE, 2013, pp. 44-47].
- DEL RÍO, A.M. (1799) “Discurso sobre los volcanes, leído en el Real Seminario de Minería de México e impreso en la Gazeta de México de 11 de noviembre de dicho año”. *Anales de Historia Natural*, 6(2), 335-350 [http://simurg.bibliotecas.csic.es/viewer/image/CSIC000102953_V06/93/LOG_0012/].
- DÍEZ CANSECO, L.C. (1996) “Una aproximación a la concepción andina de los desastres a través de la crónica de Guamán Poma, siglo XVII”. En: V. García Acosta (ed.) *Historia y Desastres en América Latina*, vol. I. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 101-122 [http://www.desenredando.org/public/libros/1996/hydv1/HistoriaYDesastresVol_I-1.0.0.pdf].
- ELLIOTT, J. (2011) *El viejo mundo y el nuevo, 1492-1650*. Colección “El libro de bolsillo: Humanidades/Historia”, 4185. Madrid, Alianza Editorial. 1ª reimpresión de la primera ed., 2000.
- ELLENBERGER, F. (1989) *Historia de la Geología, vol. I. De la Antigüedad al siglo XVII*. 1ª ed., Barcelona, Ed. Labor.
- FERNÁNDEZ DE OVIEDO, G. (1855) *Historia natural y general de las Indias, islas, y tierras firmes del mar océano*. Tercera parte, Tomo IV. Madrid, Real Academia de la Historia [http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/historia-general-y-natural-de-las-indias-islas-y-tierra-firme-del-mar-oceano-tercera-parte-tomo-iv--0/html/015fb51a-82b2-11df-acc7-002185ce6064.htm].
- FINDLEN, P. (2008) “De Asia a las Américas: las visiones enciclopédicas de Athanasius Kircher y su recepción”. En: E. Corsi (ed.) *Órdenes religiosas entre América y Asia: ideas para una historia misionera de los espacios coloniales*. 1ª ed., México D.F., El Colegio de México, 105-142.
- GALERA GÓMEZ, A. (1988) *La Ilustración española y el conocimiento del Nuevo Mundo. Las Ciencias Naturales en la Expedición Malaspina: La labor científica de Antonio Pineda*. 1ª ed., Madrid, CSIC.
- GARCÍA ACOSTA, V. (1996) “El estudio histórico de los desastres”. En: V. García Acosta (ed.) *Historia y Desastres en América Latina*, vol. I. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 5-22.
[http://www.desenredando.org/public/libros/1996/hydv1/HistoriaYDesastresVol_I-1.0.0.pdf].
- GARCÍA CASCO, A. (2011) “Desarrollo histórico de la Geología”.
[http://www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/].
- GUEVARA-MURÚA, A.; WILLIAMS, C.A.; HENDY, E.J.; RUST, A.C. & KASHMAN, K.V. (2014) “Observations of a stratospheric aerosol veil from a tropical volcanic eruption in December 1808; is this the Unknown ~circa 1809 eruption?”. *Climate of the Past* 10, 1707-1722 [DOI: 10.5194/cp-10-1707-2014].
- HUMBOLDT, A. (1875) *Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo*. Tomo II. Sevilla, Biblioteca Hispano-Sur Americana.

- JUAN Y SANTACILIA, J. y ULLOA Y DE LA TORRE-GIRALT, A. (1748) *Relación Histórica del Viage a la América Meridional*. Segunda parte, Tomo tercero. Madrid, Imprenta de Marín [http://alfama.sim.ucm.es/dioscorides/consulta_libro.asp?ref=B19202088&idioma=0].
- JULIVERT, M. (2014) *Una historia de la geología en España*. 1ª ed., Barcelona, Universidad de Barcelona.
- KUHN, T. (2004) *La estructura de las Revoluciones Científicas*. 1ª ed., México, Fondo de Cultura Económica. Octava reimpresión de la primera ed. en castellano, 1971 [http://www.conductitlan.net/libros_y_lecturas_basicas_gratuitos/t_s_kuhn_la_estructura_de_las_revoluciones_cientificas.pdf].
- LANDÍVAR, R. (2001) *Rusticatio mexicana*. Guatemala, Universidad Rafael Landívar. Edición crítica bilingüe de Faustino Chamorro. [<http://www.url.edu.gt/PortalURL/Biblioteca/Contenido.aspx?o=5769&s=49>].
