



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE HISTORIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**OPCIÓN
HISTORIA REGIONAL CONTINENTAL**

**TESIS: CIENCIAS DE LA TIERRA EN MÉXICO (1846-1906).
TEORÍA Y PRÁCTICA CIENTÍFICA**

**PRESENTA:
LAURA VALDIVIA MORENO**

**PARA OBTENER ELGRADO DE:
MAESTRA EN HISTORIA**

CON OPCIÓN EN HISTORIA REGIONAL CONTINENTAL

**DIRECTOR DE TESIS:
DOCTOR EN HISTORIA JOSÉ ALFREDO URIBE SALAS**

MORELIA, MICHOACÁN, AGOSTO DE 2013



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Tesis

Que presenta: Laura Valdivia Moreno, estudiante de la Maestría Institucional en Historia con especialidad en Historia Regional Continental, asociado al Cuerpo Académico-47 Historia de América, vinculada a la Línea de Generación y aplicación del conocimiento que cultiva el Dr. José Alfredo Uribe Salas: Historia de la Ciencia y la Tecnología.



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Morelia, Michoacán, agosto de 2013

*A mis padres, que me enseñaron
el camino de los libros*

*A Lalo y Ani, por las horas
que les robé*

*A los doctores María Teresa
Cortés, Jorge Silva y José
Alfredo Uribe*

ÍNDICE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Agradecimientos | 6 |
| Introducción | 8 |
| CAPÍTULO I. LAS CIENCIAS DE LA TIERRA DURANTE EL SIGLO XIX | 28 |
| Introducción | 28 |
| 1.1 El uniformismo como elemento de ruptura con el Antiguo Régimen | |
| Régimen | 29 |
| 1.1.1 La Tierra en el Antiguo Régimen | 29 |
| 1.1.2 La geología como ciencia autónoma | 40 |
| 1.2 Catastrofismo y uniformismo en la mesa de debate | 47 |
| 1.2.1 Uniformistas <i>versus</i> catastrofistas | 47 |
| 1.2.2 El uniformismo como método para el geólogo moderno | 55 |
| | |
| CAPÍTULO II. EL ESTUDIO DE LA GEOLOGÍA EN MÉXICO DURANTE EL SIGLO XIX | |
| Introducción | 62 |
| 2.1 La enseñanza de la Geología en México | 64 |
| 2.1.1 Andrés del Río | 66 |
| 2.1.2 Mariano Bárcena | 74 |
| 2.2 Trabajos geológicos en México | 78 |
| 2.2.1 Primeros trabajos | 79 |
| 2.2.2 Antonio del Castillo | 84 |
| | |
| CAPÍTULO III. EXCURSIONES Y EXPLORACIONES. ENTRE LA TEORÍA Y LA PRÁCTICA | 90 |
| Introducción | 90 |
| 3.1 El estudio de las cavernas | 91 |
| 3.1.1 Cacahuamilpa | 93 |
| 3.1.2 Primeras exploraciones de carácter científico | 94 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2 Un debate sobre la edad de la Tierra | 96 |
| 3.2.1 Presentación de trabajos sobre Cacahuamilpa en la SMGE | 98 |
| 3.2.2 Expediciones posteriores | 108 |
| Conclusiones | 114 |
| Bibliografía | 120 |
| Anexo | 139 |

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación, como todo trabajo académico, es la suma de una serie de esfuerzos individuales y colectivos. El hecho de haber llegado a buen fin en esta tesis de Maestría es el resultado de la beca que me otorgó el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) para desarrollar y concluir el programa de Maestría y la presente tesis.

Al mismo Consejo, agradezco el haberme apoyado con una beca complementaria, en el marco del Programa para el Fomento, la Formulación, el Desarrollo y la Consolidación de científicos y tecnólogos y de recursos humanos de alto nivel, para realizar una estancia en el Instituto de Historia del Centro de Ciencias Humanas y Sociales del Consejo Superior de la Investigación Científica (CSIC) ubicado en Madrid, España, del 1º de noviembre al 1º de diciembre de 2012, bajo la asesoría de los doctores Miguel Ángel Puig-Samper y Francisco Pelayo. Actividad que me permitió realizar esta investigación.

Mi reconocimiento y afecto sincero a los profesores del programa de posgrado, que con sus valiosas opiniones, comentarios y críticas, vertidas durante los seminarios de investigación y tesis, supieron llevarme por la senda correcta durante dos años en mi formación académica. Particularmente agradezco al doctor José Alfredo Uribe Salas, director de esta Tesis, por el intenso apoyo académico y moral brindado a lo largo de este trabajo, así como por la confianza depositada en mi persona. En iguales términos reitero mi gratitud con los doctores Miguel Ángel Puig-Samper y Francisco Pelayo, co-tutores extranjeros durante mi estancia en el Instituto de Historia del Centro de Ciencias Humanas del CSIC, por sus puntuales comentarios y recomendaciones académicas, por las atenciones que tuvieron hacia mi persona y su cordialidad. Reconozco de igual manera a mis lectores y sinodales: Dr. Gerardo Sánchez Díaz, Dr. Jorge Silva Riquer, Dra. Luz Fernanda Azuela Bernal y Dra. María Teresa Cortés Zavala. Los comentarios realizados al presente trabajo fueron fundamentales para su enriquecimiento.

Hago público mi reconocimiento a las instituciones internacionales, nacionales y locales que me abrieron sus puertas y me permitieron consultar su

acervo hemerográfico y bibliográfico. En primer lugar quiero referirme a la Biblioteca particular del Dr. José Alfredo Uribe Salas, quien generosamente me proporcionó extensa literatura sobre el tema. En segundo lugar al Archivo Histórico y a la Biblioteca “Ing. Antonio M. Anza”, del Palacio de Minería, donde pude consultar diferentes documentos como las revistas científicas de la segunda mitad del siglo XIX, así como libros de texto de ese mismo periodo; a la Biblioteca del Archivo General de la Nación; a la Biblioteca “Tomás Navarro Tomás”, del Centro de Ciencias Humanas del CSIC. De igual forma, a la Biblioteca Central, a la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra y a la Biblioteca de la Facultad de Geografía “Antonio García Cubas”, todas éstas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Asimismo, a la Biblioteca “Lázaro Cárdenas” de la Facultad de Historia, y a la Biblioteca “Luis Chávez Orozco”, del Instituto de Investigaciones Históricas, ambas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).

Aprovecho para hacer extensiva mi gratitud a mis compañeros de Maestría, por los alientos y la amistad brindados. Por último, reitero mi profundo reconocimiento al Dr. José Alfredo Uribe Salas, quien con profesionalismo y gran calidad moral, guió la preparación de este trabajo y supo apoyarme en los momentos más difíciles de la investigación. Para usted mi respeto y total admiración.

Finalmente, quiero hacer manifiesto mi cariño y gratitud a mis padres y hermanos, cuyo apoyo moral fue determinante para el buen logro de este trabajo. De la misma forma, dedico esta tesis a mis hijos, Rafael y Ana Laura Juárez Valdivia, sin su paciencia no habría sido posible obtener los resultados logrados. A ellos les agradezco todo el amor y las alegrías que han traído a mi vida.

INTRODUCCIÓN

Los científicos dedicados en las diversas áreas del conocimiento al estudio de la naturaleza se han enfrentado a lo largo del desarrollo histórico de su ciencia al encuentro con la complejidad: esa imagen externa y perceptible del planeta, que trataron de comprender y explicar de manera científica sobre todo a partir del siglo XIX, cuando ya se contaba con un bagaje suficiente de conocimientos en las llamadas *Ciencias de la Tierra*, así como con hombres preparados en estas disciplinas y un sistema de comunicación de las teorías, a través de publicaciones y foros científicos como sociedades, academias, universidades y ateneos.

En el caso de la Geología, si bien su demarcación como ciencia no es producto de un hecho aislado como el desarrollo de una teoría que le sirviera de paradigma¹ –no se deben olvidar los aspectos sociales, económicos, políticos y culturales–,² investigadores de la ciencia coinciden con que el punto de partida de la organización de estos saberes fueron los trabajos de Abraham Gottlob Werner y de James Hutton, a finales del siglo XVIII, y que su consolidación se logró en la tercera década del siglo XIX con la publicación de *Principles of Geology*, de Charles Lyell.³

Werner desarrolló la teoría neptunista, que intentaba dar una explicación global a los fenómenos terrestres a partir de la consideración de que todas las rocas tenían origen marino y habían sido formadas por precipitación y

¹ Para Thomas Kuhn una ciencia se constituye como tal hasta que tiene conformado un cuerpo común de creencias –esto es, hasta que posee un paradigma propio–. Kuhn, Thomas, *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica, 2007, pp. 80-87.

² Guntau, Martin, “The Emergence of Geology as a Scientific Discipline”, en: *Hist. Sci.* XVI, 1978, pp. 280-290, disponible en Biblioteca Digital de Física y Astronomía, División de Astrofísica de Alta Energía, Centro Harvard-Smithsoniano para Astrofísica, Sistema de Datos de Astrofísica de la NASA, en: <http://www.adsabs.harvard.edu/> (fecha de consulta: 22 de enero de 2012); Azuela Bernal, Luz Fernanda, *De las minas al laboratorio, la demarcación de la Geología en la Escuela Nacional de Ingenieros (1795-1895)*, México, Instituto de Geografía, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2005, p. 7.

³ Abraham Gottlob Werner (1749-1817) fue un afamado profesor de mineralogía en la Escuela de Freiberg, que postuló la teoría neptunista, en la que se profundizará más adelante. El británico James Hutton (1726-1797), en su libro *Theory of the Earth* publicado en 1788, desarrolló una teoría que se denominó plutonismo y que es considerada como precursora del uniformismo de Charles Lyell (1797-1875). Pelayo, Francisco, *Las teorías geológicas y paleontológicas durante el siglo XIX*, Madrid, Ediciones Akal, Universidad La Coruña, 1991, p. 11.

sedimentación, en una época en que la Tierra habría estado cubierta por agua.⁴ Hutton, en cambio, consideraba que había rocas, como los basaltos, que debían su origen a la consolidación de lava producto de erupciones volcánicas, por lo cual su teoría se denominó “plutonista”.⁵ Estas diferencias ocasionaron una discusión en Europa que abarcó el periodo de 1790 a 1810, pero predominó la visión de Hutton, al encontrarse evidencia empírica para sostenerla.⁶

En 1830 inició otro debate en lo que respecta a las Ciencias de la Tierra: el suscitado entre catastrofistas y uniformistas.⁷ Los primeros postulaban que la corteza terrestre debía su conformación a violentos y repentinos cataclismos, en tanto que para los segundos, el mundo cambiaba muy lentamente, mediante ciclos que se repetían de igual manera y con la misma intensidad. Esta última teoría se considera un parteaguas en la historia de la Geología, de magnitud tal que Charles Lyell –su principal exponente– ha sido considerado el fundador de la moderna ciencia geológica.⁸

En el periodo que duró esta discusión, los geólogos europeos y norteamericanos que trataron de dar explicación a determinados aspectos geológicos, como la formación de las montañas, la erupción de los volcanes o el origen de los terremotos, se alinearon a una u otra teoría y participaron en la discusión. Poco a poco el uniformismo se difundió e incorporó a los estudios de las Ciencias de la Tierra.

⁴ Del dios griego de las aguas: Neptuno. Véase Pelayo, *op. Cit.*, pp. 11-14.

⁵ Plutonista porque esta palabra se deriva del dios griego del fuego: Plutón. Véase Pelayo, *ibidem*.

⁶ Uribe Salas, José A. y María T. Cortés Zavala, “Andrés del Río, Antonio del Castillo y José G. Aguilera en el desarrollo de la ciencia mexicana del siglo XIX”, *Revista de Indias*, 2006, vol. LXVI, núm. 237, pp. 491-518.

⁷ Uniformitarismo y uniformismo pueden usarse como sinónimos, la diferencia se debe solamente a que este último término es más eufónico. Véase: Alsina Calvés, José, “Lyell y la Geología”, p. 10, [gobiernodecanarias.org](http://www.gobiernodecanarias.org) (Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia), en: http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/fundoro/archivos%20adjuntos/publicaciones/actas/actas_17/06.pdf (fecha de consulta: 25 de julio de 2012).

⁸ Véase, por ejemplo: José Manuel Sánchez Ron, “Nota preliminar”, en: Lyell, Charles, *Elementos de Geología*, edición de José Pedro Calvo Sorando (trad. castellana por Joaquín Ezquerro del Bayo, Crítica, Barcelona, 2011, p. VIII). Para Thomas Kuhn, los *Principios* de Lyell contienen el primer paradigma geológico. Véase: Kuhn, *La estructura...*, p. 70.

Para el caso de México, el ritmo histórico de este debate no corresponde con el europeo, puesto que se prolongó hasta finales del siglo XIX.⁹ Además, el paso de las teorías wernerianas al uniformismo fue un proceso lento cuyo antecedente es la llegada a la Nueva España de Andrés del Río, en 1794, para impartir la clase de Mineralogía (u Orictognosia) en el Real Seminario de Minería. Este proceso se desarrolló durante la segunda mitad del siglo XIX por los ingenieros que fungieron como los primeros geólogos mexicanos, entre los que destacan Antonio del Castillo, Santiago Ramírez, José G. Aguilera, Mariano Bárcena y Ezequiel Ordóñez.¹⁰

Si bien se conoce que la aceptación del uniformismo fue un tránsito lento entre paradigmas, aún no hay estudios sobre su introducción epistemológica en el contexto mexicano, de modo que es válido preguntarse: a partir de su conocimiento, ¿en qué se modificó la selección de contenidos para la enseñanza de la Geología o el campo de prácticas?; ¿los científicos de este país se hicieron nuevas preguntas de investigación a partir de sus postulados?; y ¿cómo permearon estas teorías la discusión entre geólogos?

Para dar respuesta a las anteriores interrogantes, la presente tesis de maestría tiene como propósito general la revisión de la actividad de los geólogos mexicanos en la segunda mitad del siglo XIX, particularmente desde el año de 1846, cuando Antonio del Castillo fue nombrado sustituto de Andrés del Río en la cátedra de Mineralogía –y comenzó a deslindarse de la teoría werneriana para asumir los principios de Charles Lyell¹¹–, hasta 1906, año en que se llevó a cabo el X Congreso Geológico Internacional, con sede en México.¹²

⁹ Si bien es lógico hasta cierto punto este desfase entre el llamado *centro* y la *periferia*, el estudio de la teorización que hacían los mexicanos y su práctica geológica puede arrojar mayor luz sobre el tema. Véase Trabulse, Elías, *Arte y ciencia en la historia de México*, México, Fomento Cultural Banamex, 1995, pp. 36-37.

¹⁰ De Cserna, Zoltán, en: “La evolución de la Geología en México (1500-1929)”, en: *Revista del Instituto de Geología de la UNAM*, vol. 9, núm. 1, 1990, pp. 1-20.

¹¹ Uribe Salas, José A. y María T. Cortés Zavala, *Andrés del Río...*, pp. 500-501.

¹² Sobre este Congreso pueden verse las obras de Ezequiel Ordóñez, en particular el primer tomo que Rubinovich imprimió, con un estudio preliminar de su autoría. Véase: Rubinovich, Raúl, “Estudio preliminar”, en: Rubinovich, Raúl y María Lozano (comp.), *Ezequiel Ordóñez, vida y obra (1867-1950)*, primera edición, El Colegio Nacional, 1998, 315 p.

La utilidad de un estudio sobre el desarrollo de las teorías geológicas en México y su aplicación en la práctica profesional durante la segunda mitad del siglo XIX, radica en que aporta elementos para comprender la forma como la ciencia mexicana avanzó en su interior y socialmente. Lo anterior permite observar el comportamiento de los científicos que vivieron en esa época, que se plantearon problemas derivados de esta discusión y que se afiliaron a una u otra teoría, y a ciertas redes.

Para adentrarse en el tema se partió de una revisión historiográfica, gracias a la cual se observó que son varias las discusiones sobre la historia de la Geología, algunas cuyas fronteras se pierden entre la filosofía y la historia de la ciencia. Una de ellas es sobre su establecimiento como ciencia independiente. Las diferentes posturas coinciden con que esto se dio en la segunda mitad del siglo XVIII, e incluso hay quienes consideran como fecha de partida el año de 1775, cuando Abraham Gottlob Werner comenzó a impartir clases en la Escuela de Freiberg, Sajonia.

Para otros, como Donald B. McIntyre “antes de Hutton, la Geología no existía”. Aún así, reconoce su emergencia entre 1775 y 1825, y su consolidación con el libro *Principles of Geology*, de Charles Lyell, en 1830-1833.¹³ Acepta el neptunismo de Werner como aporte pero sigue el criterio de los historiadores de habla inglesa que consideran al británico James Hutton como su fundador, en oposición a estudiosos continentales y particularmente alemanes, para quienes el neptunismo de Werner representa la primera sistematización del conocimiento geológico, así como los rusos ven en los trabajos de Lomonosov, el principio de esta rama del saber.¹⁴

¹³ McIntyre, Donald B., “James Hutton y la Filosofía de la Geología”, en: Albritton Jr., C. C. (ed.), *Filosofía de la Geología*, México, Cía. Editorial Continental, 1ª edición en español, 1970, pp. 11-24. El libro editado por la Sociedad Americana de Geología con motivo del 75 aniversario de su fundación, *Filosofía de la Geología*, aborda aspectos que han sido recurrentes en el siglo XX, entre los cuales destacan: Bradley, W. H., “Leyes geológicas”, pp. 25-38; Kitts, D. B. “Teoría de la Geología”, pp. 71-94; Woodford, A. O., “Correlación por fósiles”, pp. 103-145; Harrison, J. M., “Naturaleza y significado de los mapas geológicos”, pp. 285-293; Hill, M. L., “Papel de la clasificación en la Geología”, pp. 209-222; Hagner, A. F., “Aspectos filosóficos de las ciencias geológicas”, pp. 295-305.

¹⁴ Guntau, Martin, “The Emergence...”, p. 287 (nota al pie 2).

Los enfoques contemporáneos ven el surgimiento de la Geología como ciencia dentro de un proceso que no puede ser explicado por la sola aparición de una teoría, puesto que interviene una serie de factores. En esta dirección apuntan los ensayos de Martin Guntau, quien después de analizar los diferentes momentos en que el conocimiento geológico se fue definiendo, concluyó con que este proceso “depende de una serie de condiciones que se necesitaron coligar para hacer de la geología una ciencia”¹⁵ (entre ellos, una teoría que adquiriera el rango de paradigma en varios países, que para él fue el neptunismo).

Entre los factores para analizar la historia de la Geología, incluye los aspectos sociales que hicieron necesaria la formación de especialistas en esta disciplina, determinados por “intereses de clase específicos”. También propone el estudio de los cambios cualitativos en esta ciencia, para encontrar los nuevos elementos teóricos de su desarrollo, y el análisis de los roles y las redes de los naturalistas que participaron en este proceso, puesto que con esto se facilitaría entender el reconocimiento y desarrollo de la ciencia dentro de la sociedad.¹⁶

Reijer Hooykaas abordó la historia del uniformismo o uniformitarismo, dado que pese a su importancia, a lo ya escrito, a su significación lógica y su contribución a las ciencias históricas de la naturaleza,¹⁷ ésta no había sido escrita (“L’histoire de l’uniformitarisme ou de l’actualisme n’a jamais été écrite”).¹⁸ Plantea que el debate uniformismo/catastrofismo se vio simplificado a una lucha entre “buenos” y “malos”, en parte gracias a los argumentos que Charles Lyell supo posicionar, en cuanto a que los catastrofistas trataban de hacer *encajar* la realidad a lo que decía la Biblia, y que especulaban en lugar de utilizar métodos empíricos.

Anthony Hallam también insistió en la importancia de distinguir entre método y sistema para evitar las simplificaciones uniformismo/catastrofismo.¹⁹ Por su parte, Francisco Pelayo hizo una revisión metodológica sobre este debate en

¹⁵ *Idem.* (traducción propia).

¹⁶ *Idem.*

¹⁷ Se considera que la geología es una ciencia “histórica”, al igual que la paleontología y las teorías sobre la formación del cosmos y de los seres vivos, en tanto que su conocimiento es particularmente distinto al de la geografía (que utiliza la observación) o la química (que se basa en la experimentación), al tener que reconstruir el pasado por medio de sus reliquias y por analogías con el presente. Hooykaas, *Continuité et discontinuité...*, p. 9.

¹⁸ *Ibidem*, p. 11.

¹⁹ Hallam, Anthony, *Grandes controversias geológicas*, Barcelona, Labor, 1985, 192 p.

España, tras observar que los investigadores habían asumido que con la traducción de los *Elements of Geology* al español en 1847,²⁰ el uniformismo se había aceptado, sin más. Pelayo demuestra que el proceso fue más complejo al observar que el catastrofismo no fue desplazado fácilmente debido, entre otros factores, a la influencia de la vecina Francia, país en el cual estaba más desarrollado este sistema.²¹

En lo que coinciden Reijer Hooykaas, Francisco Pelayo y Anthony Hallam es que esta complejidad se debe a que estaban en juego no solamente sistemas sino también metodologías diferentes. Es decir, entre la postura catastrofista y la uniformista se dieron posiciones intermedias, que tienen que ver con el método utilizado para la investigación geológica y paleontológica. Aunque suelen utilizarse como sinónimos, los términos de actualismo y uniformitarismo (o uniformismo) tienen diferencias:

...el uniformitarismo hace referencia a que los cambios ocurridos en el pasado en la corteza terrestre fueron ocasionados por causas de igual naturaleza e intensidad que las que actúan en el presente. Por actualismo se entiende el que las causas del presente son las mismas que operaron en todas las épocas, sin hacer mención de la energía con la que actuaron. Por tanto, un método actualista puede dar lugar a un sistema catastrofista.²²

El camino que trazó Hooykaas llevó a que otros estudiosos del tema hicieran una revisión del trabajo de Lyell y de su verdadero impacto en la ciencia, como puede verse en el *Simposium The Charles Lyell Centenary Issue*, organizado en Londres en 1975,²³ en el cual se tocaron temas que la ortodoxia geológica no hubiera considerado. Algo fundamental que ha resultado de este trabajo es dimensionar a Charles Lyell como ser humano, con virtudes y defectos, y en su contexto histórico.

²⁰ En lugar de traducir la obra principal de Lyell, *Principles of Geology*, tradujo *Elements of Geology* (conocida también como *Manual of Elementary Geology*), obra que el británico publicó en 1838. Véase: Pelayo, Francisco, "Catastrofismo y actualismo...", pp. 47-68; Alastrué, E., "Lyell en España", en: Ríos, José Ma., *Libro Jubilar 3*, Madrid, 1983, pp. 259-269.

²¹ Pelayo, Francisco, "Catastrofismo y actualismo...", pp. 47-68; *Cfr.* del mismo autor, "Teorías de la Tierra y sistemas geológicos: un largo debate en la Historia de la Geología", en: *Asclepio*, 1996, vol. 48, Núm. 2, pp. 21-52.

²² Pelayo, Francisco, "Catastrofismo y actualismo...", pp. 47-68 (nota 1, p. 66).

²³ El ponente que abrió el Simposium aseguró que el trabajo de los ahí reunidos debía "reapreciar el lugar de Charles Lyell en la historia de la geología". Roy Porter, "Lyell centenary issue", in: *The British Journal of the History of Science*, July 1976, Vol. IX, Part 2, No. 32.

Los trabajos encaminados en la dirección marcada por Hooykaas evidencian que al buscar rupturas entre teorías, en ocasiones las permanencias son pasadas de soslayo. Esto rompe con lo expuesto por Thomas S. Kuhn, quien afirmó que cuando ocurre una revolución en la ciencia y un paradigma es reemplazado por otro, la comunidad científica poco a poco se incorpora al nuevo y reinterpreta sus contenidos para ajustarse al cambio. Y si bien se estableció el uniformismo como paradigma imperante,²⁴ G. G. Simpson recuerda que la discusión ha permanecido en el siglo XX, con los neouniformistas y neocatastrofistas, entre cuyos exponentes están William R. Farrand y Harold E. Lippman, respectivamente.²⁵

Ian Moffat enfrentó las revoluciones de Kuhn con la evolución de Stephen Toulmin y las ramificaciones de Michael J. Mulkay, para construir una propuesta “híbrida” que considera el uniformismo como un paradigma cuyo aspecto temporal puede considerarse producto de una evolución, en tanto que metodológicamente representa una revolución kuhniana porque redefinió los problemas que se habrían de analizar y produjo un cambio en las generalizaciones teóricas fundamentales para los estudios de ciencia “normal”,²⁶ mientras que con la tectónica de placas se dio una revolución en las Ciencias de la Tierra, a través de la ramificación en disciplinas como la Geología y la Geofísica.²⁷

Sobre la historiografía de la ciencia en México, quince años han pasado desde que Luz Fernanda Azuela Bernal y Rafael Guevara Fefer advirtieran la necesidad de darla a conocer.²⁸ Investigadores como Juan José Saldaña, Alberto Soberanis, Gerardo Sánchez, Rosaura Ruiz, José Alfredo Uribe y los propios Luz Fernanda Azuela y Rafael Guevara, entre otros, han recorrido diversos caminos

²⁴ Kuhn, *La estructura...*, p. 70.

²⁵ G. G. Simpson, “La ciencia histórica”, en Albritton, *op. Cit.*, pp. 39-69; Lippman Harold E., “Frozen mammoths” [discussion of paper by W. R. Farrand, 1961], *Science*, v. 137, no. 3528, 1962, pp. 449-450; Farrand, W. R., “Frozen mammoths” [reply to discussion by H. E. Lippman, 1962], *Science*, v. 137, no. 3528, 1962, pp. 450-452.

Después de una revolución científica, para Kuhn la ciencia se desarrolla en forma “normal” en tanto que sigue bajo las directrices planteadas por el paradigma, y contribuye al desarrollo del mismo. Kuhn, *La estructura...*, pp. 88-104.

²⁷ Moffat, Ian, “Paradigmas en geología...”, p. s/n.

²⁸ Azuela y Guevara, “La ciencia en México en el siglo XIX, una aproximación historiográfica”, en: *Asclepio*, vol. L-2-1998, España, pp. 78-79. Disponible en: <http://asclepio.revistas.csic.es> (fecha de consulta: 11 de enero de 2013).

metodológicos para ampliar estos estudios, aunque recientemente han cobrado fuerza los que se apoyan en la historia social y cultural.²⁹

Aunque se ha profundizado en el estudio de la geografía,³⁰ la investigación sobre el devenir geológico ha aumentado gracias a trabajos que abordan aspectos biográficos, de institucionalización y sobre la relación de los geólogos³¹ con el poder, entre otros. Tampoco hay que dejar de lado los esfuerzos de los hombres de ciencia para divulgar este cuerpo de conocimientos,³² puesto que sus obras representan fuentes de primera mano para investigaciones contemporáneas.

Zoltan de Cserna y Luz Fernanda Azuela coinciden en que el contexto histórico es importante para explicar el atraso de la ciencia mexicana.³³ Mientras el primero observó que las obras geológicas debían resolver los problemas conforme se presentaban –como inundaciones en el valle de México, la búsqueda de determinados minerales como oro, plata, carbón o, posteriormente, yacimientos petroleros–, para Luz Fernanda Azuela los estudiosos de la Geología parecían

²⁹ Saldaña, Juan José (coord.), *La casa de Salomón en México, estudios sobre la institucionalización de la docencia y la investigación científicas*, México, UNAM-Facultad de Filosofía y Letras, 2005, p. 410; Soberanis, “Continuidades y discontinuidades...”, pp. 179-214; Sánchez Díaz, Gerardo, “Fierro y armas para la libertad. La ferrería de Coalcomán y la guerra de Independencia”, en: Ruiz, Rosaura et al. (coords.), *Otras armas para la Independencia y la Revolución, ciencias y humanidades en México*, UNAM/UAS/UMSNH/HCH/FCE, 2010, pp. 75-90; Azuela, *De las minas al laboratorio...*, 186 p; Guevara Fefer, Rafael, *Los últimos años de la Historia Natural y los primeros días de la Biología en México* (Colección Cuadernos 35), Instituto de Biología de la UNAM, 2002, 212 p.

³⁰ Omar Moncada se ha centrado en el estudio de la geografía mexicana y los ingenieros que se dedicaron a dicha actividad. Véase: *Ingenieros militares en Nueva España. Inventario de su labor científica y espacial siglos XVII a XVIII*, México, Instituto de Geografía-UNAM, 1993; *El nacimiento de una disciplina: la Geografía en México (siglos XVI-XIX)*, México, Instituto de Geografía de la UNAM, 2003; más reciente y junto con Irma Escamilla: “Los ingenieros militares y su aproximación a la Historia Natural en el siglo XVIII novohispano”, en: Azuela Bernal, Luz Fernanda y Rodrigo Vega y Ortega (coords.), *La geografía y las ciencias naturales en el siglo XIX mexicano*, México, Instituto de Geografía de la UNAM, 2011, pp. 15-38.

³¹ Si bien la carrera de Geología apareció en México hasta la segunda década del siglo XX, los hombres que promovieron la exploración del territorio desde el punto de vista geológico, y la institucionalización de esta ciencia son considerados por los investigadores como los primeros geólogos mexicanos.

³² En esta investigación se coincide con Lucero Morelos en cuanto a la utilización de la palabra “divulgación” para referirse a la propagación de conocimientos especializados dirigida a públicos amplios y no especializados, para que puedan aplicarlos en forma práctica. Véase Morelos, *La geología mexicana...*, p. 27.

³³ De Cserna, Zoltán, “Historia de la geología...”, pp. 1-20.

estar “condenados” a ser útiles para otras disciplinas,³⁴ debido al contexto en que emergió esta ciencia en México.

De Cserna realizó una periodización de la Geología mexicana, que él mismo denomina arbitraria: “antes de Lyell” y “después de Lyell”, para diferenciar entre la Geología premoderna y la moderna –antes y después del uniformismo–, lo cual es una muestra del alcance de este paradigma. Señala que la introducción de esta teoría fue una transición lenta, de los principios de Werner a las ideas de Hutton y, posteriormente, a las de Lyell. Remite la etapa “antes de Lyell” a la fundación del Real Seminario de Minería, a los trabajos de Andrés del Río y de Alexander von Humboldt, mientras que ubica el periodo “después de Lyell” alrededor de los años setenta del siglo decimonónico.

Aunque no explica por qué divide la Geología entre premoderna y moderna con base en el uniformismo, esta relación puede entenderse porque Lyell propone los pasos metodológicos para realizar estudios sobre la superficie terrestre de una manera científica, a partir del postulado newtoniano sobre la uniformidad de las leyes de la naturaleza. Al aplicar este método en el estudio de la superficie terrestre, se estuvo en posición de comprender aquellos procesos del pasado a partir de los que sucedían en el presente.

La importancia de este método radica en que los fenómenos terrestres no pueden ser observados, estudiados y reproducidos en laboratorio, como suele hacerse en otras ciencias como la Física. “El presente es la llave del pasado”, por lo tanto, quiere decir que no hay causas en el pasado que hayan dejado de operar en el presente. Al observar desde los fenómenos actuales la historia de la Tierra, y considerar que tienen la misma intensidad que antes, es posible dar explicaciones alejadas de la fantasía o de la religión para entender los procesos terrestres.

En otro orden de ideas, Luz Fernanda Azuela estudia el proceso de delimitación e institucionalización de la ciencia en México a través de su obra *De las minas al laboratorio, la demarcación de la geología en la Escuela Nacional de*

³⁴ Azuela Bernal, Luz Fernanda, “La geología en la formación de los ingenieros mexicanos”, en: Ramos Lara, María de la Paz, Rodríguez Benítez, Rigoberto *et al.*, *Formación de ingenieros en el México del siglo XIX*, México, Facultad de Historia de la UNAM, pp. 91-107.

Ingenieros (1795-1895),³⁵ para concluir –como Gontau– con que la conformación tanto epistemológica como social de la Geología es producto de numerosos actores sociales –humanos y no humanos–, y no sólo está en función de intereses científicos.

Al estudiar el trabajo geológico “desde abajo” –es decir, de mineros, naturalistas, geógrafos, topógrafos, científicos e industriales–, y por medio de una perspectiva horizontal, fue capaz de revisar todo el proceso de acumulación del conocimiento científico: exploración, atribución y validación de los descubrimientos. Este libro representó un insumo importante para la presente investigación, al abordar la conformación epistemológica e institucional de la Geología en México, sin embargo, le falta mayor profundidad en el desarrollo y adaptación de las teorías, por ser otro su objetivo.

Entre las obras biográficas sobre los geólogos mexicanos y los precursores de la Geología, se han publicado las de: Andrés Manuel del Río, Antonio del Castillo, Santiago Ramírez, Mariano de la Bárcena, Ezequiel Ordóñez, José Guadalupe Aguilera y Teodoro Flores; ya sea como estudios introductorios a la publicación de su obra completa –o más representativa–, como capítulos de libros o como una obra independiente. El estudio de la trayectoria de los hombres que han fungido como líderes en su especialidad, permite observar la actividad conjunta de las comunidades científicas, las redes y el contexto en que se encontraba el personaje analizado, en lugar de considerarlo en forma individual.³⁶

³⁵ Azuela Bernal, *De las minas...*, 186 p.

³⁶ Amorós, J. L., “Andrés del Río y su obra”, estudio introductorio en: Río, Andrés del, *Elementos de Orictognosia ó del conocimiento de los fósiles, dispuestos, según los principios de A. G. Wérner, para el uso del Real Seminario de Minería de México, por...*, imprenta de don Mariano Joseph de Zúñiga y Ontiveros, 1795; Uribe Salas, José Alfredo, “Andrés Manuel del Río: formación científica y desempeño académico en el Real Seminario de Minería de México”, en *Ciencia Nicolaita*, núm. 46, abril de 2007, pp. 5-27; “Práctica científica y descubrimiento del Vanadio en la biografía de Andrés del Río”, en Uribe Salas, José A. (coord.), *Estudios sobre Historia Regional Continental*, UMSNH, Conacyt, 2008. Morelos Rodríguez, *La Geología mexicana...*, pp. 72-92. Ramírez Santiago, “Elogio fúnebre del profesor don Mariano de la Bárcena, Secretario perpetuo de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales leído por el Académico numerario Don... en la sesión ordinaria del 3 de Julio de 1899”, en: *Anuario de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales correspondiente de la Real de Madrid*, Año V-1899, México, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, 1901, pp. 59-83; Guevara Fefer, *Los últimos años...*, 212 p. Rubinovich, Raúl y María Lozano, *Ezequiel Ordóñez...*, 316 p. Rubinovich, Raúl et al., *José Guadalupe Aguilera Serrano (1857-1941), como homenaje en el quincuagésimo aniversario de su fallecimiento*, México, Instituto de Geología de la UNAM-Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UAH. Pérez Escutia,

Las obras mencionadas sirvieron como insumo en la presente investigación, sea como referencia, para adquirir un conocimiento mayor sobre el contexto o para conocer las metodologías que emplearon los investigadores en la resolución de sus problemas. Resalta que no se había contemplado un estudio como el que se presenta, que consiste en la revisión de la adaptación en suelo mexicano de los paradigmas científicos de la Geología en la segunda mitad del siglo XIX.

Por lo tanto, el objetivo general de la presente investigación es el estudio de la teoría y práctica de la Geología en México durante el periodo de 1846 a 1906, a partir de la introducción de un paradigma nuevo –el uniformismo–, de modo que se puedan aportar elementos sobre la forma como se recibió y aclimató en el contexto mexicano. Dichos elementos consisten en las características de su adopción: si fue rápida o lenta, si se presentó algún grado de resistencia por parte de la comunidad; qué elementos persistieron y cuáles fueron desplazados más fácilmente.

Entre los objetivos particulares destaca el estudio de la Geología en Europa, para encontrar en qué momento se delimitó y demarcó como disciplina autónoma; qué elementos definieron esta madurez y cuál fue el paradigma dominante que propició dicha modernización. También se consideró la forma como se introdujo el uniformismo en México, los cambios que produjo en la enseñanza de las ciencias de la Tierra y en la práctica científica, a través de los manuales publicados por los mexicanos. Finalmente, se estudió un caso en particular, donde se observaron las discusiones geológicas y la aplicación de teorías para explicar determinado fenómeno de la naturaleza, así como la influencia del aspecto social en el éxito o fracaso de las exploraciones.

Esta investigación, por lo tanto, buscó dar respuesta a una principal interrogante: en el periodo de 1846-1906, ¿en qué modificó el sistema uniformista el ejercicio de la Geología en México, tanto en el aspecto teórico o de la enseñanza, como en el práctico o de resultados de investigación?

Ramón Alonso, "Estudio preliminar", en: Flores, Teodoro, *Geología minera de la región Noreste del estado de Michoacán (ex distritos de Maravatío y Zitácuaro)*, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/UMSNH/Ayuntamientos Constitucionales de la Región Oriente de Michoacán, 2002-2004, Morelia, 2004, pp. XI-XXXI.

Otras preguntas también guiaron el curso de la investigación, entre las que destacan: ¿en qué momento la Geología delimitó y demarcó su campo de estudio como disciplina autónoma?, ¿cómo se introdujo el uniformismo en los contenidos de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra y en la práctica científica?; y, ¿cuáles fueron los resultados del uso práctico del paradigma en las exploraciones y comisiones?

Cabe recordar que en esta tesis se partió de la transición lenta, establecida por Zoltan de Cserna, influenciada por el contexto político, cultural y social que se vivió en la segunda mitad del siglo XIX. Para responder a estas preocupaciones, la presente tesis partió de la siguiente hipótesis principal: aunque el uniformismo fue conocido por los mexicanos desde una etapa relativamente temprana a la publicación de *Principles*, su incorporación a los contenidos epistemológicos y prácticos fue un proceso lento, que se reflejó en: los contenidos de los manuales para impartir cátedra elaborados por ellos mismos; las actividades organizadas por los catedráticos; los informes sobre su práctica profesional; las discusiones que entablaron entre pares.

Como hipótesis secundaria, se planteó que los ingenieros que practicaron la Geología en México también buscaron realizar aportes únicos al patrimonio mundial de la disciplina, no solamente en aspectos descriptivos o en los que ya existía consenso, sino en los *de punta*; es decir, en los que contribuirían a dar solución a problemas del paradigma que todavía faltaban por resolver. De esta forma, fueron incorporando los contenidos en los manuales de enseñanza que prepararon para dar sus clases, y también en su práctica científica, cuando tuvieron la oportunidad de hacerlo.

Asimismo, con base en la nueva perspectiva, buscaron realizar aportes únicos al patrimonio mundial de la Geología, no solamente descriptivos o en los que ya existía consenso, sino también de los llamados *de punta*, dado que contribuirían a la explicación de los aspectos que faltaban completar del paradigma.

Para desarrollar esta investigación, se tomó como base en el aspecto metodológico, el estudio del “paradigma” de Thomas S. Kuhn, por lo tanto es

necesario hacer unas consideraciones previas. La publicación en 1962 de *La estructura de las revoluciones científicas*³⁷ transformó las concepciones filosóficas e históricas de la ciencia, y abrió una puerta para acceder al estudio de la vida científica desde nuevas perspectivas.³⁸ En su planteamiento, Kuhn dividió el estudio científico entre *ciencia normal* y *ciencia revolucionaria*; la primera es “la investigación basada firmemente en uno o más logros científicos pasados, logros que una comunidad científica particular reconoce durante algún tiempo como el fundamento de su práctica ulterior”.³⁹

En este sentido, es la que se lleva a cabo bajo un mismo marco de supuestos, o paradigmas. Se realiza la mayor parte del tiempo, es acumulativa y busca el perfeccionamiento del paradigma por medio de la articulación de los fenómenos y las teorías suministradas por él. Kuhn la compara con *armar un rompecabezas*. Por otra parte, la ciencia revolucionaria surge cuando el modelo (o paradigma) bajo el cual se desarrolla determinada ciencia está agotado y comienzan a surgir anomalías que no puede explicar, de modo que el “paradigma antiguo se ve sustituido en todo o en parte por otro nuevo incompatible con él”:

Comienzan con la creciente sensación por parte de un pequeño grupo de la comunidad científica, de que el paradigma existente ha dejado de funcionar adecuadamente en la exploración de un aspecto de la naturaleza hacia el que había conducido previamente el propio paradigma. Estos cambios pueden ser mayores o menores. La elección que se da entre paradigmas rivales resulta ser una elección entre modos incompatibles de vida comunitaria.⁴⁰

Por lo tanto, la estructura del desarrollo científico de Kuhn parte del establecimiento de la ciencia normal con un paradigma dominante, que sirve también como ejemplo para dar respuesta a las preguntas de investigación que surgen; cuando este paradigma deja de funcionar como modelo, hay una fase en que las anomalías se vuelven visibles –antes no lo eran, o simplemente se dejaban de lado– hasta que surge un nuevo paradigma que reemplaza al anterior,

³⁷ Kuhn, *La estructura...*, 360 p.

³⁸ Una de éstas es la desarrollada por los sociólogos de la ciencia británicos, de la Escuela de Edimburgo, como David Bloor y Barry Barnes.

³⁹ Kuhn, *La estructura...*, p. 70.

⁴⁰ *Ibidem*, pp. 186-188.

provocando que cambie la visión del grupo para ajustarse al nuevo, con el fin de desarrollar, otra vez, ciencia normal.⁴¹

Entre las críticas al concepto de ciencia “normal”, destacan las realizadas durante el Coloquio Internacional de Filosofía de la Ciencia de Londres, en 1965.⁴² En él, Karl Popper afirmó que la diferencia entre ciencia normal y ciencia extraordinaria no es tan marcada, puesto que tiene varios niveles y no solamente dos. Ve un problema en hacer este tipo de ciencia porque es poco crítica y reflexiva, no somete los paradigmas a un proceso de comprobación y refutación (falsación), que para este filósofo de la ciencia resulta de primaria importancia.⁴³

Sin embargo, este concepto de ciencia normal es precisamente el que abrió la puerta para el estudio de la ciencia desde otras perspectivas, como ya se afirmó, puesto que se estudian los cambios lentos y progresivos que la historia tradicional de la ciencia había dejado de lado al concentrarse en los grandes saltos. La presente investigación coincide con lo expuesto por Ana Rosa Pérez Ransanz, en el sentido de que un modelo adecuado para el estudio de la ciencia normal sigue siendo el de Kuhn, ya que:

...la mayoría de los modelos de cambio científico se ha concentrado en los cambios de fondo, o de largo alcance, que ocurren en el nivel de los supuestos básicos (en las estructuras conceptuales, en los compromisos ontológicos, en los valores epistémicos, etc.), y se ha descuidado el análisis de los cambios cotidianos, en pequeña escala, que ocurren en y con la evolución de las teorías sustantivas (cf. Laudan *et al*, 1986). En este respecto, cabe señalar que el análisis kuhniano de la ciencia normal ofrece una lúcida caracterización del tipo de desarrollos que tienen lugar en la investigación cotidiana (aportación que sin embargo quedó opacada por lo revolucionarias que resultaron sus tesis sobre el cambio revolucionario).⁴⁴

La revolución científica de Kuhn también ha sido cuestionada. Para Stephen Toulmin y otros evolucionistas, los seres humanos demuestran su racionalidad en la disposición a responder a situaciones nuevas con espíritu abierto, reconociendo los defectos y las limitaciones de sus conceptos y teorías anteriores, y proponiendo alternativas que los superen. No hay revoluciones, sólo una evolución

⁴¹ *Ibidem*, pp. 173-185.

⁴⁸ Sobre este Coloquio, Imre Lakatos y Alan Musgrave publicaron las memorias cinco años después. Lakatos, Imre y Alan Musgrave, *La crítica y el desarrollo del conocimiento científico*, Barcelona, Grijalbo, 1975.

⁴³ Popper, Karl, “La ciencia normal y sus peligros”, en: Lakatos y Musgrave, *op. Cit.*, pp. 149-158.

⁴⁴ *Ibidem*, p. 251.

en el desarrollo del conocimiento humano similar a la de los seres vivos. La ciencia entonces es un proceso en el que pueden cambiar las partes sin que cambie el todo. Otra diferencia con la postura de Kuhn tiene que ver con la unidad de evolución: mientras que para este último es el paradigma, para Toulmin es la “disciplina”. Además, no necesariamente toda variación es una innovación.⁴⁵

Otras críticas están centradas en el relativismo de Kuhn; en que su concepción de la ciencia es considerada internalista; en la inconmensurabilidad que se abre entre el paradigma desechado y el nuevo; entre las más destacadas. La presente investigación asume que, si bien Kuhn se centró en el trabajo de la comunidad científica para definir su unidad de estudio –esto es, los paradigmas–, también es cierto que su propia definición de paradigma contiene la conexión con la sociedad, al relacionar el proceso histórico con la ciencia: la práctica de los científicos influye a la sociedad, y viceversa.

A pesar de que se considera que Karl Popper tiene razón en criticar la forma tajante en que se da el cambio de un paradigma a otro en la propuesta kuhniana, se ha establecido para la presente investigación el uso del paradigma como categoría para la investigación, si bien matizando los cambios entre éstos. Lo anterior, dado que se parte de la visión de Zoltan de Cserna, quien considera que en el caso de estudio se dio una transición lenta, de modo que resulta importante analizar la ciencia normal desarrollada en ese periodo.

Por otra parte, el cambio en la metodología para el estudio de la ciencia que inició con el planteamiento kuhniano también amplió la perspectiva para el estudio de la ciencia desde un enfoque social. Esto ha sido planteado por Juan José Saldaña de la siguiente manera:

En la actualidad, se acepta que la comunidad científica pueda ser, por lo tanto, analizada como una colectividad geográfica y culturalmente compacta. Así, en los últimos tiempos se ha constituido una perspectiva historiográfica sobre la ciencia de los países hispánicos, considerándola como historia social, que ha restituido todo su valor a la actividad científica y técnica de esta región geocultural, y que enfatiza, inclusive, la existencia de formas específicas de la práctica científica hispanoamericana.⁴⁶

⁴⁵ Toulmin, Stephen, “The evolutionary development of natural science”, en: *American Scientist*, No. 55, 1967, pp. 456-471; Cfr. del mismo autor, “La distinción entre ciencia normal...”, en: Lakatos y Musgrave, *La crítica...*, pp. 133-144.

⁴⁶ Saldaña, J. J. “La formación de la comunidad científica en México”, en: *Historia de la ciencia y la tecnología: el avance de una disciplina*, Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, 1989, en:

De lo anterior se desprende que el historiador hispanoamericano de la ciencia, debe ser capaz de entender el contexto en el cual se desenvuelven sus actores sociales, porque de esta manera podrá comprender mejor su actuación y las causas sociales o intelectuales que lo llevaron a elegir determinada teoría o camino metodológico. Así puede observarse la influencia del contexto en la formulación de problemas y la elección de respuestas.

Por otra parte, para definir el término *paradigma* es necesario hacer unas consideraciones previas. La utilización de este concepto ha sido ambigua desde que Thomas S. Kuhn lo insertó en el estudio de la historia de la ciencia. De hecho, esto también ha constituido uno de los puntos neurálgicos de las críticas a su teoría. En *La estructura de las revoluciones científicas* lo define como el conjunto “de creencias, valores, técnicas y demás, compartidos por los miembros de una comunidad dada”. Pero también lo utiliza para referirse a “un tipo de elemento de dicha constelación, las soluciones concretas a rompecabezas que, usadas como modelos o ejemplos, pueden sustituir a las reglas explícitas como base para la solución de los restantes rompecabezas de la ciencia normal”.⁴⁷

El primer significado lo relaciona con la constelación de los compromisos de grupo, en tanto que el segundo lo ve como ejemplos compartidos entre los miembros de una comunidad científica. De modo que, para aclarar esta ambigüedad, en su “Epílogo: 1969”, Kuhn hace una separación, en la que el segundo significado conserva la denominación de “paradigma”, mientras que el primero pasa a ser la “matriz del descubrimiento”.⁴⁸

En este aspecto la presente investigación se alinea con lo que Ana Rosa Pérez expone en su libro ya citado y donde afirma que, no obstante la diferenciación anterior, ambos significados pueden seguir adscritos al término paradigma, considerado éste como marco de investigación:

Como se puede ver, al aclarar y precisar la noción de paradigma Kuhn incorpora los paradigmas en sentido restringido, de soluciones ejemplares, como uno de los

(<http://cimm.ucr.ac.cr/aruiz/libros/historia%20de%20la%20ciencia/Articulos/La%20formacion%20de%20la%20comunidad%20cientifica%20en%20Mexico.pdf> (fecha de consulta: 5 de enero de 2013).

⁴⁷ Kuhn, *La estructura...*, pp. 302-303.

⁴⁸ En ediciones anteriores aparece como “Posdata: 1969”.

componentes de los paradigmas en sentido amplio, de matriz disciplinaria. Ambos sentidos se podrían relacionar –como se sugirió– considerando que un paradigma, en tanto marco de investigación, es aquello con lo que los científicos quedan comprometidos al modelar su trabajo sobre ciertos casos ejemplares.⁴⁹

El empleo aparentemente indistinto entre paradigma y teoría que hace Kuhn, también es explicado por la misma autora de la siguiente manera:

...Este uso aparentemente descuidado se puede explicar apelando al hecho de que una vez que se introducen los paradigmas como marcos de investigación –una vez que se reconoce que no hay ciencia libre de presupuestos–, debería quedar claro que toda teoría sustantiva se desarrolla dentro de algún paradigma. Así, “teoría” nos remite no sólo a un conjunto de afirmaciones empíricas explícitas, sino también al conjunto de compromisos implícitos que la acompañan. Toda teoría es teoría inserta en un marco de investigación.⁵⁰

En síntesis, el término *paradigma* fue utilizado en este estudio como marco de investigación, que incluye tanto la matriz disciplinaria como las soluciones ejemplares. En este sentido, es más amplio que una teoría y contiene elementos como adecuación empírica, alcance, simplicidad, consistencia y fecundidad.

Comunidad científica es la que “consta de profesionales de una especialidad científica”. Han pasado por procesos semejantes de educación e iniciación profesional, leído los mismos libros y obtenido prácticamente la misma información. Comparten metas y la formación de sus sucesores. La comunicación es plena y los juicios profesionales, relativamente unánimes.⁵¹

Para el concepto de *ciencia* se utilizó una definición que relaciona el valor de la ciencia con su proceso histórico: la de Lafuente, para quien la actividad científica “hace referencia a una práctica vinculada a las aspiraciones políticas, económicas, sociales y culturales del medio en que se desenvuelve. Es una actividad en gran medida dirigida y organizada por los poderes públicos que, con mayor o menor clarividencia, tienen un proyecto para su país”.⁵²

Se empleó la definición de Geología de Charles Lyell: “es la ciencia que investiga los sucesivos cambios que han tomado lugar en los reinos orgánico e

⁴⁹ Pérez Ransanz, *Kuhn y el cambio...*, p. 38.

⁵⁰ *Ibidem*, p. 45.

⁵¹ Kuhn, *La estructura...*, pp. 305-306.

⁵² En Morelos, Lucero, *Ciencia, Estado y científicos. El desarrollo de la Geología mexicana a través del estudio de los ingenieros Antonio del Castillo, Santiago Ramírez y Mariano Bárcena (1843-1902)*, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 2010, p. 10.

inorgánico de la naturaleza: indaga dentro de las causas de esos cambios, y la influencia que han tenido en la modificación de la superficie y estructura externa de nuestro planeta”.⁵³

En suma, la presente investigación es un estudio de caso sobre la forma en que los hombres de ciencia mexicanos asumieron las teorías que llegaban de Europa y los Estados Unidos. Las bases metodológicas son el estudio del paradigma de Kuhn, que por medio de una visión holística e integradora permite apreciar procesos acumulativos de conocimiento, y la historia social de la ciencia, debido a que los ingenieros que practicaron Geología en México utilizaron sus conocimientos para apoyar las políticas del Estado, en busca del progreso del país.⁵⁴

Las fuentes primarias consultadas para dar sustento empírico a esta investigación, corresponden al Archivo General de la Nación (AGN), al Archivo Histórico del Palacio de Minería (AHPM), a la Hemeroteca Nacional, y a las bibliotecas Ingeniero Antonio M. Anza, Conjunta de Ciencias de la Tierra y Antonio García Cubas, del Instituto de Geografía de la UNAM. Para las fuentes secundarias, además de los repositorios mencionados, se consultaron la Biblioteca Central de la UNAM, la biblioteca del CSIC, la de la Facultad de Historia de la UMSNH y del Instituto de Investigaciones Históricas de la UMSNH, así como el acervo disponible en la Internet.

Se realizó el seguimiento de la introducción del uniformismo en México a través de la lectura de los manuales que prepararon los mexicanos para la enseñanza geológica, así como de los resultados de investigación seleccionados. El trabajo de campo, por lo tanto, consistió en la búsqueda en los archivos General

⁵³ Lyell, Charles, *Principles of Geology, or the modern changes of the Earth and its inhabitants*, vol. I, Boston, Little Brown and Company, 1853, p. 1 (traducción propia).

⁵⁴ Investigadores de la ciencia en México coinciden con esta relación utilitarista que surgió entre hombres de ciencia y el Estado. Una muestra de lo anterior puede leerse en lo escrito por Rafael Guevara: “...Las alianzas entre los científicos y el Estado iniciaron un proceso sostenido de creación de instituciones para la enseñanza e investigación de la ciencia. Éstos tuvieron un espacio con recursos materiales para realizar investigación teórica, además de las investigaciones de utilidad inmediata como el desarrollo industrial, agrícola y comercial del país...”. Véase: Guevara Fefer, Rafael, “La biblioteca botánico-mexicana. Un artefacto de y para la ciencia nacional”, en: *Relaciones*, otoño, vol. 22, núm. 88, El Colegio de Michoacán, Zamora, México, 2001, pp. 165-206.

de la Nación y del Colegio de Minería, de informes ordinarios de investigación, ya fuera en revistas u otros medios, de artículos relacionados con la discusión que se realizó, tomando como punto de partida la introducción de las teorías geológicas, con especial atención a las de Werner, Hutton y Lyell.

El cuerpo de la presente investigación consta de tres capítulos. En el primero se describe el contexto en que se desarrolló el paradigma uniformista en Europa; se muestran los antecedentes y se describen sus particularidades en términos de sistema y método, con énfasis en el choque ciencia/religión porque en el caso de la Geología fue un factor a considerar en el establecimiento de las hipótesis de investigación. El segundo capítulo comprende la introducción de estas teorías en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra en México, por medio de los manuales elaborados por los mexicanos, y un seguimiento de algunos trabajos geológicos.

En el tercer capítulo se profundiza en el uso práctico del uniformismo, por medio de la observación de la naturaleza. De igual forma, se revisaron los debates en la comunidad científica relacionados con la caverna de Cacahuamilpa y las teorías que los geólogos esgrimieron para tratar de explicar su formación. Cierran el cuerpo de esta investigación las conclusiones obtenidas.

Cabe destacar que el campo de estudio de la Geología es bastante amplio porque comprende el estudio de todos los fenómenos terrestres, de tal manera que para realizar esta tesis en tiempo y forma se vio la necesidad de acotar el objeto de estudio. En este caso se eligió para el Capítulo III, la discusión sobre Cacahuamilpa, que incluye aspectos religiosos y explica la acción de las aguas sobre las piedras calizas. Empero, quedó pendiente para una investigación posterior el estudio de otros fenómenos como los volcanes, si bien se trata de manera breve en el Capítulo II, cuando se analizan los manuales de enseñanza.

De igual forma, aunque hayan sido pocos los mexicanos dedicados a la actividad geológica en la segunda mitad del siglo XIX, hubo de acotarse la selección de obras, por las mismas razones aludidas en el párrafo anterior.

Para finalizar, el presente trabajo buscó aportar elementos para llenar un vacío historiográfico en México, puesto que los trabajos realizados sobre las Ciencias de la Tierra tienen que ver con la institucionalización de la actividad

científica, con su avance en general y con las biografías de los forjadores de la ciencia, mismas que se ocupan de historiar el desarrollo científico en su contexto – lo cual facilitó el desarrollo de la presente investigación–. Sin embargo, faltaba incorporar el componente que corresponde a la evolución y el cambio de las ideas y de las prácticas, así como la discusión sobre estos temas en las comunidades científicas.

CAPÍTULO I.

LAS CIENCIAS DE LA TIERRA DURANTE EL SIGLO XIX

Introducción

Antes de considerar el estudio de las teorías geológicas en México, es necesario conocer las discusiones en Europa y comprender por qué la concepción del tiempo geológico uniformista representó un elemento de quiebre que no sólo afectó la práctica geológica, sino que también dio pie a lo que Carmina Virgili denomina “el fin de los mitos geológicos”.¹ Un breve repaso historiográfico permite situarlo en su contexto y comprender sus dos vertientes: como elemento de ruptura con la ideología de Antiguo Régimen, y como método de trabajo que modernizó la actividad del geólogo.