- LLANO Y ZAPATA, J.E. (1748) *Carta o diario que escribe don José de Llano y Zapata a su más venerado amigo el dr. Don Ignacio Quiroga Deza... en que le da cuenta de todo lo acaecido en esta capital del Perú desde el viernes 28 de octubre de 1746*. Madrid, Imprenta de Juan de Zúñiga. [<http://fondosdigitales.us.es/fondos/libros/1519/5/carta-o-diario-que-escribe-d-joseph-eusebio-de-llano-y-zapata-a-su-mas-venerado-amigo-y-docto-correspondiente-el-doctor-don-ignacio-chirivoga-y-daza-en-que-da-cuenta-de-todo-lo-acaecido-en-esta-capital-de-el-peru/>].
- LÓPEZ DE AZCONA, J.M. (1981) “La geología en el mundo hispánico hasta la muerte de George Cuvier (1762-1832)”. *Boletín Geológico y Minero*, 92(3), 70-74.
- LÓPEZ MEDEL, T. (1990) *De los Tres Elementos. Tratado sobre la Naturaleza y el hombre del Nuevo Mundo*. Madrid, Alianza Editorial. Edición de Berta Ares Quejía.
- MARSILLI, M.N. (2011) “Volcanes locuaces e inextinguible fuego interior: la erupción del Huaynuyputina en 1600 en la narrativa jesuítica”. En: A. Coello de la Rosa y P. Hampe Martínez (eds.) *Escritura, imaginación política y la Compañía de Jesús en América Latina (XVI-XVIII)*. 1ª ed., Barcelona, Ed. Bellaterra, 265-289.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E. (1995) “Aproximación a la primera imagen geográfica de América”. *Polígonos*, 5, 33-48.
- MINGUET, CH. (2003) *Alejandro de Humboldt, historiador y geógrafo de la América Española (1799-1804)*. México D.F., Universidad Autónoma de México. Traducción de Jorge Padín Videla de la segunda ed. en francés, 1997.
- MOLINA, J.I. (1987) *Ensayo sobre la Historia Natural de Chile*. Ediciones Maule, Santiago de Chile [CHARRIER y HERVÉ, 2011, pp. 455-456].
- MOLINA, J.I. (2011) *Compendio de la historia geográfica y natural del reyno de Chile* (fragmento). *Anales de la Universidad de Chile*, 1(Serie 7), 155-158 [doi:10.5354/0717-8883.2011.12257].
- MUSSET, A. (1996) “Mudarse o desaparecer. Traslado de ciudades hispanoamericanas y desastres (ss. XVI-XVIII)”. En: V. García Acosta (ed.) *Historia y Desastres en América Latina*, vol. I. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 23-45. [http://www.desenredando.org/public/libros/1996/hydv1/HistoriaYDesastresVol_I-1.0.0.pdf].
- ORDÓÑEZ, J.; NAVARRO, V. y SÁNCHEZ-RON, J.M. (2013) *Historia de la Ciencia*. 8ª ed., Madrid, Espasa.
- ORREGO G.F. (2015) “El *Mundus Subterraneus* de Juan Ignacio Molina o el geólogo como economista”. *Asclepio*, 67(2), 112. [<http://dx.doi.org/10.3989/asclepio.2015.30>].

- OTTONE, E.G. (2008) “José Sánchez Labrador (1717-1798) y la Geología del Paraguay Natural”. En: F.G. Aceñolaza (ed.) *Historia de la Geología Argentina I. Serie “Correlación Geológica”, 24. 1ª ed.*, Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica, 43-54.
- PASTOR, M. (2014) “Los temblores de tierra en el organicismo novohispano”. *Iberoamericana*, 14(55), 105-120.
- PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, M.E. (2006) *Naturaleza y Desastres en Hispanoamérica: La visión de los indígenas*. Madrid, Sílex Universidad.
- PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, M.E. (2007) “La concepción científica de la dinámica terrestre en los Cronistas de Indias”. En: F. Navarro Antolín (ed.) *Orbis incognitus: avisos y legajos del Nuevo Mundo: Homenaje al profesor Luis Navarro García*, vol. I. Universidad de Huelva, 405-421.
- PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, M.E. (2013) “La investigación histórica sobre los volcanes de la Edad Moderna en Iberoamérica”. En: A. Alberola Romá (ed.) *Clima, naturaleza y Desastre: España e Hispanoamérica durante la Edad Moderna*. Valencia, Universidad de Valencia, 169-192.
- PERALDO HUERTAS, G. y MONTERO POHLY, W. (1996) “La secuencia sísmica de agosto a octubre de 1717 en Guatemala. Efectos y respuestas sociales”. En: V. García Acosta (ed.) *Historia y Desastres en América Latina*, vol. I. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 227-250 [http://www.desenredando.org/public/libros/1996/hydv1/HistoriaYDesastresVol_I-1.0.0.pdf].
- PUCHE RIART, O. y AYALA CARCEDO, F.J. (1993) “La «Orygthología» de Juan José Elhúyar (1754-1796) y la «Oritognosia» de Andrés Manuel del Río (1764-1849), primeros tratados geológicos, escritos por españoles en América”. *Boletín Geológico y Minero*, 104(1), 72-112.