Cabe recordar que para esta investigación se utilizó el término paradigma entendido como marco de la investigación científica, en el sentido que Ana Rosa Pérez Ransanz expone en su libro *Kuhn y el cambio científico*. Esto es, que se trata tanto del conjunto de compromisos de una comunidad científica como de los modelos o ejemplos compartidos entre los miembros de dicha comunidad (Thomas S. Kuhn, en su “Epílogo”, lo había dividido en dos: paradigma y matriz del descubrimiento, pero la autora considera que sigue siendo válido utilizar ambos significados bajo el nombre de *paradigma*).²

Como punto de partida de este apartado se plantearon las siguientes preguntas: ¿en qué momento se puede hablar de la Geología como ciencia madura, delimitada y con su propio paradigma dominante?; ¿representa un cambio de paradigma la propuesta del uniformismo?; ¿cuáles fueron las evidencias empíricas que cambiaron dicha concepción, y cuáles los dispositivos teóricos y metodológicos que reorientaron el debate?

Para responderlas, el cambio en la consideración de la edad de la Tierra, sus consecuencias en la investigación geológica y la delimitación de la Geología como ciencia autónoma, fueron los temas abordados. Básicamente se enfatizó en la

¹ Véase Virgili, Carmina, *Lyell, el fin de los mitos geológicos*, 1ª edición, Nivola Libros y ediciones, 2003, 320 p.

² Véanse las páginas 19 y 20 de la Introducción.

edad de la Tierra porque se trata de un aspecto que retrata la visión de los hombres de ciencia del siglo XIX, y que originó debates en los que se enfrentaron supuestos teológicos, geológicos y científicos.

1.1 El uniformismo como elemento de ruptura con el Antiguo Régimen

1.1.1 La Tierra en el Antiguo Régimen

Aun cuando todavía no se conoce la edad exacta de este planeta, se calcula que tiene entre 4 440 y 4 510 millones de años.³ Para llegar a esta cifra hubo de pasar de las concepciones teológicas sobre el origen del universo a la visión apoyada en la ciencia que derivó de la Revolución industrial.

Las preguntas de un científico determinan el curso de su investigación; también son un indicador de lo que se plantean en ciertos periodos: qué creen, cuáles son sus hipótesis y con base en qué información las comprueban. Para los hombres del Antiguo Régimen su respuesta a la pregunta sobre el origen de la Tierra estaba resuelta: Dios la había creado de la nada. Por lo tanto, la investigación que los naturalistas hicieron hasta el siglo XVIII con respecto del planeta en que vivían, tuvo que ver más bien con aquellos detalles no explicados en el Génesis, libro bíblico considerado como un manual de Geología válido. Por otro lado, en ese periodo la geognosia era parte de la orictognosia,⁴ de modo que el estudio sobre la estructura de la Tierra estaba ligado a la actividad minera.

Lo anterior denota: que los hombres de ciencia todavía no habían realizado una separación entre el conocimiento de la Tierra y la teología; que la Geología aún no podía ser considerada como una ciencia independiente, con un campo de investigación bien definido y propio; y que la visión de Antiguo Régimen sobre el

³ University of Cambridge, "Core value set new date for birth of the Earth", in: *Research*, University of Cambridge, published 9 July, 2010, <http://www.cam.ac.uk/research/news/core-values-set-new-date-for-birth-of-the-earth> (fecha de consulta: 22 de julio de 2013).

⁴ A finales del siglo XVIII la Geología y la Mineralogía eran conocidas como geognosia y orictognosia, respectivamente. Véase el discurso de Andrés del Río, "Discurso sobre la Orictognosia", en: Del Río, Andrés, *Elementos de Orictognosia ó del conocimiento de los fósiles, dispuestos, según los principios de A. G. Wérner, para el uso del Real Seminario de Minería de México, por...*, imprenta de don Mariano Joseph de Zúñiga y Ontiveros (edición de José Luis Amorós), 1975, pp. 63-71 (particularmente las páginas 64 y 65).

mundo aún era demasiado fuerte para que mediante las preguntas adecuadas se comenzaran a desligar Geología y teología. Esta visión bíblica persistió durante la Edad Media, soportó los embates del Renacimiento y la Ilustración, e incluso perduró buena parte del siglo XIX, apoyada en las teorías diluvistas.

El diluvianismo tuvo sus orígenes en la Edad Media, cuando se trató de explicar la presencia de fósiles marinos en tierra firme con base en el Diluvio Universal mencionado en la Biblia. En el siglo XVIII cobraron auge en Inglaterra las explicaciones de este tipo, con Thomas Burnet, John Woodward y William Whiston,⁵ en cuanto a la forma como se había desarrollado el diluvio. Para Burnet, la tierra tenía un ciclo de cinco etapas: caos, paraíso, diluvio, estado actual y conflagración por el fuego y el milenio, y el diluvio había dado como resultado la conformación geográfica que se tenía.⁶

Woodward opinaba que la corteza terrestre tenía capas horizontales, inclinadas en algunos puntos, y que el diluvio se había producido por un hundimiento en la corteza terrestre, con lo cual la materia que componía esta última se había precipitado al “gran abismo” que se comunicaba con los océanos a través de conductos interiores –la tierra original se había disuelto por completo en las aguas del diluvio–. Y Whiston creía que el diluvio se había provocado por la acción de un cometa. Otras personas, como el suizo Johan Jacob Scheuchzer y Georges Cuvier en Francia también se mostraron a favor del diluvianismo.⁷

⁵ El inglés Thomas Burnet (1635-1715) fue autor de *Sacred Theory of the Earth*, en 1681, y de *The Ancient Doctrine Concerning the Origin of Things*, en 1692. Véase: *Dictionary of National Biography*, Vol. I, edited by Leslie Stephen, Vol. VII, London, Smith, Elder & Co., 1885. John Woodward (1665-1728), naturalista inglés conocido por practicar la hidroponía y por su teoría diluvista, autor de *Essay Toward the Natural History of the Earth* en 1692 y *Fossils of All Kinds Digested Into a Method*, en 1728, entre otros. El también inglés William Whiston (1667-1752) fue un teólogo anglicano y matemático, profesor y amigo de Newton que intentó conciliar la religión con la ciencia. Escribió *A New Theory of the Earth*. Véase *Enciclopedia Britannica*, disponible en: <http://global.britannica.com> (fecha de consulta: 3 de agosto de 2013).

⁶ Pelayo, Francisco, *Las teorías geológicas y paleontológicas en el siglo XIX*, Madrid, Ediciones Akal, 1991, pp. 10-11, y Pelayo, Francisco, “Teorías de la Tierra y sistemas geológicos: un largo debate en la historia de la Geología”, *Asclepio*, Vol. XLVIII, Tomo: sin datos, Fascículo 2, Madrid, 1996, pp. 28-29.

⁷ Johann Scheuchzer (1672-1733) fue un médico y naturalista suizo autor de varios libros, entre ellos *Herbarium diluvianum*. Georges Cuvier (1769-1832), por su parte, es uno de los más célebres naturalistas franceses. Realizó importantes aportes en el estudio anatómico de las especies y de los fósiles, al grado de ser considerado el padre de la Paleontología. Entre los libros de su autoría destaca *Recherches sur les ossements fossiles des quadrupèdes* (1812) y *Discours sur les*

Los naturalistas en general daban por hecho la existencia de un diluvio universal, por lo tanto se comenzaron a hacer la pregunta sobre si había cambiado la faz de la Tierra con este evento catastrófico, o si era la misma de antes. En estas inquietudes puede inferirse que la creencia dominante sobre la formación del mundo y sus cambios pertenecía a la visión de Antiguo Régimen; es decir, a la que contemplaba, como ya se ha dicho, la formación del universo por parte de una divinidad.

Aunque Nicolás Copérnico y Galileo Galilei⁸ ya habían colocado a la Tierra fuera del centro del universo, los avances que se estaban teniendo sobre la forma de estudiar la estructura terrestre todavía no eran suficientes como para considerar a la Geología una ciencia “madura”, como sí sucedió con otras ciencias como la Química –que dejó atrás sus tiempos de alquimia–, y la Física, que gracias a Isaac Newton aportó una nueva visión del mundo, al considerar el universo, el movimiento de los cuerpos y el funcionamiento de la naturaleza, desde el mecanicismo.⁹

Como bien describe Reijer Hooykaas: “El modelo del mundo como un organismo fue reemplazado por el que planteaba al mundo como un mecanismo; el completo desarrollo desde Copernico a Newton ha sido correctamente llamado

révolutions de la surface du globe (1825). En: *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana*, Tomo XVI, Madrid, Espasa-Calpe, 1908, pp. 1310-1311. Pelayo, *Las teorías...*, *idem*.

⁸ Nicolás Copérnico (1473-1543), astrónomo polaco que postuló el sistema heliocéntrico en el cual el Sol está en el centro del Sistema Solar y los planetas –incluida la Tierra– giran a su alrededor. “Nicolaus Copernicus”, en *Encyclopaedia Britannica...*, fecha de consulta: 15 de agosto de 2013. Por su parte, Galileo Galilei (1564-1642) fue un filósofo, astrónomo y matemático que contribuyó de manera fundamental al estudio del movimiento, mejoró el telescopio con el cual escudriñó los cielos y demostró la veracidad de la obra de Copérnico. Véase: Doren, Charles Van, *Breve historia del saber. La cultura al alcance de todos*, 2ª reimpresión, México, Planeta, 2007, pp. 300-304.

⁹ Isaac Newton (1642-1727), físico inglés y matemático, considerado la figura culminante de la revolución Científica del siglo XVII, conocido por sus aportaciones en óptica, mecánica, astronomía, cálculo, y por postular los principios básicos de la física. En realidad no fue el creador del mecanicismo, sino su máximo exponente (aunque en los últimos años se ha reabierto el debate sobre si en realidad se le debe considerar así o, por el contrario, como uno de sus oponentes). Durante los siglos XVI y XVII se comenzaron a preferir las explicaciones a los fenómenos por medio de analogías con las máquinas –sobre todo con el reloj– en lugar de las que los comparaban con seres vivos. Como expone Shapin: “...Ser filósofo mecanicista significaba preferir explicaciones en términos de factores inanimados, como el peso del aire, a las que introducían factores intencionales, como el horror al vacío presente en la materia”. Véanse Doren, *Breve historia...*, pp. 308-312; Shapin, Steven, *La revolución científica, una interpretación alternativa*, Ediciones Paidós Ibérica, España, 2000, p. 64.

la imagen de la mecanización del mundo”.¹⁰ Lo que Newton trataba de hacer era demostrar la existencia de Dios, pero quienes le sucedieron llegaron a distinta conclusión al considerar que las leyes “perfectas” de la naturaleza eran inherentes a la materia y no provenían de una entidad divina: “...los newtonianos continentales que completaron su revolución terminaron por considerar las fuerzas como propiedades innatas de la materia e inauguraron una sólida visión mecánica de la naturaleza que podía prescindir de la hipótesis de Dios”.¹¹

Con este cambio en el siglo XVII sobre la forma de concebir el universo, que pasó de organicista a mecanicista,¹² se dio mayor preponderancia a la medición para aceptar o descartar teorías. Esto provocó que ciencias tradicionales como la física y la matemática, tuvieran el desarrollo característico de esta época, del mismo modo que explica que otras *nuevas* ciencias, sin tanta tradición, tardaran en alcanzar un desarrollo equiparable hasta mediados del siglo XVIII o incluso el XIX.¹³

Las nuevas ideas convivían con las viejas, de tal modo que varios de los hombres más destacados de esta revolución científica conservaban sus creencias religiosas (es el caso de Isaac Newton). En el siglo XVII, entonces, todavía se partía de la idea de que el planeta había sido formado por Dios, si bien los filósofos comenzaban a preguntarse de qué manera lo había hecho. René Descartes (1596-1650) propuso la *teoría nebulosa* –desarrollada más tarde por Immanuel Kant (1724-1804) y Pierre-Simon Laplace (1749-1827)–, que postulaba

¹⁰ Hooykaas, Reijer, *Religion and the rise of modern science*, Lighting Source Inc., U.S.A., 1972, p. 13 (traducción propia).

¹¹ Para Carlos Solís la intención de Newton era aportar elementos que apoyasen la existencia de Dios, al describir el universo regido por leyes de la naturaleza que evidenciaban una voluntad superior, sólo que sus continuadores europeos llegaron a concluir que dichas leyes eran inherentes a la materia. Véase Solís Santos, Carlos, “Introducción”, en Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*, primera reimpresión, México, Fondo de Cultura económica, 2007, p. 9.

¹² Trabulse, Elías, *Arte y ciencia en la historia de México*, México, Fomento Cultural Banamex, 1995, p. 36.

¹³ Para ahondar en este aspecto, véanse los artículos de Thomas Kuhn, “La tradición matemática y la tradición experimental en el desarrollo de la Física”, y “La función de la medición en la Física moderna”, en: *La tensión esencial, estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, México, Fondo de Cultura Económica, 1996 (reimpresión), pp. 56-90 y 202-247, respectivamente.

la formación tanto del sol como de los planetas en el seno de una nube de polvo estelar.¹⁴

Empero, la idea de que la armonía de la naturaleza proviene de un Ser Superior, que ha dispuesto todo en perfecto orden, ha perdurado en el tiempo, y puede apreciarse en la obra de naturalistas y físicos de los siglos XVIII, XIX, e incluso XX y XXI; en el caso de los dos primeros bien fuera para evitar la censura o bien porque así lo creían.¹⁵ El fijismo era una teoría derivada de la misma creencia en un ser superior, que consistía en considerar que los seres vivos eran iguales desde el inicio de la creación hasta la actualidad. No había posibilidades de mutabilidad en ningún sentido, ni de aparición de especies nuevas.

Por otra parte, desde las culturas antiguas se tenía la creencia de que era posible la *generación espontánea* de seres de clases inferiores, como los gusanos y los ratones, e inclusive había *recetas* para su aparición. Aunque a finales del siglo XVII, con el experimento de Francesco Redi parecía que esta teoría se había desechado, tuvo un resurgimiento gracias a la invención del microscopio por Anton van Leeuwenhoek (1632-1723).¹⁶ Sin embargo, los experimentos de Louis Pasteur (1822-1895) terminaron por desecharla ya en el siglo XIX.

La labor de los naturalistas en exploraciones y en viajes, recogiendo especímenes tanto vegetales como animales alrededor del mundo, propició que

¹⁴ Según esta teoría, el Sistema Solar había nacido de una nube de material estelar (lo que ahora denominamos nebulosa). Kant y Laplace desarrollaron más tarde estas ideas, y aunque estaban en desacuerdo con varios postulados, tenían como punto en común la formación del Sistema Solar a partir de la condensación de una nebulosa primitiva. Véase: Sagan, Carl, Shklovskii, I. S., *Vida inteligente en el universo*, Barcelona, Editorial Reverté (versión española por José Company Bueno), 1ª reimpresión, Barcelona, 2003, p. 176.

¹⁵ En varios textos de naturalistas en los siglos XVIII y XIX puede observarse esta relación causa-efecto entre Creador y mecanicismo. En México, a mediados del siglo XIX puede observarse que este discurso está presente en los catedráticos del Colegio Nacional de Minería, aspecto que se abordará más adelante. Véanse los discursos en los *Anuarios del Colegio Nacional de Minería, 1845, 1848, 1859 y 1863*, edición facsimilar, UNAM, 1994.

¹⁶ Por ejemplo, se creía que al colocar trapos viejos y sucios en un lugar húmedo y oscuro aparecerían ratones. El italiano Francesco Redi (1626-1697) probó que los gusanos de la carne, en realidad provenían de larvas depositadas en ella por las moscas. Véase: Bosch Millares, Carlos, "Consideraciones sobre la generación espontánea", en: *El Museo Canario, Revista publicada por la Sociedad del mismo nombre de Las Palmas de G. Canaria*, enero-diciembre de 1960, Año XXI, Las Palmas de Gran Canaria, Núms. 73-74, pp. 129-134. Disponible en: http://www.elmuseocanario.com/images/documentospdf/revistaelmuseo/Revistas/1960_II.pdf (fecha de consulta: 29 de julio de 2013). Cfr. Oparin, Alexander, *Origen de la vida*, Editores Mexicanos Unidos, 9ª edición, 1983, pp. 14-16.

éstos fueran acumulados en los centros de conocimiento de la época: en países imperiales como Francia, Inglaterra, España y Holanda. A decir de Camilo Quintero, en la época imperialista, Europa tenía el sueño de obtener y clasificar todas las especies del mundo,¹⁷ de modo que las expediciones y conquistas incluían sabios que observaran y describieran la naturaleza:

Desde los siglos XVIII y XIX, el imperialismo estuvo fuertemente asociado con la historia natural. Las expediciones y prácticas de naturalistas eran en sí mismas actos de imperialismo y desde hace ya varios años diferentes historiadores han argumentado que los imperios han ido de la mano con el estudio del mundo natural. Al lado del colonizador estaba el naturalista que inspeccionaba, recolectaba y clasificaba las nuevas regiones conquistadas. Las empresas políticas y económicas estaban ligadas al entendimiento del mundo natural colonial, incluidas las personas que lo habitaban. Y de regreso en la metrópolis, los “trofeos” de historia natural que se guardaban en museos, jardines botánicos y zoológicos, por no mencionar las inmensas colecciones privadas, justificaban estructuras sociales, categorizaban a los no-europeos como inferiores y legitimaban la expansión imperial con una retórica de misión civilizadora.¹⁸

La acumulación en museos y jardines, y la clasificación de los especímenes, propiciaron que se fuera observando la vastedad de seres vivos, y las semejanzas y diferencias entre ellos. De este modo, la clasificación que hasta mediados del siglo XVIII se limitaba a cuestiones de “identificación”, poco a poco fue cambiando hacia otra que trataba de ordenar a los seres vivos de acuerdo con las relaciones que existían entre ellos, por lo cual además implicaba un gran conocimiento experimental previo de las plantas, animales y fósiles objeto de estudio.¹⁹

Entre los elementos de la naturaleza que se recolectaban se encuentran también los fósiles, esos vestigios de un pasado remoto cuya existencia no aclaraban las Sagradas Escrituras y que por lo mismo fueron explicados mediante distintas interpretaciones. Eran tomados a inicios del siglo XVIII como elementos de ornato o como curiosidades. Mas hubo quienes empezaron a buscar una explicación sobre su existencia, y para ello se basaron en las ideas que habían

¹⁷ Quintero Toro, Camilo, “¿En qué anda la historia de la ciencia y el imperialismo? Saberes locales, dinámicas coloniales y el papel de los Estados Unidos en la ciencia en el siglo XX”, *Historia Crítica*, Núm. 31, enero-junio, 2006, pp. 151-172, Universidad de los Andes, Colombia. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=81103107> (fecha de consulta: 7 de abril de 2012).

¹⁸ *Idem.*

¹⁹ Estas últimas clasificaciones fueron conocidas bajo la denominación de “métodos naturales”. Susana Pinar explica este cambio de taxonomía en su artículo “El peso del carácter, algunas consideraciones sobre la historia de la botánica española en el tránsito de sistemas”, *Asclepio*, Vol. XLVIII, Tomo: sin datos, Fascículo 2, Madrid, 1996, pp. 7-20.

sobrevivido del periodo clásico, combinadas con las creencias cristianas: primero se les consideró “juegos de la naturaleza”²⁰ o “desechos caídos del Taller del Creador”, pero después surgió una interpretación que los consideraba como los “restos de animales muertos en el Diluvio universal”.²¹

Otra pregunta que los naturalistas todavía no podían responder por falta de evidencia empírica, es la correspondiente a la edad de la Tierra. Al respecto, hacia mediados del siglo XVIII se consideraba que ésta había sido creada por Dios, e incluso se consideraba que había sucedido en el año 4004 A. de C., de acuerdo con los cálculos que el arzobispo de Armagh y primado de Irlanda, James Ussher, había realizado con base en el Génesis y publicado en 1650 en su libro *Annalis veteris testamenti, a prima mundi origine deducti*.²² De este modo, la Iglesia daba a la Tierra una edad de seis mil años, en los cuales su conformación había variado debido a catástrofes de origen divino, como el Diluvio Universal.²³

La respuesta a las dos preguntas expuestas hasta el momento –¿qué son los fósiles y cuál es la edad de la Tierra?–, que llevaban en apariencia hacia lugares diferentes, guardaban estrecha relación entre sí, como más adelante se descubrió. Mientras, valga decir que hacia finales del siglo XVIII, y bajo el espíritu de la época para apuntalar el conocimiento sobre bases científicas, se comenzó a tratar de demostrar por medio de datos empíricos cuántos años tenía el planeta. Este esfuerzo, continuado hasta la fecha, se ha desarrollado a través de diferentes métodos y con distintos resultados.

²⁰ Para ampliar esta información resulta interesante consultar el recuento que hace Humboldt en su obra cumbre. Véase Humboldt, Alexander von, *Cosmos, ensayo de una descripción física del mundo*, CSIC, Madrid, 2011, pp. 916-917. Consúltese también Pelayo, Francisco, “Las teorías geológicas...”, p. 8.

²¹ Pelayo, *ibidem*, p. 10.

²² James Ussher (1581-1656) fue un prelado de la Iglesia Anglicana, recordado tanto por su actividad en la política religiosa como por su especialización en la cronología del Antiguo Testamento. La traducción de la obra mencionada sería *Anales del Antiguo Testamento, que deducen los orígenes primeros del mundo*. Véase: “James Ussher”, en: *Enciclopedia Britannica...*, fecha de consulta: 12 de agosto de 2013.

²³ Véase Lugo Hubp, José, *La superficie de la Tierra, II. Procesos catastróficos, mapas, el relieve mexicano*, Colección La Ciencia para Todos, Núm. 101, Fondo de Cultura Económica, 3ª edición, 2002, p. 30. También Nava Pichardo, Alejandro, *La inquieta superficie terrestre*, Fondo de Cultura Económica, México, 1ª reimpresión, 2009, pp. 14-15.

Para José Lugo Hubp,²⁴ el primer intento registrado donde un naturalista busca distanciarse de las fuentes bíblicas es el realizado por Georges Louis Leclerc, conde de Buffon,²⁵ quien en 1778 calculó el tiempo de enfriamiento de una esfera metálica y lo proyectó a las proporciones del planeta. Conjeturó de ese modo que la Tierra tenía una edad de casi 75 mil años, basado en el tiempo que debió transcurrir desde que era una masa incandescente hasta alcanzar la temperatura que tenía en ese momento.

En su *Teoría de la Tierra*²⁶ también expuso la hipótesis de que el planeta se había formado por el choque de un cometa con el sol, de modo que había sido al principio un cuerpo líquido e incandescente, hasta que se había enfriado. Sugería que la Tierra había tenido seis eras, que para él coincidían con los días que según el relato bíblico había tardado Dios en crear el mundo. Afirmaba que después de dicha creación, varias catástrofes de enorme magnitud habían ocurrido, pero que la conformación terrestre se debía más bien a otras causas, como: el movimiento de los mares, la acción del viento y de los ríos y las corrientes de agua.²⁷

En esta explicación se observa que a pesar de utilizar métodos empíricos para resolver la incógnita, en su explicación permanecían elementos de Antiguo Régimen, aspecto que puede observarse en los naturalistas de la época. Para una mejor idea de su pensamiento pueden retomarse las proposiciones que fueron consideradas opuestas a las de la religión católica.²⁸ La segunda proposición señalada por la censura hablaba del origen del planeta:

¿No puede imaginarse con alguna especie de verisimilitud, que un cometa, cayendo sobre la superficie del sol, haya hecho mudar de sitio á aquel astro, y desprendido de él algunas particillas, comunicándolas un movimiento de proyeccion [sic] de suerte que los planetas hubiesen sido en otro tiempo partes del cuerpo solar y separadas de él...?²⁹

²⁴ *Ibidem*, pp. 31-32.

²⁵ Georges Louis Leclerc (1725-1788), conde de Buffon. Naturalista, botánico y matemático francés, recordado por su estudio sobre el mundo natural.

²⁶ Para el presente estudio se utilizaron los tomos I y VI de la traducción al español de la versión que Cuvier publicó en 1833, Buffon, "Teoría de la Tierra. Tomo I", en: Cuvier, *Obras completas de Buffon, aumentadas con artículos suplementarios sobre diversos animales no conocidos por Buffon*, Barcelona, imprenta de A. Bergnes y C^a., 1832.

²⁷ *Ibidem*, Artículo XIX.

²⁸ Esta censura, sin embargo, permite observar el grado de influencia que todavía tenía en Francia la Iglesia Católica. *Ibidem*, pp. 178-179, 183-184.

²⁹ *Idem*.

Como se explica en el prólogo de la obra consultada, el Síndico y los diputados de la Facultad de Teología de París censuraron su obra “por contener principios opuestos á los de la religión”,³⁰ de modo que el conde de Buffon se disculpó y se comprometió a incluir en el primer tomo de su obra las explicaciones correspondientes, entre las cuales estaba el asegurar que sus hipótesis eran solamente de índole filosófica, y que no había querido ofender a las Sagradas Escrituras, en las que él mismo creía:

Que no ha sido mi ánimo contradecir ni oponerme al texto de la Sagrada Escritura, pues creo firmísimamente cuanto en ella se refiere relativo á la creacion, ya sea en cuanto al orden de los tiempos, ó ya en lo concerniente á las circunstancias; y que todo el contexto de mi obra sobre la formacion de la Tierra, y en general cuanto puede ser contrario á la narracion de Moisés, lo abandono, no habiendo presentado mi hipótesi sobre la formacion de los planetas sino como mera suposicion filosófica.³¹

A pesar de que Buffon tuvo que disculparse por lo dicho, para José Lugo el intento de datación del planeta fue loable, puesto que se puso en tela de juicio una verdad dogmática, de la cual no se tenían pruebas empíricas ni fundamento filosófico más allá de los textos sagrados, además de ser un esfuerzo basado ya propiamente en la experimentación.³² Por su parte, Francisco Pelayo destaca que el conde de Buffon fue uno de los naturalistas que emplearon “métodos cercanos al positivismo en el estudio de la naturaleza”.³³

Las obras de Buffon fueron traducidas a varios idiomas y leídas posteriormente por hombres como Georges Cuvier y Charles Lyell. Para el caso de España, resulta conveniente mencionar que la traducción al español de las obras completas del conde, realizada en 1835 y con base en la recopilación de Cuvier, fue actualizada por los editores con la obra de naturalistas como Charles Félix Blondeau, que había escrito *Manuel de Minéralogie ou traité élémentaire de*

³⁰ “Carta de los señores diputados y síndico de la Facultad de Teología de París a M. de Buffon”, Cuvier, *Obras completas...*, p. 177.

³¹ “Respuesta de M. de Buffon a los señores diputados y síndico de la Facultad de Teología de París”, *ibidem*, pp. 183-184.

³² Este esfuerzo realizado por Buffon representa un cambio de paradigma en tanto que se opuso a las creencias religiosas imperantes en la explicación del mundo. Lugo Hubp, José, *La superficie...*, pp. 31-32.

³³ Véase Pelayo, Francisco, “Las teorías de la tierra...”, p. 37.

cétte science d'après l'état actuel de nos connaissances,³⁴ más novedosa por esos años. Los editores conservaron el nombre de Buffon porque era una autoridad reconocida. Pilar Díez y Miguel Ángel Puche lo comentan de la siguiente manera:

...los editores, cuyos nombres no constan, nos informan en una *Advertencia* de que, en realidad, se trata de la obra de Blondeau porque “El tratado de *Mineralogía de Buffon* se resiente, como es muy natural, del atraso en que yacía la ciencia cuando escribió el ilustre Conde. Sería pues un verdadero anacronismo dar en el día á nuestros suscriptores una traducción de aquella parte de la historia de la naturaleza, tal cual se hallaba setenta años atrás” (Buffon, 1835:7). La publicación de ediciones de este tipo, calificadas por Capel de piratas, era una práctica habitual debido a la popularidad de que gozaron ciertos autores y, aunque él se refiere a la difusión de las obras de Geografía, vemos que alcanzaba a todas y en distintos siglos (Capel, 1990: 225-228).³⁵

Por esas fechas (finales del siglo XVIII y principios del XIX), Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck,³⁶ propuso su teoría del “transformismo” de las especies, que requería de tiempos más largos para que los organismos pudieran cambiar hasta alcanzar la variedad que tenían a inicios del siglo XIX.³⁷

Para Lamarck los seres vivos no son estáticos, cambian debido a dos mecanismos: la fuerza de la naturaleza que tiende hacia la perfección, y la influencia de las circunstancias, que hacen que la materia viva se adapte su entorno (clima, lugar y medio). El primer cambio es su postura central, desarrollada con base en la “cadena del ser”,³⁸ y el segundo le permite explicar las anomalías que contempla el primero. Se opuso a las ideas fijistas de esa época, al proponer una teoría donde los seres vivos tenían la capacidad de cambiar de acuerdo con las circunstancias.

³⁴ Blondeau, Charles Félix, *Manuel de Minéralogie ou traité élémentaire de cette science d'après l'état actuel de nos connaissances*, 2ª edición, París, 1827. En: Díez de Revenga Torres, Pilar, “El color de los minerales, ¿cuestión lingüística o técnica?”, *Revista de Investigación Lingüística*, Vol. VII-2004, pp. 91-104. Visto en: <http://www.um.es/dp-lengua-espa/revista/vol7/minerales.pdf> (Consulta el 3 de enero de 2012).

³⁵ Díez de Revenga Torres, Pilar y Miguel Ángel Puche Lorenzo, “Traducción, calco e innovación en la mineralogía española decimonónica”, en: *Cuadernos del Instituto de la Lengua*, 2009, 3, pp. 63-88. Disponible en: <http://dfe.uab.cat/neolcyt/images/stories/estudios/mineria/revpuc2009.pdf> (fecha de consulta: 28 de diciembre de 2012).

³⁶ Jean Baptiste de Monet, caballero de Lamarck (1744-1829), naturalista francés pionero en los estudios biológicos, conocido por su teoría transformista. *Enciclopedia Britannica...*, fecha de consulta: 28 de julio de 2013.

³⁷ Nava Pichardo, *La inquieta...*, p. 16.

³⁸ La cadena del ser, o escala natural es una idea que se desarrolló a partir del Renacimiento, según la cual existía un ordenamiento lineal y progresivo entre los seres, de los más simples hasta los más desarrollados, que culminaba en el hombre.

Esta teoría se ha considerado antecedente de la evolucionista por medio de la selección natural de Charles Darwin (1809-1882);³⁹ la diferencia estriba en el factor de cambio. Mientras Lamarck consideró que el uso constante de un órgano propicia su desarrollo –y el desuso su atrofia–, Darwin planteó que los individuos que tienen determinada característica más resaltada –un cuello más largo, por ejemplo–, son los que sobreviven y se reproducen. El darwinismo implica que los más aptos desplazan al resto del grupo y el lamarckismo contempla la evolución conjunta del grupo, que paulatinamente se adaptaría a las nuevas circunstancias.

La teoría lamarckiana ejemplifica cómo las teorías producidas son afectadas por su contexto. Es clara la influencia de la cadena del ser en su pensamiento, al igual que la teoría de que los seres vivos sufrían algunas modificaciones, que empezaba a circular en contraposición con el fijismo dominante. De igual forma, la “generación espontánea” le sirvió de base para su escala hacia la perfección, puesto que el primer eslabón consistiría en pasar de la materia inorgánica hacia la orgánica. Lamarck percibió que para su idea de los seres vivos tendientes a la perfección y los cambios fisiológicos tanto en los grupos más generales como en especies, se requería de un mayor tiempo de existencia del planeta.⁴⁰

...Nada existe, por tanto, en la observación que acaba de ser citada que resulte contrario a las consideraciones que llevo expuestas sobre este asunto, ni que pruebe que los animales de que se trata hayan existido en todo tiempo en la Naturaleza, pues demuestra solamente que vivían en Egipto hace dos ó tres mil años. Y todo hombre que posee el hábito de reflexionar y de observar al propio tiempo los documentos de la enorme antigüedad que muestra la Naturaleza, aprecia en su verdadero valor la insignificante cifra de tres mil años con relación a las épocas geológicas.⁴¹

³⁹ Charles Darwin (1809-1882), fue un naturalista inglés que realizó estudios sobre aspectos geológicos con base en el uniformismo de Charles Lyell, pero es más conocido por su teoría de la evolución de las especies por medio de la selección natural. Doren, *Breve historia...*, p. 404; Darwin, Charles, *Autobiografía*, Madrid, Alianza Cien, 1993, 94 p.

⁴⁰ Como señala Gustavo Caponi, la diferencia entre las posturas de Lamarck y Darwin se explica por la pregunta que cada uno intenta responder. Para el primero, es ¿por qué los seres vivos no suben lineal y ordenadamente por la cadena del ser?, mientras que el segundo quiere saber ¿cómo se adaptan los seres vivos al ambiente para sobrevivir? A partir de sus presupuestos, llegan a respuestas diferentes. Para Lamarck, su teoría sobre el cambio en los seres vivos era auxiliar para su teoría principal, en tanto que para Darwin, su teoría de la evolución de las especies por medio de la selección natural era central en su investigación. Tema interesante que no es objeto del presente trabajo. Para mayores referencias véase Gustavo Caponi, “Retorno a Limoges, la adaptación en Lamarck”, *Asclepio*, Madrid, 2006, V. LVIII, Núm. 1, enero-junio, pp. 7-42.

⁴¹ Lamarck, caballero de (Jean-Baptiste Monet) *Filosofía zoológica*, Editorial Alta Fulla “Mundo científico”, Barcelona, 1986, pp. 62-63. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/86189838/Lamarck-Filosofia-zoologica> (fecha de consulta: 14 de julio de 2013).

Aún con estos progresos, la edad de la Tierra representaba todavía una incógnita de difícil solución. Lo más que se llegaba era a inferir que tenía más años, pero no se disponía de pruebas contundentes o de una metodología que pudiera determinar el tiempo exacto y que además fuera convincente. De acuerdo con Francisco Pelayo, se tuvo que esperar a que se sentaran las bases de la Geología moderna para que surgiera una teoría que pudiera explicar la formación de la corteza terrestre y el tiempo que debió llevarle llegar al aspecto que tenía en la centuria decimonónica, puesto que las diferentes metodologías durante los siglos XVIII y primera mitad del XIX, se limitaban a realizar generalizaciones donde se mezclaba evidencia empírica con “meras especulaciones”.⁴²

1.1.2 La Geología como ciencia autónoma

No es de extrañar que se intentara esta separación de la teología en la búsqueda de las explicaciones sobre el origen y la edad de la Tierra en los siglos XVIII y XIX, periodo que, además de coincidir con la profesionalización y delimitación epistemológica de otras ciencias como la Biología, también corresponde a la Revolución Industrial. Fue entonces, una necesidad para la ciencia moderna. Para Carmina Virgili, los cambios en la economía y en el sistema de producción provocaron:

...una revalorización de las materias primas, especialmente el hierro y el carbón, [que] contribuyó al avance de la minería y mineralogía. También las nuevas obras públicas, carreteras, ferrocarriles, túneles, canales de riego y navegación, mostraron la necesidad de conocer las características del subsuelo y por tanto de establecer una cartografía geológica. No es de extrañar que fuera en Gran Bretaña y en Europa Central (Prusia especialmente) donde aparecieran las primeras escuelas importantes de geología.⁴³

Por otra parte, para Alejandro Nava Pichardo, el debilitamiento del poder represivo de la Iglesia a finales del siglo XVII favoreció “la libre expresión del pensamiento humano”,⁴⁴ con lo cual se tuvo mayor facilidad para explicar los fenómenos de la superficie terrestre, sin olvidar que este debilitamiento no fue total, como lo muestra el hecho de que a Buffon se le hubiera considerado hereje al exponer sus ideas en el último tercio del siglo XVIII. El castigo dejó de ser físico

⁴² Véase Pelayo, Francisco, “Las teorías geológicas...”, p. 11.

⁴³ Virgili, Carmina, *Lyell...*, p. 24.

⁴⁴ Nava Pichardo, *La inquieta...*, p. 15.

y se volvió moral, como lo muestra el que dicho naturalista francés tuviera que publicar al principio de su obra una “retractación” de sus hipótesis.

En este cambio de siglo los filósofos estaban en la búsqueda de los principios racionales y universales para explicar el mundo, en un distanciamiento de la escolástica característica del Antiguo Régimen. Este proceso, sin embargo, no fue inmediato, como demuestra el hecho de que apenas en 1992 la Iglesia católica rehabilitó a Galileo Galilei, tras condenarlo en 1633 por afirmar que la Tierra se mueve alrededor del Sol.⁴⁵

Las sociedades científicas

Un aspecto que también resulta relevante para el progreso de la ciencia y la tecnología que se vivió en el siglo XIX, fue la formación de agrupaciones que trataban de impulsar el desarrollo científico. Surgieron en un inicio como una especie de “club social” donde los caballeros se reunían para hablar de los aspectos científicos que estaban de moda en aquellos momentos, pero más adelante –a finales del siglo XVIII y principios del XIX–, consolidaron su objetivo y sus estatutos, y aceptaron en sus filas solamente a quienes por su trayectoria científica o por algún trabajo destacado, demostraban que tenían los conocimientos necesarios para pertenecer a ellas.

Lo anterior es otra muestra más del proceso de cambio en el *espíritu del tiempo* que se vivió en los siglos XVIII y XIX: por un lado las explicaciones racionales mediante la observación y la experimentación, y por el otro, los gobiernos y las industrias se dieron cuenta de la importancia del desarrollo científico para la consecución de fines económicos, políticos y sociales. La tendencia fue considerar que el desarrollo del conocimiento, de la ciencia y de la técnica haría que la sociedad subiera por la escala hacia la perfección.⁴⁶

⁴⁵ “Juan Pablo II rehabilita hoy a Galileo, 359 años después de que fuera condenado”, en: *El País*, Madrid, 31 de octubre de 1992, sección: Sociedad. Archivo disponible en línea: http://elpais.com/diario/1992/10/31/sociedad/720486009_850215.html (fecha de consulta: 15 de julio de 2013).

⁴⁶ Si bien las teorías evolucionistas se dieron desde inicios del siglo XIX con Lamarck y posteriormente con Darwin, sí existía una tendencia a considerar que los organismos tendían de manera ligera hacia la perfección. Ya con el evolucionismo, esta tendencia se hizo más fuerte, y se consideraba al progreso como el medio para llegar a un desarrollo superior.

La organización más antigua dedicada a la Geología es la *Geological Society*, también formada en su inicio por personas que, salvo uno de sus integrantes, no eran geólogos. En ella privaban en un inicio intereses de adquirir una posición respetable en el mundo de las ciencias, en lugar de hacer hincapié en el desarrollo del conocimiento. Pero esta situación cambió en 1820, a decir de Carmina Virgili, porque ingresó un grupo de geólogos jóvenes que pronto encaminó los intereses del grupo hacia la dirección del conocimiento.⁴⁷

Virgili describe el papel de las sociedades científicas en la sociedad londinense: “en Inglaterra las sociedades científicas tienen una gran importancia a partir del siglo XVII, quizá por la dificultad de sus universidades para abrirse a las nuevas ciencias”.⁴⁸ Para Luz Fernanda Azuela, “estas asociaciones cumplieron la función de crear una comunidad reconocible de profesionales y aficionados a la ciencia”.⁴⁹

Otra característica de estas agrupaciones fue el deseo de comunicar a la sociedad los experimentos o conclusiones a que llegaban, y también divulgar la ciencia. En este sentido, Luz Fernanda Azuela manifiesta que esta tendencia se dio para “alimentar el interés de la sociedad en el progreso de la ciencia. Este estaría fundado en su eventual aplicabilidad para el bienestar social”. Se hicieron revistas, reuniones periódicas, conferencias, debates y concursos, que llamaron la atención de la sociedad.⁵⁰

Se buscaba atraer del gobierno fondos para colecciones, gabinetes y experimentos. En el caso francés es evidente la estrecha relación que lograron algunos hombres de ciencia con Napoleón, al recibir financiamiento para la creación de sociedades científicas. Un ejemplo es la Sociedad de Arcueil, creada

⁴⁷ Virgili, Carmina, *Lyell...*, p. 80.

⁴⁸ *Idem*.

⁴⁹ Azuela Bernal, Luz Fernanda, *Tres sociedades científicas en el Porfiriato, las disciplinas, las instituciones y las relaciones entre la ciencia y el poder*, Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, A.C./Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl/UNAM, 1996, p. 12.

⁵⁰ *Ibidem*, p. 13.

por Claude Louis Berthollet⁵¹ y Pierre-Simon Laplace de manera informal en 1807, y que en más de una ocasión recibió dinero del emperador.⁵²

Luz Fernanda Azuela acierta cuando dice que no sería correcto oponer las sociedades científicas a las universidades, dado que los maestros llegaron a pertenecer a ambas, pero sí hubo una relación, en tanto que “en los lugares donde las universidades se modernizaron, como Alemania y Estados Unidos, el papel de las sociedades científicas no fue tan relevante”,⁵³ dado que los sabios contaron con lugares apropiados para socializar su conocimiento y no tuvieron que crearlos.

Institucionalización de la ciencia

Fue hasta que se creyó en la utilidad de los conocimientos para el progreso del país, y que el avance científico y técnico marchaba a la par con el desarrollo de la sociedad, cuando los gobiernos comenzaron cambiar su concepción acerca de la enseñanza de las ciencias, factor que coadyuvó la institucionalización de las mismas.

Un visionario sobre esta relación fue Napoleón Bonaparte. Desde antes de investirse como emperador mostró gran interés por la ciencia, a la que supo combinar con las exploraciones o invasiones. Un ejemplo es la exploración hacia Egipto, a la que llevó gran número de científicos, entre los que se encuentran Gaspard Monge, Dieudonné Dolomieu,⁵⁴ Claude-Louis Berthollet, entre otros. Además, sentó las bases para la institucionalización de la ciencia en Francia, al reformar la enseñanza, crear institutos que reemplazaran a los de Antiguo Régimen, como el Instituto Nacional de Ciencias y Artes –creado en 1795–, que

⁵¹ Claude-Louis Berthollet (1748-1822). Figura importante en la historia de la química moderna, quien combinó sus habilidades experimentales con proposiciones teóricas acerca de la naturaleza de las reacciones químicas. *Encyclopaedia...*, fecha de consulta: 10 de agosto de 2013.

⁵² Sobre este tema, y para profundizar en la relación que tuvo Napoleón con la élite científica, véase Sánchez Ron, José M., *El poder de la ciencia*, Crítica, Barcelona, 2010, pp. 34-38.

⁵³ Azuela Bernal, *Tres sociedades...*, p. 12.

⁵⁴ Gaspard Monge (1746-1818). Matemático francés inventor de la geometría descriptiva, figura importante durante la Revolución francesa puesto que ayudó al establecimiento del Sistema Métrico Decimal y de la Escuela Politécnica. Por su parte, Dieudonné Dolomieu (1750-1801) fue un geólogo y mineralogista francés en cuyo honor se nombró al mineral dolomita.

sustituyó a la Academia Francesa y otras academias reales, abolidas por la convención revolucionaria.⁵⁵

De lo anterior se puede derivar que la temporalidad y los escenarios de los primeros debates sobre la estructura y edad de la Tierra fueron Gran Bretaña y países como Prusia y Francia por tres razones: porque en esta parte del mundo el racionalismo fue acogido por los hombres de ciencia, constituyendo un “espíritu de su tiempo” que buscaría reemplazar la sociedad del Antiguo Régimen por otra de orden científico y racional;⁵⁶ porque la práctica científica en esos países comenzó a requerir estudios más profundos y para ello se formaron escuelas especiales, diferentes de las escolásticas; y en tercero, porque se disponía de un sistema para la difusión de ideas, que consistía en la creación de sociedades científicas con publicaciones propias. Además del interés y el capital para hacer las investigaciones en terrenos empíricos. Solamente cuando estos requisitos fueron reunidos, pudo darse el siguiente paso hacia el conocimiento del planeta.

En el camino hacia la demarcación de la Geología como ciencia independiente, debían cubrirse ciertos aspectos comunes a las disciplinas autónomas. Susana Pinar menciona como características para que una ciencia se considere como tal, las siguientes:

Organizar los conocimientos de modo sistemático, capaz de revelar patrones de relaciones entre fenómenos y procesos, proveer explicaciones para la secuencia de sucesos ocurridos y, por último, proponer hipótesis explicativas que pudieran ser accesibles a la observación y la refutación.⁵⁷

Otra diferencia que puede observarse entre la Geología y ciencias como la Física o la Química a mediados del siglo XVIII, tiene que ver con el tipo de conocimiento y el trabajo de laboratorio: para las dos últimas, si bien trataban sobre la naturaleza, también es cierto que los fenómenos de estudio podían conocerse y reproducirse en laboratorio, en tanto que la Geología tenía como

⁵⁵ Sánchez Ron, *El poder...*, pp. 23, 30.

⁵⁶ Para ampliar la comprensión de esta tendencia, véase Alder, Ken, “A Revolution to Measure. The Political Economy of the Metric System in France”, en Norton Wise (ed.), *The Values of Precision*, New Jersey, Princeton University Press, 1995, p. 41.

⁵⁷ Pinar, Susana, “El peso del carácter, algunas consideraciones sobre la historia de la botánica española en el tránsito de sistemas”, *Asclepio*, Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia, Vol. XLVIII, Fascículo 2, Madrid, 1996, p. 8.

laboratorio todo el planeta, y además los tiempos en que suceden los fenómenos son muy amplios como para que el ser humano pudiera constatar los cambios. Esto es otro elemento a considerar para explicar las características distintivas de la ciencia geológica y el porqué de su dificultad para constituirse como ciencia autónoma.⁵⁸

La presente investigación se alinea con los autores que consideran que la Geología, como ciencia, nació con los trabajos de Abraham Gottlob Werner en la escuela de Freiberg, dado que él se encargó de sistematizar el conocimiento de la naturaleza y de realizar clasificaciones con base en las características de los minerales. Francisco Pelayo sostiene que la fecha de 1775, año en que es nombrado profesor de Mineralogía, puede ser tomada como punto de partida para la organización de las ciencias geológicas.⁵⁹

En esa escuela, Abraham Gottlob Werner había desarrollado el primer intento de clasificación cronológica de los materiales de la corteza terrestre de acuerdo con los distintos estratos que ésta posee, con lo cual estaba sentando las bases para el desarrollo de la Geología como ciencia (véase en el Anexo, Clasificaciones de terrenos y periodos de Werner).⁶⁰ La escuela alcanzó tal eminencia que varios destacados personajes acudieron a ella para estudiar mineralogía. Entre ellos se encontraban Alexander von Humboldt, Andrés M. del Río y Juan José y Fausto Delhúyar,⁶¹ quienes más adelante viajarían a la

⁵⁸ Para ampliar el conocimiento sobre las particularidades del método del geólogo, consultar: Bradley, W. H., "Leyes geológicas", en: Albritton, C. C. Jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, Cía. Editorial Continental, 1970, pp. 25-38; Kitts, D. B. "Teoría de la Geología", en: Albritton, *Filosofía...*, pp. 71-94.

⁵⁹ Pelayo, Francisco, *Las teorías geológicas...*, p. 10.

⁶⁰ Virgili, Carmina, p. 28.

⁶¹ Alexander von Humboldt (1769-1859). Viajero y científico prusiano que realizó importantes contribuciones en el estudio de la naturaleza, particularmente en la geografía física y la biogeografía. Se le reconoce su importancia en la creación de redes en el mundo científico, y su contribución a la popularización de la ciencia, sobre todo con su libro *Cosmos*. Rebok, Sandra, "Introducción", en: Humboldt, Alexander von, *Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo*, Madrid, Los libros de la Catarata/CSIC, 2011, pp. XII-XVII. Juan José (1754-1796) y Fausto Delhúyar (1755-1833) son dos hermanos españoles que descubrieron el elemento Wolframio. En 1786, Fausto Delhúyar fue nombrado por el rey Director General del Real Cuerpo de Minería de México y del Real Seminario de Minería, que abrió sus puertas en 1792. Regresó a España tras la Independencia de México, en 1821. En: "Fundación del Colegio de Minería", en: *Real Seminario de Minería, El Colegio de Minería*. Facultad de Ingeniería-UNAM, División de Educación Continua y a Distancia. Disponible en: http://www.palaciomineria.unam.mx/historia/colegio_de_mineria_1.php (fecha de consulta: 10 de agosto de 2013).

entonces Nueva España para organizar el estudio y desarrollo de la práctica minera.

Werner enseñó a sus discípulos la teoría que desarrolló: el neptunismo, la cual consideraba el origen marino de todas las rocas, formadas por precipitación y sedimentación en una época en que la Tierra debía haber estado cubierta por agua. Para él, las rocas cristalinas habían sido las primeras en formarse en el océano, de modo que fueron llamadas primordiales; de manera opuesta, afirmó que las sedimentarias se habían formado posteriormente.⁶²

Para sabios del siglo XVIII el neptunismo se convirtió en la teoría que explicaba mejor las características de la superficie del planeta, su estructura y composición,⁶³ lo cual, aunado a la organización y delimitación de la Geología, al establecimiento de una clasificación propia y a la conformación de un grupo –o comunidad– que siguió estos principios, cumple con los aspectos que para Kuhn debe tener una teoría para convertirse en paradigma. Es por esto que autores como Francisco Pelayo son de la idea de que con Werner se delimitó la Geología. Y el paradigma dominante hacia finales del siglo XVIII fue el neptunismo.

Sin embargo, el escocés James Hutton, al observar que el neptunismo no alcanzaba a explicar la formación de las rocas basálticas propuso poco después otra teoría, denominada plutonismo. Al haber realizado más observaciones en el campo llegó a la conclusión de que había rocas que no podían haberse formado de la manera como Werner afirmaba, y que su origen más bien se debía a la consolidación de lava producto de erupciones volcánicas.⁶⁴ Estas diferencias ocasionaron una discusión entre neptunistas y plutonistas que abarcó el periodo de 1790 a 1810,⁶⁵ hasta que el peso de las evidencias empíricas volvió insostenible el neptunismo.

Que el neptunismo hubiera presentado inconsistencias no le resta méritos a Werner, puesto que fue él quien comenzó con la organización de la Geología

⁶² Pelayo, *Las teorías geológicas...*, p. 9.

⁶³ Entre ellos Pedro Blasco de Negrillo, en cuyo punto de vista se profundizará más adelante. *Ibidem*, p. 46.

⁶⁴ Véase Pelayo, Francisco, *Las teorías geológicas...*, pp. 11-14.

⁶⁵ Uribe Salas, José A. y María T. Cortés Zavala, "Andrés del Río, Antonio del Castillo y José G. Aguilera en el desarrollo de la ciencia mexicana del siglo XIX", *Revista de Indias*, 2006, vol. LXVI, Núm. 237, pp. 491-518.

como ciencia, aspecto en el cual Hutton también fue partícipe. A decir de Francisco Pelayo:

Los historiadores de la Geología coinciden por lo general en señalar que las concepciones positivistas de la Geología moderna surgieron a finales del XVIII, más concretamente en el último cuarto de dicho siglo. Los nombres de Abraham Werner y James Hutton se citan como dos de los pilares fundamentales alrededor de los cuales giraron los nuevos métodos basados en la observación, la contrastación y la experimentación, de aquí que no se pueda hablar de una historia de la Geología sin remontarse necesariamente a sus inicios en los últimos años del siglo anterior.⁶⁶

En cuanto a James Hutton, su aportación en el avance de la conformación de la Geología no fue la única que realizó: gracias a sus observaciones sobre la naturaleza y las formaciones rocosas, concluyó que no había indicios del principio ni del fin de la existencia de la Tierra, hecho que lo llevó a postular en 1785⁶⁷ el modelo del ciclo geológico, que “se inicia con la erosión y sedimentación por acción de los agentes geológicos externos y se completa con la consolidación de las rocas y el plegamiento y formación de las cordilleras por acción de las energías internas”.⁶⁸ Había nacido el uniformismo.⁶⁹

1.2 Catastrofismo y uniformismo en la mesa de debate

1.2.1 Uniformistas *versus* catastrofistas

Francisco Pelayo es un historiador que se ha ocupado del desarrollo de la Geología en Europa y particularmente en España.⁷⁰ Para este investigador ha sido importante resaltar los debates entre uniformitaristas y catastrofistas porque a finales del siglo XX varios autores los retomaron en artículos e investigaciones, dado que se ha vuelto a discutir la validez metodológica del catastrofismo y del

⁶⁶ Pelayo, *Las teorías...*, p. 8.

⁶⁷ Nava Pichardo, *La inquieta...*, p. 16.

⁶⁸ Ver Virgili, *Lyell...*, p. 39.

⁶⁹ Aunque en la antigüedad ya se había manejado este término y los griegos discutían sobre esto, en su versión moderna tiene como antecedente a James Hutton. Véase Pelayo, “Teorías de la Tierra...”, pp. 21-52.

⁷⁰ Véase Pelayo, *Las teorías geológicas...*, y “Teorías de la tierra...”, pp. 21-52.

uniformismo por el “nuevo marco catastrofista en el que se discute actualmente la interpretación del pasado de la Tierra”.⁷¹

En el siglo XIX, por postular el origen acuoso de las piedras, el neptunismo era heredero del diluvianismo, de modo que resultó una teoría aceptada por los hombres del Antiguo Régimen, que a inicios de esta centuria seguían sosteniendo que la Tierra se había creado como marcaba la Biblia, si bien es cierto que con algunos ajustes “permitidos” por la ambigüedad de ciertos pasajes de las Sagradas Escrituras,⁷² ajustes que les permitían disminuir un poco la distancia con la evidencia científica que se estaba creando. De esta forma, y principalmente los diluvistas británicos, continuaron defendiendo las teorías basadas en la creación de la Tierra por un Ser Superior.⁷³

Para 1830, en Europa comenzó un nuevo debate en lo referente a las Ciencias de la Tierra: el suscitado entre catastrofistas y uniformistas. Los primeros postulaban que las alteraciones en la corteza terrestre eran producto de violentos y repentinos cataclismos, que terminaban con la vida tanto del mar como de la Tierra y daban paso a creaciones sucesivas. Comenzó a considerarse que había correspondencia entre la flora y la fauna con su periodo geológico, así que los fósiles pertenecían a determinada época; aseguraban también que las especies habían sido siempre iguales desde su creación hasta su destrucción repentina.⁷⁴

Uno de los máximos exponentes del catastrofismo fue Georges Cuvier, profesor y naturalista francés cuyas aportaciones al estudio de los fósiles llevaron a considerarlo el padre de la Paleontología⁷⁵ y de la Anatomía Comparada ya que

⁷¹ Pelayo, Francisco, “Teorías de la tierra...”, pp. 21-52. Como ya se vio en la introducción, este investigador separa los conceptos de “sistema” y “metodología”, de modo que en lugar de ver un debate entre catastrofistas y uniformistas, dimensiona varios puntos intermedios entre ambos sistemas.

⁷² Resalta el que se hayan interpretado los días como eras o edades de la Tierra, o que, al no existir el Sol en los primeros días de la Creación, se pudiera afirmar que no existía tampoco el movimiento de rotación en torno suyo, de modo que el primer día podría haber tenido diferente duración.

⁷³ Pelayo, Francisco, “Las teorías geológicas...”, p. 11.

⁷⁴ *Ibidem*, p. 22.

⁷⁵ La paleontología estudia los seres orgánicos cuyos restos se encuentran fosilizados. Nació como ciencia en el siglo XVIII, gracias a los trabajos de Georges Cuvier.

estableció el principio de correlación de órganos, el cual explica que los animales tienen sus órganos adaptados al tipo de alimentación que tienen.⁷⁶

Criticó a Lamarck por su teoría del transformismo, y a Charles Lyell por las mismas cuestiones: para ambas teorías se requería un tiempo muy largo, de millones de años de vida del planeta. Para Cuvier (1769-1832), la superficie de la Tierra había adquirido su fisonomía actual gracias a las grandes catástrofes de la antigüedad, basado en el registro fósil.⁷⁷ De igual manera, consideraba que las especies cuyos fósiles guardaban las entrañas terrestres, correspondían a los animales extintos en dichas catástrofes, y eran distintos en todo a los actuales. Se oponía tanto a la tesis de Lamarck como a la de Lyell, en tanto que defendía que la Tierra tenía una edad de seis mil años.

Observar que ciertos fósiles se encontraban en determinadas capas de Tierra –esto es, el registro fósil– en distintas partes del mundo, ayudó a otros naturalistas a establecer la correlación entre dichas capas de terreno y el tiempo transcurrido.

Los uniformistas, por el contrario, consideraban que el mundo iba cambiando muy lentamente, mediante ciclos que se repetían de igual manera y con la misma intensidad, de modo que era posible estudiar los cambios del pasado por medio de los que sucedían en el presente. Su teoría tenía dos postulados básicos, que se convirtieron en la base de la Geología moderna:⁷⁸ la duración de la Tierra es mucho mayor de lo que se creía entonces, y para entender y explicar las causas del origen de los fenómenos terrestres, había que observar y analizar procesos como la erosión, la sedimentación, los terremotos y los volcanes.⁷⁹

Aunque Hutton propuso la base del uniformismo, su redacción fue poco clara, de modo que su libro, *Theory of the Earth*,⁸⁰ publicado en 1788, casi no se

⁷⁶ Pelayo, Francisco, “Las teorías geológicas...”, p. 22.