- ROSALES, D. (2011) *Historia general del reino de Chile, flandes indiano* (fragmento). Anales de la Universidad de Chile, 0(1), 147-153 [doi:10.5354/0717-8883.2011.12255].
- SÁNCHEZ, G. (2001) “El Jorullo. Nacimiento y evolución de un volcán”. En: J.E. Zárate Hernández (ed.) *La Tierra caliente de Michoacán*. 1ª ed., Michoacán, El Colegio de Michoacán, 343-362.
- SÁNCHEZ LABRADOR, J. (1771) *Paraguay Natural. Ilustrado. Noticias del pais, con la explicación de phenomenos physicos generales y particulares: usos útiles, que de sus producciones pueden hacer varias artes. Parte Primera, contiene los libros siguientes. I. Diversidad de tierras, y cuerpos terrestres. II. Agua, y varias cosas a ellas pertenecientes. III. Ayre, vientos, estaciones del año, clima de estos paises, y enfermedades más ordinarias*. Ravenna, Manuscrito inédito [OTTONE, 2008, pp. 51-52].
- SEQUEIROS, L. (2001a) “El Geocosmos de Athanasius Kircher”. *Llull*, 24, 755-807.
- SEQUEIROS, L. (2001b) “Popper y Kuhn: veinte años después. Reflexión didáctica en el centenario (1902-2002) del nacimiento de Karl R. Popper”. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(1), 2-11.
- SEQUEIROS, L. (2002) *La extinción de las especies biológicas. Construcción de un paradigma científico*. Zaragoza. Academia de Ciencias Exactas, Químicas, Físicas y Naturales [<http://www.unizar.es/acz/05Publicaciones/Monografias/MonografiasPublicadas/Monogr21.pdf>].
- SEQUEIROS, L. (2010) *De Jose de Acosta a Gaia*. Bubok ediciones [http://www.bubok.es/downloads/download_gratis?book=MTcyMzYzLTIwMTYwNzE5LQ==&tipo_portada=6].

- SEQUEIROS, L. (2012) “Las propuestas de Thomas S. Kuhn siguen vivas después de medio siglo”. *Tendencias*, 21(16 de febrero) [http://www.tendencias21.net/Las-propuestas-de-Thomas-S-Kuhn-siguen-vivas-despues-de-medio-siglo_a10016.html].
- SEQUEIROS, L. y PEDRINACI, E. (1999) “De los volcanes de Kircher a la Gaia de Lovelock”. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7(3), 187-193.
- SOLÉ SABARÍS, L. (1983) “Diario inédito del geólogo catalán Carlos de Gimbernat”. *Llull*, 5, 111-131.
- SOTO, G. (2015) “Los Plinius, la Campania romana y las erupciones plinianas”. *Revista de Humanidades*, 5(2), 1-58 [DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/h.v5i2.21209>].
- TILLING, R.I. (2009) “Volcanism and associated hazards: the Andean perspective”. *Advances in Geosciences*, 22, 125-137.
- TROLL, C. (1960) “La misión científica de Alejandro de Humboldt”. *Conferencias leídas en la Academia en los días 18 y 22 de octubre de 1959 con motivo del fallecimiento de Alejandro de Humboldt*, 13-45. Madrid, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales [MINGUET, 2003, p. 638].
- URQUIJO TORRES, P.S. (2010) *Humboldt y el Jorullo. Historia de una exploración*. 1ª ed., México D.F., Universidad Autónoma de México-Instituto Nacional de Ecología-Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán.
- VIRAMONTE, J.G. & INCER-BARQUERO, J. (2008) “Masaya, the “Mouth of Hell”, Nicaragua: Volcanological interpretation of the myths, legends and anecdotes”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176, 419-426.
- VILLASECA GONZÁLEZ, C. (2004) “La descripción de la actividad volcánica en los Historiadores de Indias: Masaya 1525-1551 (Nicaragua), Agua 1541 (Guatemala) y Huaynaputina 1600 (Perú)”. *Geotemas*, 6(4), 77-80.
- VILLASECA GONZÁLEZ, C. (2015) “Observaciones geológicas en el *Compendio y descripción de las Indias occidentales* (c. 1629) de Antonio Vázquez de Espinosa”. En: F.A. González Redondo (ed.) *Ciencia y Técnicas entre la Paz y la Guerra, 1714, 1814, 1914*. Madrid, SEHCYT, 917-923.
- ZERPA RODRÍGUEZ, H. (2016) “La obsidiana en la investigación de los volcanes europeos e hispanoamericanos (1735-1799)”. *Letras Históricas*, 14, 51-86.