⁷⁷ Cuvier, Georges, *Discours sur les révolutions de la surface du globe*, Paris, 1812.

⁷⁸ Postulados con los que concordaba Charles Darwin y que de hecho fueron retomados para posteriormente explicar su teoría de la evolución de las especies, en tanto que una superficie terrestre con cambios lentos y graduales permitiría dicha evolución, mientras que una serie de catástrofes la impediría. Véase: Darwin, Charles, *El origen de las especies por medio de la selección natural*, Editorial Diana, México, 1953, pp. 356-360.

⁷⁹ Virgili, Carmina, *Lyell...*, pp. 89, 92.

⁸⁰ Su primera versión fue leída a los miembros de la Real Sociedad de Edimburgo en 1785: Hutton, James, “Theory of the Earth, or an Investigation into Laws observable in the Composition,

tomó en cuenta hasta que John Playfair se encargó de volverlo a explicar en artículos y libros.⁸¹ Fue otro británico, Charles Lyell, el exponente más destacado del uniformismo. Para investigadores como Carmina Virgili, Francisco Pelayo, Forest Ray Moulton y Justus J. Schifferes,⁸² fue el creador de la Geología moderna. Su obra, *Principios de Geología* se publicó entre 1830 y 1833.

De acuerdo con Virgili, Charles Lyell presentó buena parte de su producción –en la que se encargó de ampliar los conceptos de James Hutton– en la *Sociedad de Geología de Londres*, a la que perteneció desde los 22 años.⁸³

En lugar de cataclismos, ofreció al mundo cambios lentos y constantes. Bajo la premisa de que “los fenómenos geológicos actuales son los mismos que han actuado en la historia de la Tierra”, fue posible explicar la evolución de la Tierra, y con ella, su estructura y origen, aspecto de gran importancia porque Charles Darwin llevó consigo *Principles of Geology* para leerlo durante su viaje en el “Beagle”, mismo que le sirvió de fundamento poco tiempo después para elaborar su teoría de la evolución de las especies. De la obra de Lyell, comentó:

Quien pueda leer la gran obra de Sir Charles Lyell sobre los principios de la geología, que el historiador futuro reconocerá que ha producido una revolución en la ciencia natural; y después de leerla no admita aún cuán vastos han sido los períodos del tiempo transcurrido, cierre en seguida este volumen. [...] Mejor podremos formarnos una idea del tiempo pasado conociendo los factores que actúan y aprendiendo cuán profundamente se ha desnudado la Tierra, y cuánto sedimento se ha depositado. Como bien observa Lyell, la extensión y espesor de nuestras formaciones sedimentarias son el resultado y la medida de la erosión que la corteza de la Tierra ha sufrido en todas partes.⁸⁴

De este modo, historiadores como Carmina Virgili y Francisco Pelayo coinciden en señalar a Lyell como el principal evolucionista del mundo físico, además de ser quien mejor desarrolló los conceptos de esta teoría y propuso con claridad el tiempo geológico, que finalmente llevaría a terminar con los mitos

Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe”, en: *Transactions of the Royal Society of Edimburgh*, 1788, pp. 209-304. En 1795 publicó una versión más completa de su teoría bajo el título de *Theory of the Earth with Proof and Illustrations*, en dos tomos.

⁸¹ John Playfair (1748-1819). Geólogo y matemático escocés conocido por la explicación que hizo de las ideas uniformitaristas de Hutton. Playfair, John, *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*, 1802.

⁸² Para estos dos últimos autores, Véase Moulton, Forest Ray y Justus J. Schifferes, *Autobiografía de la ciencia*, versión española de Francisco A. Delpiane, 1ª edición en español, Fondo de Cultura Económica, México, 1947, pp. 320-326.

⁸³ *Ibidem*, p. 322.

⁸⁴ Darwin, *La evolución...*, p. 319.

acerca de la creación tal como estaba explicada en la Biblia. Su libro *Principios de Geología*, aportó los elementos que hacían falta para comprender que la edad de la Tierra era mucho mayor de la considerada con base en la Biblia. Aunque esta teoría no fue aceptada de manera inmediata, hizo posible la comprensión del tiempo geológico.⁸⁵

Por otra parte, en las discusiones entre catastrofistas y uniformistas los principios del Antiguo Régimen se encontraban detrás del catastrofismo, ya que esta tesis se adaptaba mejor a la idea de una sola Creación divina y posteriores cataclismos –como el Diluvio Universal–. Al quitarles esta posibilidad, no solamente se estaría avanzando en el estudio de las Ciencias de la Tierra: se quitaría a la ciencia en general una venda de los ojos, para apreciar la amplitud del tiempo geológico y eliminar uno de los últimos bastiones de la iglesia para explicar los fenómenos naturales por medio de la religión.

Pero no solamente el aspecto religioso se vio afectado por el uniformismo. En el seno de las ciencias algunos eminentes investigadores no concordaron con los postulados del uniformismo; entre ellos cabe destacar, por su trayectoria y aportes en el estudio de la Física, a William Thomson –después conocido como Lord Kelvin–, quien consideraba la edad de la Tierra mucho menor de la que Lyell postulaba.⁸⁶

Famoso por haber contribuido a la creación de la segunda ley de la Termodinámica, el físico se mostró en contra de los planteamientos uniformistas sobre los periodos tan largos de existencia del planeta, con lo cual los catastrofistas, que consideraban los tiempos cortos, tuvieron un renovado empuje.⁸⁷

⁸⁵ En sus primeras ediciones, el mismo Charles Lyell fue muy cauto al hablar de los tiempos geológicos. Fue hasta casi cincuenta años después de publicar *Principles of Geology* que decidió hablar de los mismos. Véase Moreno, Pedro, *El explorador del tiempo, Charles Lyell*, 1ª edición, Pangea Editores, México, 1988, 114 p.

⁸⁶ William Thomson (1824-1907), físico y matemático escocés famoso por su contribución en los campos de la termodinámica y la electricidad. Desarrolló la segunda ley de la termodinámica y también la escala de temperatura Kelvin, o del cero absoluto. “William Thomson, Baron Kelvin”, *Enciclopedia...*, fecha de consulta: 28 de julio de 2013.

⁸⁷ Para una mayor referencia de este debate, consúltese: Alemán Berenguer, Rafael Andrés, “Kelvin versus Darwin: choque de paradigmas en la ciencia decimonónica”, en: *Lull*, Vol. 33, Núm. 71, 1er semestre, 2010, pp. 11-24. Visto en: Dialnet-KelvinVersusDarwin-3353400.pdf (fecha de consulta: 24 de marzo de 2013).

Thomson utilizó los principios de la Termodinámica para explicar su postura, que comulgaba con las de Descartes, Leibniz y Buffon, ya presentadas líneas atrás: la Tierra, formada en su interior por rocas fundidas, se iba enfriando paulatinamente. Calculó su tasa de enfriamiento y llegó a la conclusión de que para 1868 tenía una edad de 98 millones de años. Conforme se fue avanzando en la discusión, el físico británico fue radicalizando su postura, de modo que para 1897 llegó a proponerla en tan sólo 25 millones de años.⁸⁸

Valga hacer aquí una pausa para señalar que además de las explicaciones sobre la edad del planeta, la conformación de la corteza terrestre, el origen de las rocas o su clasificación, en el interior de estas discusiones se planteaba un asunto más profundo: la constitución y delimitación de las Ciencias de la Tierra. Cada teoría tenía implícitas una concepción del tipo de trabajo y una metodología a utilizar, que daban la pauta para seleccionar los fenómenos que debían ser estudiados, las razones de hacerlo y la forma en que debía hacerse; por otra parte, en torno de las teorías también comenzaron a agruparse científicos y asociaciones que las apoyaban por medio de debates en foros y publicaciones. Esto produjo que el campo de estudio de las Ciencias de la Tierra poco a poco se fuera conformando y delimitando.

La importancia del tiempo geológico

En este recorrido que se ha realizado para revisar las teorías sobre la edad de la Tierra se retomaron los trabajos de unos cuantos naturalistas y geólogos; sin embargo, fueron más los que aportaron en la construcción del desarrollo de las ciencias de la Tierra entre los siglos XVIII y XIX. Esto es debido a que lo expuesto se considera suficiente en tanto proporciona un panorama general que cumple con el propósito de este apartado, de centrar los antecedentes del uniformismo para, en los capítulos subsiguientes, observar su desarrollo en México.

Lo que se debe resaltar en este momento es que el conocimiento de la Tierra, además del esfuerzo realizado por los hombres de ciencia, debe su avance en los siglos XVIII y XIX a la conjunción de elementos de distinta índole: los

⁸⁸ *Idem.*

caballeros ilustrados que tenían tiempo libre y formaron sociedades científicas para participar en discusiones, exploraciones y divulgación de la ciencia; el debilitamiento de la Iglesia como inhibidora del pensamiento científico, sobre todo en los países donde se dio la Revolución Industrial; el desarrollo de la física, la química y la historia natural; la toma de conciencia por parte del gobierno sobre la importancia de la ciencia como elemento de imperialismo y hegemonía sobre otros países; el propio desarrollo industrial que requería la excavación de minas y el conocimiento del subsuelo, entre los más importantes.

Estos elementos en su conjunto propiciaron un ambiente que hizo que los hombres variaran las preguntas de sus hipótesis de trabajo, y en lugar de preguntarse aspectos determinados sobre la creación, llegaran a querer develar la existencia de la Tierra por medio de lo que podían observar y demostrar. Al alejarse del pensamiento de Antiguo Régimen –esto es, al modernizar su práctica científica con el método uniformista–, pudieron llegar a la concepción de un tiempo mayor de existencia de la Tierra, cuyo impacto José Alfredo Uribe explica de la siguiente manera:

La gente, que estaba acostumbrada a pensar en un mundo recientemente creado, en una breve historia de seis mil años a lo sumo, recibía un terrible golpe conceptual: descubrían que su tiempo, el tiempo de sus vidas, prácticamente no contaba en la inmensidad de los tiempos geológicos, descubrían que los ríos y los océanos, las montañas y los volcanes, eran mucho más importantes y más antiguos que ellos, que sus culturas y civilizaciones. Pero no un poco más antiguos, mucho, pero mucho más antiguos; tanto, que resultaba difícil de creer.⁸⁹

En efecto, resultaba difícil de creer esta nueva concepción del tiempo de la Tierra, y como ya se mencionó, existían algunas piezas que integrar al rompecabezas para que esta nueva concepción fuera aceptada en las sociedades científicas. El descubrimiento de la radioactividad en 1896 demostró que sí había una fuente de energía terrestre, de modo que quedó comprobado que la Tierra no se estaba enfriando y los cálculos que le daban un tiempo mucho menor –realizados bajo este supuesto– quedaron invalidados.⁹⁰

⁸⁹ Uribe Salas, José A., “Institucionalización de las ciencias de la tierra en México, siglo XIX”, (apuntes), UMSNH, p. 7.

⁹⁰ Cabe destacar que fue hasta 1903 cuando se comenzó a pensar en su utilización para datar fósiles. Véase: Becquerel, Antoine H., *On radioactivity, a New Property of Matter, Nobel Lecture*,

Para José Lugo, la importancia del uniformismo en la historia no solamente de la Geología sino también de la ciencia en general es tal, que no duda en colocar a James Hutton y Charles Lyell junto a Copérnico, Galileo y Darwin:

Copérnico y Galileo quitaron a la Tierra del centro del Universo; con Hutton y Lyell el tiempo adquiere otro sentido y la Tierra cesa de ser resultado de un acto de magia; Darwin coloca al hombre en otra dimensión, en la que deja de ser el centro y objetivo final de la vida en el planeta.⁹¹

Hasta ahora se ha mostrado evidencia del cambio que la concepción uniformista provocó en la forma de concebir el tiempo geológico, de modo que se puede hablar de un nuevo paradigma en Geología. Ian Moffat, parafraseando a Thomas Kuhn, afirma que este planteamiento representó un paradigma al ser lo suficientemente novedoso como para atraer un grupo de seguidores, y lo suficientemente incompleto como para que dicho grupo tuviera problemas por resolver. Y el libro de Charles Lyell resultó la síntesis que produjo este triunfo del uniformismo.⁹²

Este cambio de paradigma representó una ruptura en la concepción del mundo, porque se tuvo un sistema que permitió el alejamiento de las explicaciones basadas en el Génesis, para producir las que se acercaban más al ámbito de la investigación científica. Se acentuaba el reemplazo de la religión por la ciencia, que para Ken Alder llegó a posicionar a esta última como “el dictador único del universo”.⁹³ Como sostiene José Lugo: Newton, Copérnico, Hutton, Lyell y Darwin, cada uno con su aportación, rompieron con la visión de Antiguo Régimen que vinculaba el origen de la Tierra con las Sagradas Escrituras.

1903, p. s/n. En: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-lecture.pdf

⁹¹ Lugo Hubp, José, *La superficie...*, p. 30. Para otras referencias sobre la importancia del uniformismo puede consultarse Kuhn, Thomas, *La estructura de las revoluciones científicas*, 1ª reimposición de la 3ª edición, Fondo de Cultura Económica, 2007, p. 70.

⁹² Moffat, Ian, “Paradigmas en Geología: del catastrofismo a la tectónica de placas”, *Geocrítica, Cuadernos críticos de Geografía Humana*, Universidad de Barcelona, Año II, núm. 42, diciembre de 1982. Visto en: <http://www.ub.edu/geocrit/geo42.htm> (consulta: 26 de mayo de 2011).

⁹³ Alder, Ken, “A Revolution to Measure: The Political Economy of the Metric System in France”, en: Norton Wise (ed.), *The Values of Precision*, New Jersey, Princeton University Press, 1995, p. 41.

1.2.2 El uniformismo como método para el geólogo moderno

Hasta este punto se ha considerado la edad de la Tierra como uno de los aspectos de la ideología de Antiguo Régimen que tras el uniformismo pudieron ser desechados en el camino hacia la modernización de la práctica geológica. No obstante, decir que el catastrofismo se reducía a considerar la superficie terrestre modelada por grandes catástrofes, mientras el uniformismo la veía alterada por los cambios lentos y repetitivos desde hacía mucho tiempo, es simplificar demasiado. Además de estas ideas sintéticas, ambas teorías trataban de conformar un cuadro del conocimiento de la Tierra que pudiera explicar todos sus fenómenos. Esto es, de realizar las generalizaciones a las que la ciencia ha tendido desde la Ilustración y el racionalismo.

Una teoría de la Tierra que pudiese mostrar la madurez de la Geología, como para desligarla de los presupuestos religiosos y también del ámbito de la mineralogía, la física o cualquier otra ciencia, debía mostrar su independencia y la fuerza de sus proposiciones, convertidas en hipótesis y en leyes. Pero, al tiempo, debía ser capaz de interactuar con los contenidos y las explicaciones de las otras ciencias.

Un paradigma tiene consigo nuevos métodos de trabajo, de modo que el uniformismo también contemplaba un método propio. Carmina Virgili lo expone al decir que en lugar de sentarse a reflexionar sobre lo que la naturaleza le mostraba, Lyell buscó a través de la observación pruebas y evidencias que le permitieran reconocer cómo había sucedido realmente un fenómeno geológico específico.

Como se mencionaba en la Introducción de este trabajo, se dice que con Charles Lyell nació la Geología moderna porque su método aplicaba el principio newtoniano “de que las *leyes naturales* han permanecido invariables en el transcurso de los tiempos”. También porque validó sus teorías e hipótesis de investigación con base en la observación, para lo cual recorrió varias regiones de Europa y América, en las que tomó notas, clasificó y estudió muestras y fósiles para tener una base sobre la cual elaborar sus trabajos.⁹⁴

⁹⁴ *Ibidem*, p. 54.

Para Ian Moffat queda claro que cuando el uniformismo fue aceptado, “redefinió algunos de los mayores problemas que los geólogos tendrían que examinar, y también definió el campo de las generalizaciones teóricas fundamentales”.⁹⁵ Francisco Pelayo llama la atención sobre el trabajo del holandés Reijer Hooykaas,⁹⁶ uno de los autores que sostienen precisamente la complejidad en las disputas geológicas. Uno de los aspectos que merecen mayor análisis para ambos es el de la metodología que sostenía cada sistema:

...el debate entre catastrofismo y uniformitarismo, a pesar de revelarse como dos sistemas geológicos diferentes, es esencialmente una polémica sobre el método. El catastrofismo mantenía que la interpretación de los datos debía adaptarse a los hechos geológicos, mientras que el uniformitarismo postulado por Lyell tendía a interpretar los datos en conformidad con los supuestos de la inmutabilidad de naturaleza y grado de todas las causas geológicas. De aquí que la afirmación que la oposición entre catastrofismo y uniformitarismo se basa fundamentalmente en la utilización o no de causas naturales, aunque cierta en algunos casos, simplifica a juicio de Hooykaas excesivamente la cuestión, ya que no tiene en cuenta la polémica metodológica ni el hecho de que muchos uniformitarios utilizaron argumentos metafísicos y muchos catastrofistas no lo hicieron en absoluto.⁹⁷

Lo que Hooykaas propuso es que la clasificación que se ha hecho de las teorías de la Tierra entre actualistas –o uniformistas– y catastrofistas debería sustituirse por otra que las divida entre las que utilizaron el método actualista y las que no lo hicieron para sostener su teoría. Sostuvo también que así como la filosofía uniformista explicaba que la Tierra era modelada por cambios largos y la edad de la Tierra era muy amplia, el método uniformista lo que hacía era basarse en “el carácter invariable de las leyes naturales, tanto en el tiempo como en el espacio, que deja a un lado cualquier explicación sobrenatural”.⁹⁸

⁹⁵ Moffat, Ian, “Paradigmas...”, p. s/n.

⁹⁶ Hooykaas fue un historiador de la ciencia que trató en su obra sobre la relación entre Dios y la ciencia y uno de cuyos trabajos ya ha sido mencionado en esta investigación. Pelayo se refiere particularmente a sus obras: Hooykaas, Reijer, *Natural Law and Divine Miracle: a historical critical Study of the Principle of Uniformity in Geology, Biology and Theology*, 2ª ed., Leiden, 1959; y “Catastrophism in geology, its scientific character in relation to actualism and uniformitarianism”, *Mededelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afd Letterkunde Nieuwe Reeks Deel* 33, n° 7, 1970, pp. 271 -316.

⁹⁷ Pelayo, Francisco, “Las teorías geológicas...”, pp. 50-51.

⁹⁸ *Ibidem*, p. 51.

La Geología en España

La obra de Francisco Pelayo constituye un referente para el estudio de las ciencias de la Tierra en el reino de España. En su artículo ya mencionado,⁹⁹ da un panorama general sobre la llegada de la discusión entre neptunismo y plutonismo a principios del siglo XIX. En él, afirma que una de las vías de acceso a este debate fue el trabajo de Juan Blasco Negrillo, responsable de la sección de Geología de la revista *Varietades de Ciencias, Literatura y Artes*,¹⁰⁰ puesto que “seleccionó, tradujo y comentó diversos artículos de interés geológico”. Y de entre ellos destaca un trabajo donde expuso los principales sistemas, los clasificó y finalmente, llegó a la conclusión de que: “...la explicación a tantas interpretaciones se encontraba en que sus autores se habían limitado a dar gran importancia a un solo acontecimiento geológico, a partir del cual habían construido su sistema”.¹⁰¹

Pelayo también destaca que Blasco comprendió que la dificultad para establecer una teoría de la Tierra basada en hechos residía en el limitado conocimiento que se tenía sobre la Tierra, y en la dificultad para explicar los diversos fenómenos, de modo que hasta entonces había sido “más fácil imaginar un sistema, que presentar una teoría; y que todas las que se han dado con este nombre han sido hipotéticas, esto es, vagas y como meras probabilidades”.¹⁰²

Blasco tenía simpatía por la geognosia de Werner, puesto que consideraba que ésta podría ser la teoría que permitiera conocer las características de la Tierra, “...la composición de las masas rocosas de la superficie y corteza terrestres, sus respectivas épocas de formación, la posición y estratificación de las montañas”,¹⁰³ entre otras.

Este trabajo de Francisco Pelayo evidencia de que la discusión neptunista-plutonista arribó a España y fue publicada al menos por un medio de

⁹⁹ *Idem.*

¹⁰⁰ *Ibidem*, pp. 45-46.

¹⁰¹ Blasco Negrillo, J. (1803), "Insuficiencia de los sistemas geológicos para explicar la Historia de la Tierra", *Varietades de Ciencia, Literatura y Artes*, T. I, pp. 24-35 y 91-100. Visto en Pelayo, Francisco, "Teorías de la tierra...", pp. 45-46.

¹⁰² *Idem.*

¹⁰³ *Idem.*

comunicación entre 1803 y 1805; esto es, en el periodo en que todavía estaba vigente el debate en otros países.¹⁰⁴

Para Pilar Díez y Miguel Ángel Puche,¹⁰⁵ la producción de obras sobre Geología en España hasta la segunda mitad del siglo XIX fue muy pobre. Apoyados en Lafuente y Saraiva destacan los problemas en España por este atraso. Otros autores como José Manuel Sánchez Ron también han hablado del rezago de España con respecto a otras potencias durante la Revolución Industrial, en este trabajo se expone tanto la falta de personas preparadas en estas materias, y la falta de material didáctico para la enseñanza. Se trató –explican Pilar Díez y Miguel Ángel Puche– de suplir las carencias contratando extranjeros para cubrir el perfil, enviando estudiantes a las nuevas escuelas de minería, como fue el caso de Andrés del Río y los hermanos Delhúyar –mencionados anteriormente como estudiantes en Freiberg–, o realizando “espionaje industrial”.¹⁰⁶

Entre los extranjeros que llegaron a España para trabajar en el estudio de la Geología están los germanos Christian Herrgen y Guillermo Schulz,¹⁰⁷ a finales del siglo XVIII. Cabe señalar que la influencia en este periodo fue germana, pero para mediados de la centuria decimonónica el predominio fue francés.¹⁰⁸

Con respecto a la falta de material para la enseñanza, los autores explican que la Corona solucionó esta carencia por medio de la traducción de libros y manuales para los estudiantes de la Escuela de Minas de Madrid, mientras se estaba en condiciones de escribir los propios, una vez regresaran los estudiantes del extranjero; lo cual aparentemente sucedió porque en la segunda mitad del siglo XIX pueden verse publicaciones realizadas por los otrora estudiantes, tanto propias como en traducciones de otras obras. Además, como los mismos autores

¹⁰⁴ *Idem.*

¹⁰⁵ Díez de Revenga Torres, Pilar y Miguel Ángel Puche Lorenzo, “Traducción...”, pp. 1-25.

¹⁰⁶ *Idem.*

¹⁰⁷ Christian Herrgen (1765-1816), geólogo y mineralogista alemán que dio clases de Orictognosia y de Geognosia en el Real Estudio de Mineralogía en España. Guillermo Schulz (1805-1877) fue un ingeniero de minas que trabajó en España. Dirigió la Comisión para realizar el mapa geológico de dicho país en 1849.

¹⁰⁸ Ordaz Gargallo, Jorge “Geología en España en la época de Guillermo Schulz (1800-1877)”, en: *Trabajos de Geología*, Núm. 10, Universidad de Oviedo, 1978, pp. 21-36. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2265668> (fecha de consulta: 4 de abril de 2013).

sostienen, la calidad de las traducciones realizadas por quienes tenían conocimientos en la materia era mayor.

Joaquín Ezquerro del Bayo¹⁰⁹ (quien había estudiado en la escuela de Freiberg), fue quien se encargó en 1847 de traducir la obra de Charles Lyell, si bien se trató de la segunda edición de *Elements of Geology*, obra que Lyell publicó en 1838 para hacer su teoría más asequible a quienes no tenían conocimiento especializado.¹¹⁰ La traducción seguramente fue realizada para utilizarse en la Comisión para elaborar el mapa geológico de España en 1849.¹¹¹

Como ya se mencionó en la Introducción, la traducción de un libro de Lyell no quiere decir que la completa adopción del uniformismo haya sido inmediata. Los ingenieros de minas españoles se sentían más cómodos utilizando el sistema catastrofista, aunque algunos sí comenzaron a emplear métodos actualistas. Juan de Vilanova y Piera,¹¹² por ejemplo, publicó un *Manual de Geología* que fue conocido y utilizado en México. En él, explicaba por medio de cataclismos la extinción de los animales en épocas anteriores, y consideraba que Elie de Beaumont había establecido la estratigrafía como ciencia.

En cuanto a los sistemas catastrofistas-uniformistas, Francisco Pelayo sostiene que en la enseñanza española se emplearon los dos tipos, aunque en el caso de la Paleontología, se siguió más a los franceses. De hecho, encuentra que en la traducción del *Manual geológico* del británico Henry Thomas de la Beche,¹¹³ el traductor agregó un resumen de *Recherches sur quelques-unes des révolutions*

¹⁰⁹ Joaquín Ezquerro del Bayo (1793-1859) también estudió en Freiberg. Fue autor de más de 60 trabajos geológicos y mineros, entre los que destacan el *Ensayo de una descripción general de la estructura geológica de los terrenos de España* (1850-1857) y el primer mapa geológico de España, publicado en Alemania en 1850. Tradujo los *Elementos de Geología* al español en 1847. Calvo Sorando, "Introducción", en: Lyell, Charles, *Elementos...*,

¹¹⁰ Ordaz Gallardo, *Geología en España...*, pp. 21-36.

¹¹¹ Calvo Sorando, "Introducción", en *Elementos...*, p. XCIII.

¹¹² Juan de Vilanova y Piera (1821-1893). Estudió en Freiberg y a su regreso obtuvo la cátedra de Geología y Paleontología en la Universidad de Madrid. Publicó además en forma extensa, y se introdujo en el debate sobre el darwinismo, en el cual abogó por la supuesta armonía entre religión y ciencia. Véase: Pelayo, "Catastrofismo y actualismo...", p. 59.

¹¹³ Henry Thomas de la Beche (1796-1855) fue un distinguido geólogo británico que realizó investigaciones en Gran Bretaña, Francia y Suiza.

de la surface du globe, de Elie de Beaumont, lo cual, considera Pelayo, fue el vehículo para difundir esta obra, que tuvo tanta aceptación en España.¹¹⁴

Como puede observarse, en España también fue paulatina la aclimatación del uniformismo. Esta revisión puso en evidencia algunos elementos que más adelante influyeron en la introducción de las teorías de la Tierra en México. Pudo observarse que Pilar Díez, Miguel Ángel Puche y Francisco Pelayo coinciden en que la geognosia werneriana llegó a España por medio de la letra impresa en artículos y manuales, y a través de sus exponentes más importantes del periodo: Andrés Manuel del Río, y Juan José y Fausto Delhúyar.¹¹⁵ En el capítulo siguiente se estudiará la influencia de este sistema en la enseñanza de los mexicanos.

Para cerrar este capítulo, puede decirse que se hizo un seguimiento que mostró el estado de la Geología antes de su madurez en Europa, explicó cómo se constituyó en ciencia a partir de los trabajos de Werner y Hutton, y observó cómo el uniformismo se constituyó en paradigma para romper con el catastrofismo y el neptunismo y, a la vez, presentar otra opción a la visión de Antiguo Régimen que veía a la Tierra como resultado de la creación divina, postura que impedía la creación de nuevas preguntas que guiasen el trabajo científico.

En este seguimiento fue posible observar los elementos que Thomas S. Kuhn relaciona con el estudio de la ciencia:¹¹⁶ se observó el estado de la actividad de los naturalistas en los siglos XVIII y XIX, así como la aparición de las sociedades científicas y la institucionalización de la ciencia, el debate entre las teorías y el desarrollo del método uniformista. Todo esto en Europa. De esta manera puede verse la relación que guardan estos elementos con el desarrollo científico y como éste no puede ser aislado de su contexto.

Por otra parte, se pudo apreciar a lo largo del capítulo el desarrollo de la Geología, en un proceso que llevó poco a poco al desapego entre las ideas

¹¹⁴ Pelayo, "Catastrofismo y actualismo...", p. 51.

¹¹⁵ La influencia del barón Humboldt también fue muy importante, tanto en el viejo como en el nuevo continente, ya que al agrupar y ordenar el conocimiento sobre la Nueva España permitió que tanto colonia como metrópoli se formaran una imagen en conjunto de dicho territorio. Véase el estudio introductorio que se presenta en Humboldt, Alexander von, *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*, México, Porrúa, 1966, 698 p.

¹¹⁶ Cabe recordar que en el presente trabajo se concuerda con la perspectiva de Ana Rosa Pérez Ransanz, en cuanto a considerar la postura de Kuhn tanto interna como externa, postura que está dada por su definición de paradigma.

religiosas y la evidencia empírica. Esto no quiere decir, como aseguraba Lyell, que los catastrofistas hubieran detenido o retrasado el avance en el conocimiento del mundo natural, puesto que hubo aportes importantes –basta recordar que Cuvier es considerado el *padre* de la Paleontología.

Este tránsito hacia el uniformismo tampoco fue inmediato. Los *Principles* aparecieron en la tercera década del siglo XIX, pero en 1869 todavía T.H. Huxley era capaz de afirmar que el uniformismo era “eminentemente una doctrina británica, y aún hoy ha hecho comparativamente pocos progresos en el continente europeo”.¹¹⁷ Como se ha visto, precisamente por ese año los uniformistas se enfrentaron a Lord Kelvin en una discusión sobre la edad de la Tierra, y todavía tuvieron problemas para demostrar sus millones de años, en un claro ejemplo de que la ruptura no fue radical sino paulatina.

En el caso de España, que hayan sido wernerianos los principales naturalistas es significativo, al igual que algunos de ellos hayan recibido la misión de viajar a la Nueva España para organizar el conocimiento minero. Si bien Fausto Delhúyar regresó a España luego de la Independencia de México, Andrés del Río permaneció en el novel país, y además de impartir la cátedra de mineralogía prácticamente hasta su muerte –acaecida en 1849–, también contribuyó en la organización de la ciencia y formó escuela en el sentido de que sus discípulos tomarían el liderazgo en la institucionalización y el desarrollo de la Geología.

Finalmente, hay que considerar el peligro de establecer conjeturas apoyadas en evidencia débil, ante la urgencia por establecer una división entre los hombres de ciencia del periodo. Una experiencia que puede servir es la de Susana Pinar, quien al estudiar el tránsito entre sistemas de clasificación botánicos, observó un cambio fue lento y confuso, y encontró que las evidencias no fueron suficientes para dividir a los autores en uno u otro grupo, de modo que concluyó: “...en este caso como en muchos otros, el tránsito de un sistema a otro no fue algo definido con nitidez y que catalogar claramente a los autores del mismo, como pertenecientes a una u otra categoría, también suele resultar arriesgado”.¹¹⁸

¹¹⁷ Visto en: Pelayo, “Catastrofismo y actualismo...”, p. 49.

¹¹⁸ Pinar, Susana, “El peso...”, pp. 19-20.

CAPÍTULO II. EL ESTUDIO DE LA GEOLOGÍA EN MÉXICO DURANTE EL SIGLO XIX

Introducción

Una vez estudiado el uniformismo en Europa y comprendido la importancia de sus planteamientos, entre los que destacan la concepción del tiempo geológico y el empleo del método actualista o uniformista para el estudio de la superficie terrestre, es posible pasar al estudio de las teorías geológicas en México. Para ello, se partió –como ya se ha manifestado en el presente documento– de la postura de Zoltan de Cserna, quien considera que la transición de la Geología werneriana hacia la de Lyell fue sumamente lenta, afectada sobre todo por los problemas políticos, económicos y sociales que vivía el país.¹

Es posible observar la formación de una comunidad de ingenieros mexicanos que realizaban trabajos geológicos pese a que no poseían esta carrera –pues no existía en México–, entre los que se puede mencionar a Andrés del Río, Antonio del Castillo, Santiago Ramírez, José Guadalupe Aguilera y Mariano Bárcena, como los más destacados. Esta comunidad tuvo como espacio de sociabilidad inicial el Colegio de Minería (con sus diferentes acepciones y temporalidades).

Fue en sus aulas, pasillos y gabinetes donde las primeras generaciones conocieron los principios wernerianos, que arribaron a la entonces Nueva España con Andrés del Río, Fausto Delhúyar y Alejandro von Humboldt,² pero poco a poco, mediante el estudio de la estratigrafía local, la lectura de obras geológicas y el intercambio con sus pares extranjeros, iniciaron el tránsito hacia los principios uniformistas, encabezados por Antonio del Castillo, quien reemplazó a Andrés del

¹ De Cserna, Zoltan, “La evolución de la Geología en México (1500-1929)”, en: *Revista del Instituto de Geología de la UNAM*, Vol. 9, Núm. 1, 1990, pp. 1-20.

² Los tres fueron discípulos de Abraham Gottlob Werner en Friburgo. Véase: Uribe Salas, José Alfredo y María Teresa Cortés Zavala, “Andrés del Río, Antonio del Castillo y José G. Aguilera en el desarrollo de la ciencia mexicana del siglo XIX” en: *Revista de Indias*, Vol. LXVI, Núm. 237, Madrid, 2006, pp. 491-518.

Río en la cátedra de Mineralogía y fungió como director de la después denominada Escuela Nacional de Ingenieros.³

Dentro de este espacio tejó la incipiente comunidad sus redes de sociabilidad, en tanto que Andrés del Río fue maestro de Antonio del Castillo, quien a su vez lo fue de Santiago Ramírez, José Guadalupe Aguilera y Mariano Bárcena.⁴ Dicha comunidad científica en forma posterior diversificó sus espacios de sociabilidad, al integrarse en las agrupaciones científicas que surgieron en el país, como la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, la Sociedad Mexicana de Historia Natural, la Sociedad Geológica Mexicana, y los ya institucionalizados Comisión Geológica de México e Instituto Geológico de México.

Es posible conocer los avances que tuvieron en el periodo de estudio los miembros de esta comunidad a través de su producción editorial. Por eso se incluye en la primera parte de este capítulo, la revisión de los libros de texto utilizados en el aula por Andrés del Río, que escribió *Manual de Geología* en 1841, y Mariano Bárcena, quien publicó su *Tratado de Geología*⁵ en 1886. El estudio del manual de Del Río proporciona una visión inicial que sirve como punto de referencia para los trabajos realizados posteriormente, como el *Tratado* de Bárcena, en el aspecto didáctico. En cuanto a la segunda parte del capítulo, se hace una revisión general de obras realizadas en el periodo.

Cuando una comunidad científica adopta un paradigma, se afilia a la vez a una “red de compromisos que conforman la manera en que el científico concibe no sólo su campo de estudio sino también su misma disciplina”,⁶ de modo que orientan la investigación, definen lo que ha de estudiarse y el método para hacerlo.

³ Las funciones que Del Castillo llevó a cabo en el Colegio de Minería están plasmadas en el libro de Lucero Morelos. Véase: Morelos Rodríguez, Lucero, *La geología mexicana en el siglo XIX, una revisión histórica de la obra de Antonio del Castillo, Santiago Ramírez y Mariano Bárcena*, Morelia, Secretaría de Cultura de Michoacán/Plaza y Valdés, 2012, p. 58.

⁴ *Ibidem*, p. 57.

⁵ Del Río, Andrés, *Manual de geología, extractado de la Lethaea Geológica de Bronn, con los animales y vegetales perdidos, ó que ya no existen, más característicos de cada roca, y con algunas aplicaciones a los criaderos de esta República, para uso del Colegio de Minería, por el ciudadano...., profesor de Mineralogía del mismo*, México, Imprenta de Ignacio Cumplido, 1841, 69 p. más 27 láms.; Bárcena, Mariano, *Tratado de Geología, elementos aplicables a la agricultura, a la ingeniería y a la industria*, México, Secretaría de Fomento, 1886.

⁶ Ransanz Pérez, Ana Rosa, *Kuhn y el cambio científico*, México, Fondo de Cultura Económica, 1999, p. 42.

2.1 La enseñanza de la Geología en México

En la segunda mitad del siglo XVIII las Ordenanzas de Minería que regulaban en la Nueva España esta actividad, eran consideradas obsoletas por parte de los mineros,⁷ lo cual coincidió con un decaimiento en la producción que preocupó tanto a la Corona como a los mineros novohispanos, de modo que se buscó la forma de revitalizar su explotación y su industria. El gremio propuso entonces reformar dichas ordenanzas, para “guardar y fomentar la riqueza minera” de las tierras novohispanas. El 22 de mayo de 1783 el rey Carlos III aprobó las *Reales ordenanzas para la dirección, régimen y gobierno del importante cuerpo de la Nueva España y de su Real Tribunal General*.⁸

Los mineros aprovecharon para solicitar también un instituto de enseñanza que formara especialistas en este ramo, de modo que en 1792 se fundó en la ciudad de México el Real Seminario de Minería. A decir de Juan José Saldaña, los mineros querían desligarse intelectualmente de la metrópoli, y habían puesto en la creación de este Seminario sus esperanzas para generar el conocimiento sobre la manera de organizar y explotar sus recursos mineros, pero la Corona no tenía el mismo interés en que una de sus fuentes más importantes de recursos tuviera semejante autonomía, así que al inicio lo que se enseñó en el Seminario quedó limitado a los aspectos técnicos de la actividad minera, teniendo que esperar a profundizar en el conocimiento científico hasta que se obtuviera la independencia política de España.⁹

El director del plantel fue Fausto Delhúyar, quien asumió la dirección del Real Seminario de Minería en 1792. Observó entonces que el atraso de la orictognosia y la geognosia que acusaba la metrópoli no era nada en comparación con la situación que privaba en la colonia, puesto que: a) existía un escaso conocimiento geológico del territorio novohispano; b) las técnicas para la prospección,

⁷ El jurisconsulto Francisco Javier de Gamboa escribió *Comentarios a las Ordenanzas de Minas* en 1761, y planteó como necesaria una revisión de todos los órdenes de la industria minera en la Nueva España. Véase Uribe Salas, José A. y María T. Cortés Zavala, “Andrés del Río...”, p. 493.

⁸ *Idem*.

⁹ Saldaña, Juan J., *La casa de Salomón en México, Estudios sobre la institucionalización de la docencia e investigación científicas en México*, UNAM, México, 2005, pp. 11-26.

explotación y beneficio de los metales estaban escasamente desarrolladas, y c) la falta de reflexión científica sobre las características de los yacimientos de minerales y su entorno ecológico tenía como consecuencia un “pobre aprovechamiento metálico de sus menas”.¹⁰

Este diagnóstico coincide con lo señalado por Pilar Díez de Revenga y Miguel Ángel Puche en cuanto al escaso avance en el conocimiento teórico de los territorios de España, palpable hacia finales del siglo XVIII y del que ya se habló. Por otra parte, Andrés del Río llegó a la ciudad de México en octubre de 1794, para encargarse de la cátedra de Mineralogía, de modo que fue él quien formó “los primeros cuadros mexicanos en las ciencias de la Tierra”.¹¹ A la par, otros profesores europeos llegaron a la “primera casa de las ciencias en México” para cumplir con sus respectivas cátedras, dado que el director prefirió contratar a su personal en el viejo continente (véase el Cuadro 1).

Cuadro 1. Catedráticos y cátedras en la fundación del Real Seminario de Minería

| Catedrático | Cátedra |
|----------------------------------------|---------------------|
| Andrés José Rodríguez (¿-1803) | Matemáticas |
| Francisco Antonio Bataller (1751-1800) | Física experimental |
| Luis Fernando Lindner (1763-1805) | Química |
| Andrés Manuel del Río (1764-1849) | Mineralogía |

Fuente: “La enseñanza de la Física durante la Independencia en el Colegio de Minería”, en: Ruiz, Rosaura *et al.*, *Otras armas para la Independencia y la Revolución, ciencias y humanidades en México*, México, UNAM/UAS/UMSNH/Historiadores de las Ciencias y las Humanidades/Fondo de Cultura Económica

Los maestros, como puede apreciarse en el cuadro, comenzaron a morir pronto –con excepción del propio Andrés del Río–, de modo que fueron reemplazados por alumnos, quienes después de la independencia tomarían las riendas del ahora Colegio de Minería.

¹⁰ Uribe Salas, José A., *Andrés del Río...*, pp. 493-494.

¹¹ Rubinovich Kogan, Raúl, “Andrés Manuel del Río y sus *Elementos de Orictognosia* de 1795-1805”, en: Del Río, Andrés, *Elementos de Orictognosia 1795-1805*, México, UNAM, 1992, pp. 3-70.

Con respecto de la emergencia de la geología en la entonces Colonia, es necesario mencionar que en México estuvo supeditada a las necesidades del Colegio de Minería, el cual a su vez estuvo enfocado en *fomentar la riqueza minera*, como ya se vio páginas atrás, puesto que se trataba de la actividad económica prioritaria en la Nueva España y había sido creado con ese propósito utilitario. Bajo este marco, entonces, se aprovechó el aspecto práctico mientras los contenidos teóricos fueron dejados de lado. Como afirma Luz Fernanda Azuela: “las instituciones tienden a desestimar las consideraciones epistemológicas en beneficio de los intereses políticos, económicos y corporativos”.¹²

Bajo este esquema, los ingenieros de minas que se convirtieron en geólogos tenían que encontrar la manera de realizar sus investigaciones a la par de su trabajo, fuera éste en la exploración del territorio con fines utilitarios, en la construcción de carreteras, el trazo de vías férreas o los trabajos de desagüe en el Valle de México. Esto lo manifiesta Luz Fernanda Azuela de la siguiente manera:

Mientras el Colegio de Minería de México continuaba impartiendo geología para la capacitación de peritos mineros, en otras latitudes levantaba el vuelo un programa de investigación de dimensiones planetarias para validar la geología de Lyell y desvelar los hitos de la historia de la Tierra.¹³

Es decir, de acuerdo con Azuela, mientras en países como Inglaterra, Francia y Estados Unidos, a partir de la década de 1840 se dedicaron a impulsar trabajos como la construcción de los mapas geológicos, la búsqueda de combustibles y minerales necesarios para la industrialización, en éste se continuaron los trabajos geológicos relacionados con la minería.

2.1.1 Andrés del Río

Andrés Manuel del Río Fernández (1764-1849) era ya un naturalista destacado que había estudiado en las más prestigiosas escuelas de minas europeas cuando fue comisionado para impartir la cátedra de Mineralogía en el recién fundado Real Seminario de Minería de la ciudad de México, de modo que desembarcó en

¹² Véase Azuela Bernal, Luz Fernanda, “La geología en la formación de los ingenieros mexicanos”, en: Ramos Lara, María de la Paz, Rodríguez Benítez, Rigoberto *et al.*, *Formación de ingenieros en el México del siglo XIX*, México, Facultad de Historia de la UNAM, pp. 91-107.

¹³ *Ibidem*, p. 96.

Veracruz en octubre de 1794, y se dirigió a la capital de la Nueva España. Entre las escuelas de minas donde había estudiado destaca la de Freiberg, donde recibió clases de Abraham G. Werner y fue compañero de Alexander von Humboldt (1769-1859), entre otros distinguidos compañeros.¹⁴

En 1795 Del Río comenzó a impartir la cátedra de Mineralogía a los alumnos de tercer grado, apoyado en su libro *Elementos de Orictognosia*, publicado en México un año después.¹⁵ El objetivo de la materia era “el conocimiento de los fósiles por sus caracteres exteriores, sus variedades y diferencias; su disposición sistemática, y los principios de la clasificación; sus partes constitutivas, sus propiedades particulares y sus usos mecánicos”.¹⁶

En la enseñanza de su cátedra, Andrés del Río utilizó, como él mismo afirma, una selección de varios autores ingleses, franceses y alemanes, se basa en principalmente en el sistema de Werner. Por tratarse de una obra práctica de mineralogía, en ella se exponen las características de los minerales –que llama fósiles, término generalizado a finales del siglo XVIII–, en dos formas: una, con las características más importantes, para alumnos avanzados; y otra, para consultarlas en forma completa.

En esta obra aún no se observan referencias directas sobre la discusión entre catastrofistas y uniformistas, puesto que Lyell publicó el primer tomo de sus *Principles* en 1830, en Inglaterra, pero sí puede observarse en distintos pasajes una defensa a la clasificación y el trabajo realizados por su maestro, así como el respeto que sentía por él.¹⁷

¹⁴ Véase Ramírez, Santiago, *Biografía del Sr. Andrés Manuel del Río: primer catedrático de mineralogía del Colegio de Minería*, México, Imprenta del Sagrado Corazón de Jesús, 1891, 56 p.

¹⁵ La versión que se consultó corresponde a la segunda edición de Del Río, Andrés Manuel, *Elementos de orictognosia, ó del conocimiento de los fósiles, según el sistema de Berzelio, y según los principios de Abraham Gottlob Werner, con la sinonimia Inglesa, Alemana y Francesa, para uso del Seminario Nacional de Minería de México, parte práctica*, segunda edición, Imprenta de Juan F. Hurtel, Filadelfia, 1832, 759 p. En esta edición agrega el nombre de Werner en la portada, y en su Prólogo afirma que ya no hay peligro en decir que fue su maestro, de modo que la gratitud lo impulsó a escribir su nombre en la portada del libro. Véase *Ibid.*, pp. VI-VII.

¹⁶ “Actos públicos del Real Seminario de Minería de 1795”, en: Díaz y de Ovando, Clementina, *Los veneros de la ciencia en México, Crónica del Real Seminario de Minería (1792-1892)*, Tomo II, México, Facultad de Ingeniería de la UNAM, 1998, p. 257.

¹⁷ En el prólogo juzga necesario que en un futuro se vuelva a utilizar la forma de clasificación de Werner, puesto que en ese entonces lo que privaba era ponderar la cristalización de los minerales, lo cual tenía dificultades en cuanto a la precisión de cada mineral. Véase: Del Río, Andrés M.,

Años más tarde, Andrés del Río discutió la postura plutonista y defendió a su maestro Abraham G. Werner en el discurso pronunciado en el Colegio de Minería en 1845, mediante ejemplos sobre rocas, vetas, masas rocosas e incluso estratos: “...porque algunos granitos hayan sido producidos por el fuego, se quiere que todos lo hayan sido”.¹⁸ Aparentemente en esta defensa puede observarse que Andrés del Río ya concibe que algunas piedras sí fueron formadas por el fuego, en contraposición con el wernerismo, que explicaba que las rocas volcánicas habían sido inicialmente sedimentarias –esto es, por medios marinos–, pero luego la acción de los volcanes o fuegos internos las habían fundido.¹⁹

Elementos de Orictognosia

Si bien Andrés del Río en un principio se manifiesta como werneriano, poco a poco su visión se va matizando, sin abandonar dicho sistema, como puede observarse en la primera obra sobre mineralogía escrita en el continente americano: sus *Elementos de Orictognosia*, que sufrió ligeras modificaciones para adaptarse al intenso despliegue científico que se dio a finales del siglo XVIII y principios del XIX, en cada una de sus reimpresiones: 1795, 1805, 1832 y 1846. De este modo fue actualizándose al conocimiento que se iba validando en Europa, si bien hubo algunos aspectos que el sabio español no aceptaba del todo. Por ejemplo, incorporó la *Pasigrafía* de Humboldt en la edición de 1805 y el sistema de Berzelius para la clasificación de los minerales en la edición de 1832.²⁰ Del Río justifica la utilización de ambos criterios –de Werner y de Berzelius–, al considerar que no son excluyentes entre sí.

El sistema de Berzelius examina los minerales a partir de sus características internas y no tanto las externas, como lo hacía Werner en Friburgo.²¹ Estas reediciones son un ejemplo de cómo Andrés del Río buscó que su obra contuviera

Elementos..., p. IV. De la misma manera, en el interior de su libro contiene muestras de admiración hacia el mentor, en tanto que tenía la cualidad de reconocer por la sola observación a los minerales.

¹⁸ Del Río, Andrés M., “Discurso...”, Año 1845, p. 33.

¹⁹ Calvo Sorando, José Pedro, “Introducción”, en: Lyell, Charles, *Elementos de Geología*, Barcelona, Crítica, 1ª edición, 2011, pp. XIX-XX.

²⁰ Del Río, Andrés, *Elementos de Orictognosia*, 1832, Filadelfia.

²¹ Este fue otro debate que se tuvo en el seno de la conformación de las ciencias, en el cual muchos mineralogistas no aceptaban que la química determinara la clasificación de los minerales.

los principios actualizados de las disciplinas, como una forma de mantenerla vigente. Y en estos casos, puede verse cómo poco a poco se introducen las nuevas teorías en el desarrollo epistemológico de las ciencias de la Tierra –hay que recordar que se habla de una obra que fue utilizada como libro texto durante prácticamente todo el siglo XIX.²²

Manual de Geología

Otro elemento para estudiar las ideas de Andrés del Río es su *Manual de Geología*,²³ que se utilizó también como libro de texto a partir de su impresión en 1841, y hasta prácticamente finales del siglo XIX. Este libro tenía la descripción de flora y fauna fósil de México con base en lo encontrado en el territorio. Desde el concepto que utiliza, puede verse ya una separación entre geología y geognosia, llamando a la primera, “la física” de la segunda.²⁴ El concepto de geología que utiliza es el siguiente:

Geología es la ciencia que investiga los cambios sucesivos de los reinos orgánico é inorgánico de la naturaleza, y las causas de estos cambios, y su influjo para modificar la superficie y estructura de nuestro planeta. Otros la definen como el estudio de la estructura mineral de las rocas, de su posición relativa, de la construcción de las montañas y de los criaderos, de su antigüedad [sic] relativa y su extensión sobre el globo; mas esta es la definición de la Geognosia; y así para mí la Geología es la física de la Geognosia.²⁵

Puede apreciarse que el concepto de Geología ya aparece desligado de la Geognosia y, por lo tanto, de la Mineralogía. Por otra parte, el libro de Del Río no se limita a un compendio de lo publicado en Europa: en sus páginas discute con las teorías y continúa en la defensa de aspectos neptunistas, si bien acepta algunos cambios sustantivos, como las etapas del Terciario de Charles Lyell. De hecho, discute al principio en forma continua con el geólogo inglés: un ejemplo en las primeras páginas consiste en el origen del gneis y la micapizarra, cuya formación Lyell explica a partir de las areniscas. Sostiene que la nueva evidencia empírica le da la razón a Werner, para quien estos minerales se habían producido

²² Rubinovich Kogan, Raúl, “Estudio introductorio”, en *Elementos de Orictognosia (1795-1805)*, UNAM, México, 1992, pp. 53.

²³ Del Río, Andrés, *Manual de Geología...*

²⁴ *Ibidem*, p. 3.

²⁵ *Idem*.

a partir de un precipitado químico más disolvente que “el agua del día por el ácido hidrofluorico” presente en el géiser de Islandia.²⁶

Esta explicación es significativa en tanto que: discute con Lyell, defiende a Werner y asume que el agua en el pasado tenía mayor capacidad de disolución que la “del día”, con lo cual se aprecia el principio de que las causas de los cambios tenían mayor intensidad en el pasado. Sin embargo, en su Tabla de las formaciones (página 3), ya ha adaptado la subdivisión del orden Terciario propuesta por Lyell: Tercero superior o Plioceno, Tercero medio o Mioceno y Tercero inferior o Eoceno.

En donde conserva los nombres wernerianos es en el apartado donde estudia las *rocas de transición*.²⁷ Del Río menciona que en la comunidad geológica europea todavía no se generalizaba la adopción de las denominaciones *sistema cámbrico* y *sistema silúrico* –afirma que el propio Lyell todavía usaba los términos antiguos–, de modo que probablemente sea ésta la razón por la que sigue utilizando estos nombres. También podría deberse a que Andrés del Río hubiera decidido conservar ambas denominaciones, dado que su manual sería utilizado tanto por estudiantes imbuidos en los nuevos conocimientos, como por geólogos con su cuerpo de conceptos ya establecidos.

Al analizar los fósiles del “Nuevo Pliocene” afirma estar de acuerdo con Georges Cuvier en que las capas de vegetales y animales coinciden con “la historia de Moisés aun respecto de la antigüedad [sic] del mundo”, y coloca al personaje bíblico en el rango de “geólogo”.²⁸

También aborda de una manera breve la formación de los volcanes, para lo cual pone como ejemplo el volcán del Jorullo, en Michoacán. En este apartado Andrés del Río continúa la discusión con los otros naturalistas, en este caso Alexander von Humboldt, quien había ido a conocerlo durante su visita a México

²⁶ *Ibidem*, p. 2. Este aspecto de las aguas diluyentes se tratará con más profundidad en el Capítulo III.

²⁷ La clasificación cronológica de las rocas de Werner era: primitivas, en capas, volcánicas y producidas por aluviones; en 1796 agregó las rocas en transición entre las primitivas y las que están en capas.

²⁸ Del Río, Andrés, *Manual de Geología...*, p. 39.

en 1803 –esto es, 42 años después de su erupción–, y el cual había descrito en su *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*.

Rememora Del Río que Humboldt encontró seis conos formados de escoria y fragmentos de lava, el mayor de los cuales –ubicado en el medio–, era el denominado “volcán del Jorullo”, que a su vez tenía la mayor elevación –1 600 pies a nivel del llano, contra 300 pies del que tenía menor tamaño–. Para Humboldt la elevación del terreno se había formado por un impulso de abajo hacia arriba, “como una vejiga de 550 piés de alto en la extensión de cuatro millas cuadradas”.²⁹

Andrés del Río expuso en su manual que prefería la explicación de George P. Scrope, que consistía en considerar que:

...la lava que salió de las varias bocas [conos] y sobre todo del Jorullo, se juntó en una especie de lago ó estanque; y como el terreno era llano y su liquidez no mucha, se amontonó junto al origen disminuyendo de volúmen ácia los límites del espacio que cubría. Hubo nuevos suplementos de lava en los nueve meses que duró la erupción, y así se acumuló hasta una grande altura sobre todo en el centro.³⁰

Es decir, mientras para Humboldt el volcán se había formado por medio de la presión del material volcánico salido de la tierra, para Scrope dicha elevación era producto de la acumulación de lava, densa y abundante. Esta explicación también había llamado la atención de Charles Lyell hacía más de una década –cuando preparaba sus *Principles of Geology*–, al leer: *Memoir on the Geology of Central France; Including the Volcanic Formations of Auvergne, the Velay and the Vivarais, with a Volume of Maps and Plates*, de 1827. El británico había viajado a esa misma región a estudiar los volcanes, antes de terminar la redacción de sus *Principles*,³¹ y en esa región terminó por formar su postura en cuanto al levantamiento de los volcanes, semejante a la de Scrope.

Del Río utiliza otros ejemplos para reforzar este planteamiento sobre los volcanes de elevación, entre ellos el de Santorini. Y en esta parte es clara su afiliación a las explicaciones que da Lyell sobre la formación de dichos cráteres de elevación, y aplaude la analogía que hace el británico entre el crecimiento de

²⁹ *Ibidem*, p. 43.

³⁰ *Idem*.

³¹ Calvo Sorando, “Introducción”, p. XLVIII (Para leer el título del libro, consúltese en la misma obra la página XCVII).

un árbol exógeno y la formación de los volcanes. Lamenta sin embargo, que no se disponga aún de un método para leer la edad de las masas volcánicas, de la misma manera en que se lee la de un árbol.³²

En este punto es válido recordar que además del interés geológico de Charles Lyell en el estudio de la elevación de los cráteres, los volcanes y las montañas, el británico tenía la intención de demostrar que no eran posibles las catástrofes. Es decir, los argumentos que esgrimió contra la elevación súbita de montañas y volcanes tenían el objetivo de reforzar su sistema geológico, que no admitía levantamientos bruscos repentinos. Andrés del Río, al darle la razón sobre este aspecto tan importante, se acerca al sistema uniformista. Con respecto del método, resulta claro que las reflexiones que plasma en su manual están sustentadas en el análisis empírico de los fenómenos.³³

Lo anterior se liga con el tema de la formación de montañas. Al respecto, resultó ineludible que Andrés del Río se refiriera en su manual a la teoría del catastrofista Elie de Beaumont, que como hemos visto había sido bien acogida en España. Para el naturalista francés, formaciones como los Pirineos se habían formado de golpe debido a que el enfriamiento terrestre produjo pliegues en la superficie.³⁴ Al respecto, el sabio madrileño se adhirió otra vez al argumento de Charles Lyell al reproducir sus argumentos que afirmaban que la suposición inicial de Beaumont era “gratuita”:

...Es gratuito suponer que casi todas las especies de animales y plantas que se hallan ahora petrificadas en las capas de creta *a* perecieron de un golpe; y mientras no se pueda afirmar esto, no podemos asegurar que la cadena *B* no se formase durante el periodo cretáceo. Consiguientemente otra cadena de montañas *A*, en cuya base se hallen capas cretáceas horizontales *a*, pudo haberse levantado en el mismo periodo; porque el grupo particular *a* pudo haberse formado mucho después de que empezasen á existir los animales y plantas que le caracterizan, y en este largo intervalo pudo haberse levantado la cadena *A*.³⁵

Por lo tanto, para Andrés del Río la hipótesis de la cual parte toda la teoría del paralelismo de las líneas de elevación contemporáneas de Beaumont, no tiene

³² Del Río, *Manual...*, p. 45.

³³ Alsina Calvés, José, “Lyell y la Geología”, en: Gobierno de Canarias, disponible en línea, en: http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/fundoro/archivos%20adjuntos/publicaciones/actas/actas_17/06.pdf, p. 112 (fecha de consulta: 3 de mayo de 2013).

³⁴ De Suess, *La faz de la Tierra* (versión española de Pedro de Novo y F. Chicarro), Tomo I, Madrid, Imprenta de Ramona Velasco, 1923, p. LXVIII.

³⁵ Del Río, *Manual...*, p. 50.

base empírica para sostenerse, y por eso, al igual que Lyell, la *desecha* por “insuficiencia de pruebas”.

El sabio catedrático del Colegio de Minería toca otros aspectos geológicos en su manual, como la forma de las islas de coral y los géiseres en Islandia, para finalmente presentar un resumen de los principales distritos de minas en México, que obtuvo de Burkart, insumo importante en el aspecto práctico de la geología, además de 27 láminas de fósiles.

Lo que se puede concluir de lo analizado, es que el *Manual de Geología* de Andrés del Río es una obra que contiene elementos tanto wernerianos como uniformistas, y que comparte con Charles Lyell varios puntos en común. Esto puede apreciarse en el concepto que utiliza para definir esta ciencia; en la permanencia de la cosmovisión werneriana manifiesta en la explicación de determinados fenómenos; en la continuidad en el uso de terminología neptunista; en la remisión a coincidencias entre los resultados geológicos con el Génesis de Moisés.

Por otra parte, se aprecia que en el manual adopta terminologías modernas e incluso utiliza argumentos de Charles Lyell para restar validez a teorías catastrofistas. Algo que se observa en su texto es que reconoce al británico como autoridad en Geología, y concuerda con él en aspectos importantes como la formación de las montañas y de los volcanes.

Cuando el sabio madrileño pidió tiempo para escribir nuevas adaptaciones a su *Manual de Oritognosia*, fue sustituido por su antiguo alumno Antonio del Castillo, quien a partir de 1846 se dedicó a brindar la cátedra de Mineralogía en el Colegio de Minería, hasta 1894.³⁶ Fue además secretario, subdirector, y director – en dos periodos– de dicha institución, después denominada Escuela Nacional de Ingenieros.

³⁶ Antonio del Castillo fue nombrado suplente de la cátedra de Mineralogía para que Andrés del Río pudiera hacer adiciones a su obra sobre Mineralogía –su Oritognosia– en 1846. Véase: “Documento 40”, en Díaz y de Ovando, Clementina, *Los veneros de la ciencia mexicana. Crónica del Real Seminario de Minería (1792-1892)*, Tomo II, México, Facultad de Ingeniería de la UNAM, 1998, pp. 1477-1486.

2.1.2 Mariano Bárcena

En 1872, Mariano Bárcena había sido suplente de la cátedra de Mineralogía y Geología en la Escuela Nacional de Ingenieros. En 1886, cuando impartía su cátedra ahora en la Escuela Nacional de Agricultura, Mariano Bárcena publicó su *Tratado de Geología*. En él, puede verse la concepción de una Geología más articulada, y con influencia de varios autores para cubrir el aspecto teórico, mismos que se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Autores y obras que sirvieron de base para la elaboración del *Tratado de Geología* de Mariano Bárcena

| Autor | Obra/Tema |
|------------------|---------------------------------------|
| J.D. Dana | Mineralogía, Litología y Geología |
| A. del Río | Mineralogía |
| Vilanova y Piera | Manual de Geología y Pozos artesianos |
| Burat | Mineralogía aplicada |
| Credner | Geología |
| Lapparent | Mineralogía |
| Ganot | Física |
| Paramelle | Hidrología |

Fuente: Bárcena, Mariano, *Tratado...*, p. X.

El autor agrega que también presenta citas sobre minerales y fósiles de algunas localidades, publicadas por Antonio del Castillo y Santiago Ramírez, pero que descarta otros trabajos porque “no se puede evaluar la exactitud de sus deducciones”.³⁷ Afirma que prefiere referirse a observaciones propias y a hechos publicados de comprobada exactitud. En este sentido puede observarse el consenso entre los tres geólogos, pues al considerar que puede referir sus obras, reconoce que comulgan de metodología similar y llegan a los mismos resultados.

³⁷ Bárcena, Mariano, *Tratado...*, p. IX.

El *Tratado* fue elaborado a petición de la Secretaría de Fomento a los catedráticos de la Escuela Nacional de Agricultura, para que escribieran un libro que pudieran utilizar en sus clases. Por esta razón, el *Tratado* tiene aplicación para la agricultura, como dice su título.

En la introducción de la obra, define la Geología en una acepción más contemporánea, al mencionar las subdivisiones para su estudio:

La Geología se ocupa del conocimiento de la Tierra en toda su extensión; investiga su origen y relación con los cuerpos celestes; su naturaleza, su historia, las diversas creaciones que la han poblado, etc., á cuyo fin se divide en las cuatro secciones siguientes:

1. Geología litológica, que comprende el estudio de los materiales que forman la corteza terrestre.
2. Geología fisiográfica, que se ocupa del aspecto físico de la Tierra, de sus accidentes, de las aguas y de la atmósfera.
3. Geología histórica, que estudia lo relativo á las diversas épocas de la historia de la tierra y de las creaciones que la han poblado.
4. Geología dinámica, que comprende lo relativo á los agentes que han contribuido y contribuyen aún en la formación y alteración de las rocas.³⁸

El interés de la presente investigación se centra en la Geología Histórica, porque es la que permite teorizar sobre la edad de la tierra, la formación de rocas y montañas, la interpretación del registro fósil. Es en esta parte donde se encuentran las referencias más directas a los cataclismos, al cambio lento y gradual, o a la creación bíblica. Es decir, donde se aprecia el sistema y la metodología que se emplea.

En este libro de Mariano Bárcena, desde la definición de Geología puede observarse que menciona “las creaciones que la han poblado [a la Tierra]”. Si bien esto puede ser solamente un modo de expresarse, la presencia de reiterativa de esta idea constituye una prueba de que todavía se trata de ajustar la realidad geológica con las Sagradas Escrituras, como cuando el autor afirma que: “el más grande y notable acontecimiento en la vida correspondiente á la edad cuaternaria, fué la presencia del hombre á la cabeza de la creación”. También afirma:

Para que la superficie terrestre tomase su actual configuración, y se hiciesen propias las circunstancias climatéricas al mejor desarrollo de los séres más perfectos [el hombre], tuvieron lugar varios cataclismos que trajeron consigo la acumulación de las nieves en grandes extensiones de terreno; siguióse el deshielo y las inundaciones, volvió á levantarse

³⁸ *Ibidem*, p. XI.

la parte de tierras que se habían deprimido, y acabóse la obra de perfeccionamiento de la corteza terrestre.³⁹

En cuanto a la lista de autores que utiliza y que ya se plasmó líneas arriba, destaca la presencia de J. D. Dana para los temas de Mineralogía, Litología y Geología. Este autor logró fama como geólogo en los Estados Unidos y Europa, su *Manual of Mineralogy including Observations on Mines, Rocks, Reduction of Ores, and the Applications of the Science to the Arts*, publicado en 1848; contiene un catálogo amplio de rocas con descripción, cristalografía, nombre, color, composición, diferencias con otras semejantes y usos, entre otros datos. Incluye también un catálogo de localización de minerales para la parte de Estados Unidos, y de otras regiones mineras; habla de los instrumentos necesarios para el estudio de los minerales; del sistema de pesos, medidas y conversiones, y presenta tablas para la determinación de minerales.⁴⁰

De hecho, Mariano Bárcena reproduce un cuadro elaborado por Dana, que representa los terrenos geológicos de acuerdo con la posición que guardan. En éste puede apreciarse la evolución que han sufrido las clasificaciones geológicas, en este caso ya se incluye la era Cuaternaria o del hombre (véase en el Anexo, el Cuadro de los terrenos geológicos según su orden de posición).

El geólogo norteamericano también tenía una teoría sobre la formación de las montañas, parecida a las catastrofistas de Beaumont y de De Suess; es decir, la Tierra se enfriaba paulatinamente y por eso reduce su tamaño, con lo cual se forman pliegues que originan las montañas.

Por otro lado, también se apoya en Juan Vilanova y Piera para el desarrollo de conceptos geológicos. Sobre este autor español, Francisco Pelayo nos dice que era catastrofista en cuanto a su sistema, pero utilizaba el actualismo como método.⁴¹ Era uno de los españoles que seguían a Elie de Beaumont, creía en las

³⁹ *Ibidem*, p. 352.

⁴⁰ Dana, James D., *Manual of Mineralogy including Observations on Mines, Rocks, Reduction of Ores, and the Applications of the Science to the Arts*, New Haven: published by Durrie & Peck, 1848.

⁴¹ Pelayo, Francisco, "Actualismo y catastrofismo en España", en: *Llull*, vol. 7, España, 1984, pp. 47-68.

sucesivas creaciones y que los procesos actuales, lentos y graduales, podían producir catástrofes repentinas (de ahí su actualismo):

Tanto Vilanova como el resto de los catastrofistas *actualistas* recurrían a efectos universales de carácter violento y súbito, lo que implicaba considerar una mayor energía en la actuación de las causas pasadas, supuesto básico del *catastrofismo*. Sin embargo, atribuyendo a la acción continua y lenta de causas físicas y geológicas de naturaleza igual a las del presente tales efectos catastróficos, estos autores utilizaban en la elaboración de sus explicaciones un método de concepción *actualista*.⁴²

Entonces, se observa que Mariano Bárcena sigue a algunos catastrofistas. Por otra parte, sobre la formación de las montañas, Bárcena les atribuye la acción de los terremotos:

Sin embargo, ya antes había advertido: Los cambios de nivel pueden ser súbitos ó graduales y lentos; los primeros, llamados *paroxísmicos*, pueden tener lugar durante un terremoto, [...] Los cambios de lentos ó *seculares* son también visibles, sobre todo en las altas latitudes, y en Uddevalla ese levantamiento es de tres piés en cien años.⁴³

En este punto, Bárcena cree posibles tanto los cambios graduales como los súbitos. De modo que adopta una posición intermedia entre catastrofismo y uniformismo, quizá influenciado por el mismo Beaumont, quien como se recordará es seguido por Vilanova.

Por otra parte, se refiere a la hipótesis de Laplace sobre la formación del universo:

Adoptaremos, pues, la teoría de Laplace, admitida generalmente en la actualidad; teoría que se aviene muy bien á esa uniformidad de plan que armoniza todas las maravillas de la naturaleza, y que demuestran de una manera evidente el inmenso poder y la sabiduría de Dios.⁴⁴

Como también se vio en el Capítulo I, las teorías de elevación de las montañas tenían como base las hipótesis de Laplace, de modo que resulta coherente para Mariano de la Bárcena considerar el levantamiento súbito de montañas (que no debe confundirse con el de los volcanes).

En resumen, puede observarse que Mariano Bárcena poseía una sólida formación geológica y un profundo conocimiento de lo que se discutía en esos

⁴² *Ibidem*, p. 62.

⁴³ *Idem*.

⁴⁴ *Ibidem*, p. 282.

momentos en otros países. El que haya utilizado el libro de Dana es una muestra de ello, dado que fue el representante norteamericano en estas discusiones y, además, el más cercano –geográficamente hablando– a México, de modo que sus estudios podían servir mejor de “ejemplos” a los mexicanos, quienes veían en Europa otras denominaciones que no siempre se aplicaban en estos suelos.

Por otra parte, se aprecia que a finales del siglo XIX, Bárcena continuaba basándose en autores catastrofistas como Vilanova y Beaumont, si bien ya en un proceso de transición marcado por el método actualista. Sin embargo, es de resaltar que el estudio que realiza sobre los volcanes, se basa en los trabajos de Lyell, y como ya se ha visto, para el británico era importante esgrimir sus argumentos sobre la elevación gradual de los volcanes en contra de la tesis de elevación de montañas de Elie de Beaumont. En suma, el geólogo mexicano podía aplicar en sus trabajos las proposiciones de ambos bandos, lo cual es un modo propio de adaptación de las ideas.

Hasta este momento se ha visto las incorporaciones en los dos manuales editados por mexicanos, utilizados para la enseñanza de la Geología en el Colegio de Minería y en la Escuela Nacional de Agricultura. En ambas obras se aprecian elementos tanto catastrofistas como uniformistas, si bien representa una sorpresa que Andrés del Río se hubiera adherido a los postulados uniformistas sobre la formación de las montañas, acto que lo aleja del catastrofismo. A continuación se presenta una reseña sobre los trabajos geológicos desarrollados en México.

2.2 Trabajos geológicos en México

Para revisar lo que se tiene impreso sobre ciencias de la Tierra en los primeros tres siglos de dominación española, se consultaron las obras de José Guadalupe Aguilera y Rafael Aguilar y Santillán, que escribieron entre finales del siglo XIX y principios del XX, y en las cuales proporcionaron información sobre el desarrollo de la geología en México. El primero escribió en el seno de la Sociedad Geológica

Mexicana y el segundo en el del Instituto Geológico de México –ambas instituciones estaban estrechamente relacionadas, compartían el mismo inmueble y el liderazgo de Aguilera.⁴⁵

Los datos que recabaron son valiosos porque representan la visión de quienes vivieron la etapa de la institucionalización de la Geología en México, y que además, al hacer estos recuentos, proporcionaron y diferenciaron del resto de información, el acervo propio de su disciplina. Esto es también una forma de avance de la ciencia normal que busca un cuerpo común de conocimientos que puedan ser considerados propios de la disciplina.

Para José Guadalupe Aguilera la minería mexicana nació con las exploraciones realizadas por los españoles “aguijoneados siempre por su insaciable sed de riquezas”,⁴⁶ si bien en los siglos XVI y XVII fue poco lo que pudo adelantarse, con las obras ya referidas en el párrafo anterior.

2.2.1 Primeros trabajos

En territorio novohispano, si bien el origen de las ciencias de la Tierra comenzó en el siglo XVI, con el desarrollo de la minería, los trabajos de ese entonces se refieren solamente a determinados aspectos de la misma, como rocas, metales, piedras preciosas, importantes para la economía colonial y para el conocimiento del territorio. José Alfredo Uribe expone que las primeras aportaciones fueron principalmente descriptivas de la flora, la fauna, los minerales, los huesos fósiles y los fenómenos geológicos como volcanes y temblores del Nuevo Mundo, y hace

⁴⁵ Véase en línea: Aguilera, José G., “Desarrollo de la Geología en México”, en: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Imprenta Escalante, México, 1905, p. 37. Visto en: *Internet Archive*, www.archive.org/stream/boletindelasoci1219051906soci/boletndelasoci1219051906soci_djvu.txt (Consulta: 10 de junio de 2012). Aguilar y Santillán, Rafael, *Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana, formada por...*, Instituto Geológico de México, México, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, 1898, 160 p.

⁴⁶ Véase en línea: Aguilera, José Guadalupe, “Desarrollo de la Geología en México”, en: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Imprenta Escalante, México, 1905, p. 37. Visto en: *Internet Archive*, www.archive.org/stream/boletindelasoci1219051906soci/boletndelasoci1219051906soci_djvu.txt (Consulta: 10 de junio de 2012).

una revisión de estos materiales, en la cual se mencionan las obras de Fray Bernabé Cobo, Fray Juan de Torquemada y Pedro Alarcón, entre otros.⁴⁷

Las obras que menciona Uribe Salas y el año en que se realizaron son: López de Gómara, *Historia general de las Indias*, 1550; Cobo, Bernabé, *Historia del Nuevo Mundo*, 1695; Torquemada, Juan de, *Los veinte i un libros rituales i monarchia indiana*, 1695; y Alarcón, Pedro, *Efemérides para los temporales, 1724-1730*. Al tomar su trabajo como guía, se obtuvo un listado comentado sobre las principales obras publicadas en Geología hasta inicios del siglo XX, donde el autor destaca las más importantes de cada periodo, como la del padre Bernabé Cobo, *Historia del Nuevo Mundo*, un tratado de Historia Natural donde se tratan de explicar los fenómenos naturales en consonancia con la tradición cristiana. Este libro muestra cómo se trataba de hacer coincidir el conocimiento de lo “material” con lo que marcaba el Génesis:

Para mayor expedición y claridad de muchas dificultades que se ofrecerán en las materias que he de tocar en esta escritura, juzgué por necesario echar primero algunos fundamentos y principios, de que se podrá fácilmente sacar la resolución dellas, con tratar en los primeros capítulos breve y concisamente, así la creación del mundo por el orden que se cuenta en el principio del Génesis, siguiendo la exposición de los doctores que más se arriman a la letra del sagrado texto, como lo que de la naturaleza y propiedades de sus principales partes, que son cielos y elementos, escribieron los filósofos y astrólogos que más alcanzaron destas ciencias. (Cobo 1964, 1:13).⁴⁸

En la *Historia general de las Indias*⁴⁹, del eclesiástico Francisco López de Gómara (1511-1566) –quien por cierto escribió con base en lo que Hernán Cortés y otros exploradores le dijeron, puesto que nunca pisó tierras americanas–, puede observarse una descripción donde destacan los hechos de exploradores españoles, ponderando la figura de Cristóbal Colón como descubridor de América. También habla sobre las costumbres de los pueblos americanos a lo largo de todo el continente. Las referencias a los animales y las plantas son también muy generales, así como las de los lugares donde los nativos utilizaban adornos de oro.

⁴⁷ Uribe Salas, José Alfredo, *Institucionalización de las Ciencias de la Tierra en México*, siglo XIX, Facultad de Historia, UMSNH, p. 2.

⁴⁸ Visto en Millones-Figueroa, Luis, “La historia natural del padre Bernabé Cobo. Algunas claves para su lectura”, en: *Colonial Latin American Review*, vol. 12, No. 1, 2003.

⁴⁹ López de Gómara, Francisco, *Historia general de las Indias*, consultado en: <http://es.scribd.com/doc/6824838/Lopez-de-Gomara-Francisco-Historia-General-de-las-Indias> (fecha de consulta: 12 de junio de 2012).

Al inicio de la obra, publicada en 1550, el cronista realiza una explicación filosófica donde admite la redondez de la Tierra y, entre otras ideas, afirma que los continentes son islas, en lo que constituye una muestra de la cosmovisión que se tenía sobre la Tierra. También está presente en su obra la existencia de Dios y de leyes divinas que procuran hacer del planeta un lugar habitable: “La mar, aunque es más alta que la Tierra, y muy mayor, guarda su redondez en medio y sobre la Tierra, sin derramarse ni sin cubrirla, por no quebrantar el mandamiento y término que le fue dado; antes ciñe de tal manera, ataja y hiende la Tierra por muchas partes, sin mezclarse con ella, que parece milagro”.⁵⁰

Alexander von Humboldt

En 1803 el barón Alexander von Humboldt arribó a la Nueva España acompañado por Aimé Bonpland, con el objeto de proseguir sus exploraciones de las colonias hispanas en América. Como fruto de este viaje publicó su *Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente*, en 30 volúmenes, de los cuales dos corresponden al territorio de la Nueva España.⁵¹

Humboldt visitó el Real Seminario de Minería en la ciudad de México, recorrió parte del territorio novohispano y elaboró algunos perfiles geológicos del país, como el de México-Veracruz, o Acapulco-México.

El barón prusiano trabajó aspectos geológicos del país, como la vulcanología y la petrografía; introdujo su *pasigrafía* en el estudio dentro del Real Seminario de Minería, a través de los *Elementos de Orictognosia*, de su amigo Andrés del Río; describió los relieves del suelo mexicano y de sus cordilleras; clasificó los estratos petrográficos; pero no se limitó a la descripción de estratos, rocas, terrenos o relieves, sino que con el amplio conocimiento que tenía, realizó comparaciones con otras partes del mundo y expuso sus propias hipótesis, como es el caso de su *Bosquejo de la pasigrafía geognóstica*. Puede observarse que trata de explicar su

⁵⁰ López de Gómara, *Historia general...*, sección II, s/n.

⁵¹ Labastida, Jaime, “El Humboldt universal y el Humboldt mexicano”, en: Humboldt, Alejandro de, *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*, Tomo I, edición facsimilar (París, 1822), México, Instituto Cultural Helénico/Miguel Ángel Porrúa, Librero-editor, 1985, pp. XVII-XLVI.

entorno por medio de la observación de la naturaleza. Además, pese a haber estudiado en Freiberg, poco a poco fue desligándose de la escuela neptunista gracias a las exploraciones que realizó.

Su visita al volcán del Jorullo reviste especial importancia, dado que se trataba de un volcán de reciente formación, y fue el primero en proporcionar una explicación científica sobre su origen.⁵² Por otra parte, cabe hacer mención que cuando Humboldt estudiaba el territorio mexicano, ya tenía en mente la construcción de la que sería su obra cumbre: *Cosmos*, un tratado de física natural con el conocimiento que se tenía hasta ese entonces, compuesto de cuatro tomos completos y uno que dejó sin terminar, que vio la luz a mediados de la centuria decimonónica.⁵³

Joseph Burkart

Joseph Burkart fue otro extranjero que llegó a México, atraído por las riquezas que Humboldt mencionaba. Se desempeñó como director de minas en Michoacán, además de ser miembro activo de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística⁵⁴ y de obtener reconocimiento nacional e internacional por sus trabajos. Entre éstos destacan las descripciones estratigráficas del centro del país –particularmente Michoacán–,⁵⁵ así como un mapa geológico a colores sobre Zacatecas⁵⁶ y otro sobre Tlalpujahua, denominado “Descripción del distrito de

⁵² Urquijo Torres, Pedro S., *Humboldt y el Jorullo, historia de una exploración*, México, INE-Semarnat/UNAM/CIDEM/El Colegio de Michoacán/UMSNH/H. Ayuntamiento de La Huacana, 2008, p. 79.

⁵³ El primer tomo fue publicado en 1845. Rebok, Sandra, “Introducción”, en: Humboldt, Alexander von, *Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo*, Madrid, Los libros de la catarata/CSIC, 2011, pp. XI-XXXIII.

⁵⁴ Antes Instituto Nacional de Geografía y Estadística creado en 1833 por el gobierno de Valentín Gómez Farías y Antonio López de Santa Anna, durante un periodo en el cual se intentó reformar la educación en el país mediante la introducción de varios cambios en la legislación y en los planes de estudio, la desaparición de la Universidad Nacional, la creación de institutos y centros de educación técnica, entre otros. Para más detalles véase Alvarado, Lourdes, *La polémica en torno a la idea de universidad en el siglo XIX*, UNAM, 1994.

⁵⁵ Véase Pérez Escutia, Ramón Alonso, “Estudio preliminar”, en Flores, Teodoro, *Geología minera de la región Noreste del estado de Michoacán*, SUMA/UMSNH/Ayuntamientos Constitucionales de la Región Oriente de Michoacán, 2004, pp. XIV-X.

⁵⁶ Burkart, Joseph, *Aufenthalt und Reisen in México in des Jahren 1825 bis 1834*, dos tomos, Stuttgart, 1836.

Minas de Tlalpujahua y de su constitución geológica”. En: *Boletín de la Sociedad de Geografía y Estadística de la República Mexicana*.

Henri Nyst y Henri Galeotti

En cuanto a Henri Nyst y Henri Galeotti, dieron inicio a la Geología histórica en México, al determinar la existencia de rocas del periodo Cretácico en el país. Sus estudios geológicos fueron publicados en el *Bulletin de L'Académie Royal des Sciences del Belgique*, con lo cual fue posible además comparar las formaciones sedimentarias de Europa y México.⁵⁷

Comission Scientifique du Mexique

En este sentido, cabe mencionar que con el Segundo Imperio se estableció la *Comission Scientifique du Mexique* para realizar la exploración del territorio mexicano,⁵⁸ misma que tenía entre sus objetivos la conformación de la Carta Geológica de México,⁵⁹ para lo cual Auguste Dollfus, Eugène Montserrat y Paul Pavie fueron comisionados. Los acontecimientos políticos posteriores impidieron terminar el proyecto, pero Antonio del Castillo lo retomó con el objetivo de presentarlo en la Exposición Internacional de París en 1889.

Geólogos mexicanos en la segunda mitad del siglo XIX

Con el establecimiento de los gobiernos liberales a partir de la segunda mitad del siglo, este desarrollo también sirvió para mostrar hacia el exterior y hacia el interior del país una cara “civilizada”, que diera la seguridad de que se estaba en rumbo hacia el progreso, para demostrar que el Estado-nación mexicano era capaz de conocer y dominar su territorio –es decir que tenía soberanía sobre él–, y quería este reconocimiento a nivel nacional e internacional.

⁵⁷ Azuela, “La Geología en la formación...”, p. 98.

⁵⁸ Soberanis, Alberto, “Continuidades y discontinuidades. La ciencia durante el Segundo Imperio”, en: Dosal Mancilla, Francisco Javier y Gerardo Sánchez Díaz, *Continuidades y rupturas. Una historia tensa de la ciencia en México*, Morelia, Instituto de Investigaciones Históricas de la UMSNH, pp. 179-213.

⁵⁹ Fredj, Claire, “Géologique sous le second empire. L'expédition scientifique du Mexique (1864-1867)”, *Les Cahiers du Centre de Recherches Historiques* [En ligne], 17 | 1996, mis en ligne le 27 février 2009, URL: <http://ccrh.revues.org/2630>; DOI: 10.4000/ccrh.2630 (fecha de consulta: 26 de mayo de 2013).

El desarrollo científico era importante en tanto que se pudiera ver y tocar como componente del progreso, de modo que las obras y los espacios de sociabilidad del conocimiento debían promocionarse ante los habitantes. Por esta razón, las obras públicas resultaron vitales para los gobiernos, como la introducción del ferrocarril y del telégrafo, la construcción de caminos y la obra del desagüe del Valle de México. Para Manuel Perló Cohen, la motivación de Díaz para la construcción de dicho desagüe fue, por un lado, "...la necesidad de construir y consolidar un sistema de dominación y control político-ideológico sobre la sociedad mexicana, y por el otro, a la identidad personal y psicológica que se produjo entre su proyecto modernizador nacional y esta edificación hidráulica".⁶⁰

2.2.2 Antonio del Castillo

El ingeniero de minas que fungió como puente entre los dos paradigmas. No publicó un libro de texto para impartir su clase de Mineralogía porque continuó utilizando el de su maestro: *Elementos de Orictognosia*, y otros de apoyo. En el discurso que Antonio del Castillo pronunció después de ser nombrado profesor de Mineralogía, en sustitución de su maestro, el joven egresado todavía sostuvo algunos conceptos de su maestro, si bien con un distanciamiento incipiente con respecto de las opiniones de Werner, en cuanto a la edad de las vetas meridionales y las orientales.⁶¹

Uno de los aspectos que Del Castillo consideró fundamental desde sus tiempos de estudiante, fue destinar más tiempo para realizar prácticas de campo, dado que los ingenieros recién egresados carecían de experiencia en las minas, y las tareas más sencillas les parecían difíciles. En 1843 tuvo oportunidad de defender esta postura en las páginas de *El Monitor Constitucional*,⁶² cuando se vio

⁶⁰ Véase *El paradigma porfiriano: historia del desagüe del Valle de México*, Perló Cohen, Manuel, Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM/Miguel Ángel Porrúa, librero-editor, 1999, 314 p.

⁶¹ Castillo, Antonio del, "Discurso leído en los actos de la clase de Mineralogía por el profesor..., el día 17 de noviembre de 1848", en *Anuarios del Colegio Nacional de Minería*, 1845, 1848, 1859, 1863, edición facsimilar, UNAM, México, 1994, s/n.

⁶² Es posible seguir este debate tanto en las páginas del diario como en el libro: Díaz y de Ovando, Clementina, *Los veneros...*, pp. 1029-1031.

envuelto en un debate sobre la importancia de la recién creada cátedra de Mecánica aplicada a las Minas –de la cual era responsable.

Luz Fernanda Azuela afirma que ya como maestro de Mineralogía, se encargó de formar los gabinetes de Mineralogía, Geología y Paleontología de la ahora Escuela Nacional de Ingenieros. Se destacó también por llevar a sus alumnos a realizar prácticas de campo, donde ponía énfasis en la geología histórica, con el objeto de formar la carta geológica.⁶³

Para fortalecer la práctica de los estudiantes de Minería, propuso la creación de una Escuela Práctica de Minas, en Fresnillo, de la cual él mismo fue profesor. También se debe destacar que en su posterior trabajo como legislador, continuó con su inquietud por el trabajo práctico, que además le proporcionaría un mejor conocimiento sobre la superficie terrestre. Esto es importante señalar porque son precisamente el trabajo de campo y la observación cuidadosa de la superficie terrestre los pilares de su metodología, junto con la newtoniana premisa de que las leyes de la naturaleza son invariables en el tiempo.⁶⁴

En esta postura puede observarse cierta influencia de los británicos Charles Lyell y William Smith, para quienes las capas de la Tierra eran realmente un libro que leer para conocer su historia.

Este énfasis en el desarrollo práctico de los ingenieros de minas se articula con las necesidades del gobierno. Para la historia de la ciencia en México es importante el aspecto político, puesto que la ciencia en este país ha tenido una tradición utilitarista al servicio de la actividad económica e industrial, particularmente en lo que respecta a la minería, principal motor desde la Colonia y con el que se buscó apuntalar el desarrollo de México como Estado independiente. Para realizar este seguimiento se pueden observar las redes de relaciones que se tejieron entre los hombres de ciencia y el gobierno en turno.

Además de realizar cambios en los planes de estudio y de organizar el conocimiento geológico, Del Castillo fungió como cabeza de la comunidad científica que se reunía en torno al paradigma geológico uniformista, ahora con nuevos espacios de sociabilidad: primero la Sociedad Mexicana de Geografía y

⁶³ Azuela Bernal, “La Geología en la formación...”, p. 101.

⁶⁴ Morelos, “La Geología mexicana...”, pp. 66-67.

Estadística, y después la Sociedad Mexicana de Historia Natural, la Comisión Geológica de México y el Instituto Geológico de México, pero sin abandonar el que les había proporcionado el Colegio de Minería –después denominado Escuela Nacional de Ingenieros.⁶⁵

En cuanto a los trabajos geológicos que Antonio del Castillo publicó, destacan los que cubren aspectos técnicos y utilitarios, como los realizados sobre las minas de azogue o los criaderos de hierro,⁶⁶ así como las exploraciones hacia lugares como Baja California. Pero también publicó otras investigaciones, que dejaron ver su interés hacia temas paleontológicos, como el caso del primer registro fósil en México sobre mamíferos.⁶⁷

Además de ser el baluarte principal para la creación del Instituto Geológico de México, dirigió sus esfuerzos a la creación de la Carta Geológica de la República, que completaría la geología de Norteamérica, con lo cual se daría un paso importante en cuanto al cumplimiento de proyectos conjuntos con los vecinos del norte. Al respecto, cuando retomó esta Carta luego de que los franceses se marcharan, expresó en el primer número de la revista *La Naturaleza*:

Esta determinación o conocimiento de esas medallas o fósiles [habla sobre la Carta Geológica], es de tanto mayor interés cuanto que se completará con ella la geología de Norte-América, que impacientemente espera el mundo civilizado.

La carta geológica de nuestro país será un monumento grandioso levantado a la ciencia, y es preciso desde ahora ir recogiendo los materiales, así como ir adiestrando a los trabajadores que deben ocuparse de ella.⁶⁸

Para finalizar este capítulo, valga hacer la anotación de que si bien Kuhn no considera influyentes la acción externa como la política y se centra en la actividad de los científicos, ya se ha visto que en México la primera sociedad científica fue creada con apoyo del gobierno y para responder intereses que vinculaban la

⁶⁵ Habrá que recordar que inicialmente la Comisión Geológica ocupó un “entresuelo” del edificio de la ENI, proporcionado por el propio Antonio del Castillo. Véase Rubinovich Kogan, Raúl, “Ezequiel...”, p. 35.

⁶⁶ Véanse: Del Castillo, Antonio, “Los criaderos de Azufre de México y su explotación”, en: *La Naturaleza*, Tomo I, años de 1869 y 1870; p. Castillo Antonio, del, “Cuadro de la mineralogía mexicana”, en: *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geología y Estadística*, Imprenta de Gobierno en Palacio, 1865.

⁶⁷ Del Castillo, Antonio, “Clasificación y datos sobre los mamíferos fósiles encontrados en el Valle de México”, *Deutsche Geologische Gessellschaft Zeitschrift*, 21, pp. 479-482.

⁶⁸ Del Castillo, Antonio, “Discurso inaugural”, en: *La Naturaleza*, Tomo I, 1870, pp. 4-5.

ciencia con el desarrollo y la explotación del territorio, y esta relación pervivió en el tiempo, si bien con otras sociedades como la de Historia Natural o la Antonio Alzate. Para el último tercio del siglo resultó más fácil traducir los intereses de la comunidad científica al gobierno, que también deseaba utilizar los resultados de dicha comunidad para afianzar su legitimidad. Por lo anterior se sigue el comentario de Luz Fernanda Azuela en el sentido de que los científicos de la época debían “traducir” en términos de intereses económicos o materiales los resultados de sus investigaciones, en una dinámica que no los dejó apartarse demasiado de los intereses de la clase gobernante.⁶⁹

En este capítulo se ha revisado el proceso de la delimitación de la ciencia geológica en el Colegio de Minería, en donde se encontró que los maestros de Mineralogía fueron pioneros en el estudio del uniformismo, si bien el primero (Andrés del Río) tuvo una aproximación en el segundo ya es posible observar una transición hacia el paradigma.

Se observó que el *Manual de Geología* de Andrés del Río, utilizado hasta fines del siglo XIX como libro de texto para el Colegio de Minería, contiene no solamente elementos del uniformismo, sino también referencias explícitas al trabajo de Lyell. Por lo tanto, en ella se conjugan elementos de ambas posturas. Resalta que el autor sostenga que lo encontrado en campo apoya lo expresado en el Génesis, pero también que haya utilizado argumentos de Charles Lyell para denostar una teoría catastrofista.

Puede concluirse entonces que el esfuerzo por consolidar la geología en México tiene como antecedente a Andrés del Río; que si bien en un principio se manifiesta como werneriano, poco a poco su visión se va matizando, como puede observarse en la primera obra sobre mineralogía escrita en el continente americano: sus *Elementos de Orictognosia*, que sufrió ligeras modificaciones para adaptarse al intenso despliegue científico que se dio a finales del siglo XVIII y principios del XIX, en cada una de sus reimpresiones: 1795, 1805, 1832 y 1846. De este modo fue actualizándose al conocimiento que se iba validando en Europa,

⁶⁹ Azuela Bernal, Luz Fernanda, *De las minas al laboratorio: la demarcación de la geología en la Escuela Nacional de Ingenieros (1795-1895)*. México, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geografía, UNAM, 2005, p. 164.

si bien hubo algunos aspectos que el sabio español no aceptó del todo. Por ejemplo, el sistema de Berzelius para la clasificación de los minerales fue adoptado hasta la edición de 1832.⁷⁰

Mariano Bárcena poseía una sólida formación en los aspectos geológicos, que le permitió elaborar un manual con conocimiento especializado. En sus páginas se observa que comparte elementos de los sistemas catastrofista y uniformista; los primeros referidos a la formación de montañas y a la idea de que la Tierra se está encogiendo por efectos de su enfriamiento (teoría de Laplace). Pero también hace hincapié en el estudio de la Geología histórica y del estudio de los estratos. Otros elementos uniformistas, sin embargo, se observan en su estudio sobre el volcán del Ceboruco, realizado mediante la metodología de Lyell.

Por otra parte, a finales del siglo XIX, Mariano Bárcena deseaba ajustar los hechos observables en la naturaleza a las narraciones bíblicas. Cabe aquí rescatar una diferencia con Charles Lyell: aunque el mismo geólogo británico era creyente, e incluso llegó a mencionar al ser Omnipotente y Eterno que “nos ha querido ostentar su poder creador...”, no trató de ajustar los resultados de sus investigaciones a sus creencias religiosas.

Por otra parte, el que poco a poco los ingenieros mexicanos se hubieran involucrado en el estudio de las formaciones geológicas del país, habla de la evolución que se tuvo en la enseñanza, pero también en el cambio de necesidades en el país, puesto que también el Estado comenzó a organizar y financiar este tipo de expediciones y de conocimiento, lo cual se tradujo en un apoyo para la formación de institutos y sociedades donde se privilegió el conocimiento práctico del territorio.

Antonio del Castillo, además de ser uno de los geólogos más destacados y cuyo nombre ha quedado entrelazado con el desarrollo de esta ciencia en México, fue un hábil dirigente de la comunidad científica geológica, al dotarla de objetivos, al abrirle espacios y al fungir como interlocutor con el gobierno y con otros geólogos, como los franceses de la *Commission*, o los del Congreso en París. La culminación de sus esfuerzos en pro de la geología fue la creación del Instituto

⁷⁰ Del Río, Andrés, *Elementos de Orictognosia*, 1832, Filadelfia.

Geológico de México. En el ámbito de la enseñanza, al incorporar cambios en los planes de estudio, como la separación entre Geología, Zoología y Paleontología, y con el énfasis que dio al estudio de la Geología histórica en las prácticas de campo, incorporó poco a poco el uniformismo a la enseñanza.

Por otra parte, los trabajos que realizó en campo tuvieron utilidad práctica, al proporcionar información sobre criaderos y explotación de minerales como el azufre y el carbón. Del mismo modo, las comisiones que se le encomendaron para realizar la exploración de territorios nacionales como Baja California, brindaron mayor conocimiento del territorio que sería utilizado por el gobierno o por los dueños de las minas. Por otra parte, el deseo de construir y presentar en París su obra más importante: el Bosquejo Geológico de la República, refleja el deseo de este geólogo mexicano por participar en las discusiones internacionales y contribuir en ellas con información *de punta*.

CAPÍTULO III. EXCURSIONES Y EXPLORACIONES. ENTRE LA TEORÍA Y LA PRÁCTICA

Introducción

En este capítulo se pretende reconstruir el proceso de aclimatación de las teorías que llegaban de Europa por medio del estudio práctico que realizaron los geólogos mexicanos. Para esto se tomaron como hilo conductor las exploraciones a la caverna de Cacahuamilpa realizadas por la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística (SMGE), el Instituto Médico Nacional y el Instituto Geológico Mexicano, en el último tercio del siglo XIX y a principios del siglo XX.

Esto es debido a que de una revisión de las actas de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística se observó que en 1874 se presentó una polémica entre sus miembros, que tenía que ver con la edad de la Tierra, leída en un accidente de la naturaleza en particular: las grutas de Cacahuamilpa. Por lo tanto, una revisión de los informes elaborados en ese periodo sobre dicho objeto puede proporcionar información sobre el conocimiento que se aplicaba en el estudio de la naturaleza, las teorías seguidas por una comunidad científica en particular, y una aproximación al debate en el aspecto religioso.

Se parte en este capítulo de la idea de que el trabajo en Comisiones tenía un carácter utilitario, pero es en los debates realizados en el seno de las sociedades científicas donde se pudieron discutir los temas relacionados con el aspecto teórico y los alcances filosóficos de los paradigmas que llegaban de ultramar.

También se puede observar el proceso asimilación de los conceptos, y cómo se va reordenando el conocimiento geológico conforme al nuevo paradigma; así como las indecisiones, los conflictos y la asimilación de una nueva escala de valores que diera soporte a las nuevas teorías. Esto, en la búsqueda del consenso entre los hombres de ciencia.

3.1 El estudio de las cavernas

Las grutas o cavernas eran estudiadas por los naturalistas y geólogos, puesto que constituían una entrada directa al subsuelo. Cuando ya se tuvo la noción de estratigrafía, fue posible ubicar en las paredes de estas cavidades las diferentes divisiones de los estratos, de acuerdo con los tipos de rocas que se tenían, y obtener conclusiones sobre su formación y sus características. En el siglo XIX Sir Charles Lyell, por ejemplo, utilizó la Gruta de los Quesos, en Bertrich-Baden (Eifel, Alemania), para ejemplificar la estructura columnaria y globulosa que se presenta en las rocas volcánicas.¹

Para los uniformistas el estudio de las cavernas en la segunda mitad del siglo XIX, podía basarse en los ejemplos suministrados en los *Principios* y los *Elementos de Geología*, tanto para resolver las hipótesis que se planteaban, como la composición mineral de una caverna o la manera como se había formado. Para Thomas Kuhn, los ejemplos sirven para la resolución de los *rompecabezas* que plantea el paradigma; en la medida en que los hombres de ciencia aprendan y apliquen las formas estandarizadas para resolver cierto tipo de problemas, avanzarán en el desarrollo de la ciencia normal.²

Siguiendo esta línea de pensamiento, uno de los aspectos relevantes sobre una caverna de composición calcárea es que permite el estudio de los fósiles de las rocas sedimentarias, pues hay que recordar que las rocas calizas:

...están compuestas de cal y de ácido carbónico. Estos mismos elementos entran también en la composición de las conchas y de los corales; pero en este caso hay además una cierta cantidad de materia animal [...]. Varias de estas piedras calares están exclusivamente compuestas de pequeños fragmentos de conchas y de coral, o de arena calcárea...³

Como las conchas y los corales se conservan fácilmente, están presentes en las sucesivas capas estratigráficas, por lo cual son útiles como indicadores para diferenciar cronológicamente los distintos estratos, y para distinguir entre el

¹ Lyell, Charles, *Elementos de Geología*, Barcelona, Crítica, 2011, p. 154.

² "...a los científicos no se les enseñan definiciones, pero sí formas estandarizadas de resolver problemas seleccionados...". Kuhn, Thomas, "Prefacio", en: *La tensión esencial*, México, Fondo de Cultura Económica, 1996, pp. 18-19.

³ *Ibidem*, p. 33.

carácter marino o de agua dulce de los sedimentos.⁴ En otras palabras, el estudio de los fósiles de determinado estrato posibilita su datación –algo que para la segunda mitad del siglo XIX ya era bien conocido y aplicado–, si bien había que complementar el estudio con el orden de las capas estratigráficas.

Como se acaba de mencionar, esto ya era conocido y trabajado independientemente del uniformismo, pero la aportación de éste fue plantear que, a diferencia de lo expuesto por Werner, el tipo de roca no estaba relacionado con la edad, aspecto que se desarrollará más adelante.⁵

Por otra parte, se ha mencionado a lo largo de esta investigación que se utilizaba el estudio de la estratigrafía para calcular la edad de la Tierra pero no se ha explicado cómo se hacía, de modo que se abre un pequeño paréntesis para comprender mejor esta parte, antes de entrar en el estudio de Cacahuamilpa.

Un método para medir el tiempo geológico consistía en calcular la velocidad de denudación⁶ de los relieves y de la cantidad (o espesor) de sedimentos a que dicha erosión daría lugar. De esta manera, se obtenía el Índice medio de sedimentación:

$$\text{Espesor total de los estratos} / \text{Índice medio de sedimentación} = \text{Tiempo en que tuvo lugar la formación de una sucesión de estratos}^7$$

Hay que destacar que este cálculo debía hacerse con mucho cuidado, y que la inexactitud de sus resultados llegó a ocasionar discusiones en Europa, porque en el momento de su aplicación había de considerarse varios factores. Pedro Calvo Sorando ejemplifica este riesgo con el intento realizado por Darwin para datar los terrenos del Weald, cuyo resultado fue de 300 millones de años, cifra que el naturalista publicó en la primera edición de su libro *El origen de las especies*,

⁴ Calvo Sorando, José Pedro, “Introducción”, en: Lyell, Charles, *Elementos...*, p. LXXI.

⁵ Hutton fue el primero en plantear esto, que más tarde desarrolla Lyell en sus obras. *Ibidem*, p. LXXVIII; Lyell, *Elementos...*, pp. 184-186; Cabezas Olmo, Encarnación, *La Tierra, un debate interminable*, Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza, 1ª edición, p. 30.

⁶ En el siglo XIX era más común utilizar la palabra “denudación” en lugar de “erosión”. Véase: Calvo Sorando, “Introducción”, en: Lyell, *Elementos...*, p. XVII.

⁷ Actualmente se le conoce como tasa de sedimentación. *Ibidem*, p. XVII.

pero que se vio obligado a retirar en posteriores ediciones, después de ser duramente criticado porque en ese caso debía haber utilizado la tasa de erosión fluvial en lugar de la erosión marina, con lo que se alteró demasiado su resultado, que debía haber sido aproximado a 1.3 millones de años.

3.1.1 Cacahuamilpa

En México, la espeleología, o estudio de las cavernas, se inauguró con el descubrimiento de la caverna de Cacahuamilpa en 1834.⁸ Toma su nombre de un poblado cercano en el municipio de Pilcaya, mismo que proviene del náhuatl y quiere decir “sementera de cacahuate”. Bajo esta denominación se conocen dos grutas: la de Cacahuamilpa y la de Carlos Pacheco. Oficialmente, el descubrimiento de la primera es atribuido a don Manuel Sainz de la Peña Miranda, hacendado que en 1834, al huir de la justicia después de una pelea, se ocultó en ella por un tiempo. En cuanto a la segunda, el periódico de época *La América* cita que indígenas de la región mostraron su existencia al general Carlos Pacheco Villalobos (1839-1891), durante una excursión que realizó en 1878.⁹

La fama del lugar se extendió nacional e internacionalmente y pronto el tranquilo sitio alejado de la civilización fue objeto de exploraciones con distintos fines. Acudieron mandatarios, cónsules extranjeros, artistas, personalidades de la vida política y social de éste y otros países.¹⁰ También, naturalistas, geógrafos y

⁸ Aunque es necesario destacar que algunos hombres de ciencia ya habían observado algunas cavernas, cuevas, grutas u oquedades durante sus comisiones. Bárcena, Mariano, *Viaje a la caverna de Cacahuamilpa, datos para la geología y la flora de los estados de Morelos y Guerrero por...*, alumno de la Escuela Especial de Ingenieros, México, Imprenta del Gobierno en Palacio, 1874, p. 18.

⁹ Sobre el significado del nombre, véase: Orozco y Berra, Manuel, “Cacahuamilpa”, en: *Apéndice al Diccionario General de Historia y de Geografía, colección de artículos referentes á la República Mexicana*, Tomo I, VIII de la obra, México, imprenta de J. M. Andrade y F. Escalante, 1855, pp. 416-418; para la versión oficial de su descubrimiento, “Grutas de Cacahuamilpa”, en: *Guerrero, Gobierno del Estado 2011-2015*, <http://www.guerrero.gob.mx/articulos/grutas-de-cacahuamilpa> (visto el 16 de noviembre de 2012). Sobre su descubrimiento, véase Calderón de la Barca, madame, *Mi vida en México*, Editorial Porrúa, 1977; Cfr. con García Cubas, Antonio, “Una excursión a la Caverna de Cacahuamilpa”, en: *Escritos diversos de 1870 a 1874*, México, Imprenta de Escalante, 1874, p. 147. Sobre el descubrimiento de la segunda caverna: Robledo, Cecilio A., “Los estados mexicanos. Cacahuamilpa”, en *La América*, Año XXVII, Núm. 2, 28 de enero de 1886, Madrid, p. 15.

¹⁰ Entre éstos destacan, en el ámbito político: el presidente Ignacio Comonfort en 1855; la emperatriz Carlota diez años después; el presidente Sebastián Lerdo de Tejada en 1874 y Porfirio Díaz, en 1881, todos acompañados por personas cercanas a ellos. Véase: Cecilio A. Robledo, “Los

geólogos tanto nacionales como extranjeros, interesados en su estudio. Otras cavernas estudiadas por los mexicanos en el siglo XIX fueron: la caverna Ojo de Agua, en 1887 y la gruta El Encanto, en Guerrero, en 1890.¹¹

3.1.2 Primeras exploraciones de carácter científico

En 1835 se organizó la primera expedición de carácter científico hacia el interior de la caverna de Cacahuamilpa, ubicada en el estado de México. Lo anterior, puesto que hasta 1849 fue creado el estado de Guerrero, mediante el Decreto del 15 de mayo expedido por el Congreso General.¹² Si bien ésta fue organizada por el francés Jean Baptiste Louis, barón de Gros (1793-1870), contó entre sus miembros a Manuel Velázquez de la Cadena y a Ignacio Serrano, este último como dibujante.¹³ Los resultados de esta expedición fueron publicados en 1835, 1838, 1844 y 1865, junto con una pintura que el europeo realizó del lugar.¹⁴

Cabe destacar la participación del barón de Gros como diplomático en México, y después como miembro de la *Commission Scientifique du Mexique*,

estados mexicanos. Cacahuamilpa”, en *La América*, Año XXVII, Núm. 2, 28 de enero de 1886, Madrid, pp. 14-15. Sobre la emperatriz, se encuentran numerosas referencias sobre su visita, que comentan que en la pared de una de las galerías de la caverna talló la frase: “María Carlota llegó hasta aquí”. Véase por ejemplo en Antonio García Cubas, *El libro de mis recuerdos*, México, Editorial Patria, 1969, pp. 816 y 817. Sobre el paseo del presidente Lerdo pueden revisarse los periódicos *El Siglo Diez y Nueve*, de febrero a marzo de 1874, Octava época, Año XXXIII, tomo 56, núm. varios; para el caso de Porfirio Díaz, además de lo escrito en prensa existe una narración publicada por Eugenio Cañas en 1887 y que puede consultarse en Internet: Eugenio J. Cañas, “De México a Cacahuamilpa”, 1887, en: *Cuernavaca*, Biblioteca Virtual Antorcha, <http://www.antorcha.net/index/biblioteca.html> (fecha de consulta: 13 de noviembre de 2012).

¹¹ Véase: “Descripción de la gruta del ‘Encanto’ ubicada en el Coquillo, perteneciente á la Municipalidad de San Marcos en el Distrito de Tabares”, en: *Memoria del Gobierno del Estado de Guerrero*, 1890, pp. 185-187. Villada, Manuel M., “La caverna de Ojo de Agua”, *La Naturaleza*, 2ª. s. I, 1887, pp. 81-85, 2 láms.

¹² Véase: *División territorial de los Estados Unidos Mexicanos de 1810 a 1995*, México, INEGI, 1997, p. 50.

¹³ Flores, Teodoro, “La caverna de Cacahuamilpa, por el Ingeniero de Minas...”, en: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo VI, 1909, p. 95.

¹⁴ Véase Galván, Mariano, “La Caverna de Cacahuamilpa”, en: *Calendario de las Señoritas Mexicanas para el año de 1838*, México, Mariano Galván, 1838, pp. 159-183. Cabe destacar que fueron publicados junto con los resultados de la *Commission Scientifique de Mexique*. Véase: Gros, barón, *Renseignements destinés aux voyageurs qui auront à étudier les monuments anciens situés dans les environs de Mexico*, Arch. Commissions Scientifique du Mexique 1. 1865, pp. 137-146.

durante la intervención francesa, dentro del grupo de científicos franceses que trabajaron desde París.¹⁵

El elemento a destacar de dicha expedición es la pintura mencionada (Imagen 1). El barón conjugaba su carrera como diplomático con su interés por la ciencia y la creación en el lienzo (más adelante aprendió fotografía), de modo que reprodujo la panorámica del interior de la caverna que se muestra debajo de estas líneas. Además de su valor artístico, cabe ponderar esta obra como producto científico, dado que mediante la precisión de sus trazos buscaba tanto el fin artístico como la representación del objeto de estudio. De este modo, pudo transformar Cacahuamilpa en una imagen concreta tanto para los hombres de ciencia como para el público en general,¹⁶ al tratarse de la primera imagen realizada del lugar.



Imagen 1. *Caverna de Cacahuamilpa*, 1835, pintura realizada por el barón de Gros¹⁷

¹⁵ Véase: Lara Mimblera, Iván, *Reacciones, colaboraciones y proyectos científicos. Los ingenieros de Minería durante la Intervención Francesa y el Segundo Imperio en México (1862-1867)*, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México, p. 165.

¹⁶ Trabulse, Elías, *Arte y ciencia en la historia de México*, México, Fomento Cultural Banamex, 1995, p. 36.

¹⁷ "Historia de la espeleología", Disponible en: Seduma, <http://www.seduma.yucatan.gob.mx/cenotes-grutas/historia-espeleologia.php> (fecha de consulta: 30 de junio de 2013).

El barón de Gros fue un político y hombre de ciencia, si bien es más conocido por su afición a la fotografía. Cuando se llevó a cabo la Intervención francesa y el Segundo Imperio en México, él formó parte desde Francia de la *Commission Scientifique du Mexique*,¹⁸ e incluso esta comisión publicó su obra sobre Cacahuamilpa, lo cual muestra el interés de los franceses por esta caverna.

Interés manifiesto también en la expedición de Dominik Bilimek (1813-1884), quien llegó a México para encargarse del Departamento de Historia Natural del Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia, de modo que recorrió varios lugares de la República para nutrir las colecciones.¹⁹ Estudió la fauna y la flora de la gruta de Cacahuamilpa en 1867, cuando las visitó en compañía del jardinero Knechtel. En su obra *Fauna der Grotte Cacahuamilpa in Mexiko*²⁰ manifiesta el asombro que le causaron y explica que la brevedad de su estancia (permaneció en ellas de ocho de la mañana a tres de la tarde) le impidió realizar estudios científicos más profundos.

3.2 Un debate sobre la edad de la Tierra

El 15 de febrero de 1874 el presidente Sebastián Lerdo de Tejada salió de México con una comitiva conformada por gobernadores, diputados, secretarios, militares, periodistas y otras personalidades, con rumbo a la gruta de Cacahuamilpa, a donde llegaría el “martes á las ocho de la mañana” y donde permanecería hasta las cuatro de la tarde, hora en que volvería a Tetecala.²¹ Es decir, permanecieron ocho horas en ella. Entre los acompañantes del presidente se encontraban: el periodista de corte liberal Alfredo Bablot, redactor del *Federalista*; Ignacio Manuel Altamirano, intelectual y magistrado de la Suprema Corte, y el naturalista y

¹⁸ Lara Mimblera, *Reacciones, colaboraciones...*, p. 165

¹⁹ Azuela Bernal, Luz Fernanda y Rodrigo Vega y Ortega, “El Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia (1865-1867)”, en: *La geografía y las ciencias naturales en el siglo XIX mexicano*, México, Instituto de Geografía de la UNAM, 2011, pp. 103-120.

²⁰ Dominik Bilimeck, *Fauna der Grotte Cacahuamilpa in Mexiko*, 1867, vom. 6 (se agradece la traducción a Nele Wetzold).

²¹ “Noticias nacionales y extranjeras”, en: *El Siglo Diez y Nueve*, febrero 15 de 1874, Octava época, Año XXXIII, Tomo 56, Núm. 10,631, p. 3.

geólogo Mariano Bárcena –también redactor del *Federalista*.²² Los tres también eran miembros de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.

Este viaje tuvo repercusiones en el terreno político que no toca abordar en esta investigación,²³ lo que interesa es la discusión que se abrió en la SMGE sobre la exploración de las cavernas, y que comenzó con un telegrama que Alfredo Bablot envió a Manuel Orozco y Berra, justo cuando iba de regreso. Según refiere el Acta Número 9 de Sesiones de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, el 21 de febrero de 1874, en dicho comunicado el periodista expresaba sus impresiones sobre las cavernas, y decía que sus formaciones rocosas indicaban “una antigüedad mucho mayor que la de la creación del mundo, fijada en la Biblia”.²⁴

Cabe hacer un paréntesis para recordar por qué una de las opciones epistemológicas presentadas por Bablot para datar la Tierra era la información extraída del Génesis. No se trata sólo de afirmar que los mexicanos eran católicos y por eso tomaban en cuenta el libro del Génesis para medir el tiempo de existencia del planeta. Hay que recordar que en Europa, en este periodo el debate sobre el tiempo geológico continuaba, ahora renovado con la intervención de

²² *Idem*. Aunque en el diario no menciona a Bárcena, se sabe por él mismo que también participó en la comitiva. Véase: Bárcena, Mariano, *Viaje a la caverna de Cacahuamilpa, datos para la geología y la flora de los estados de Morelos y Guerrero por...*, alumno de la Escuela Especial de Ingenieros, México, Imprenta del Gobierno en Palacio, 1874, p. 7.

²³ El viaje fue muy comentado en los periódicos, tanto por quienes estaban en favor del gobierno como por la oposición, máxime que éste no fue solamente de placer, puesto que el presidente aprovechó su paso por Morelos para destituir al general Francisco Leyva como gobernador del estado, y reemplazarlo con el diputado Agustín Clavería. Este hecho fue criticado por la oposición a grado tal que se habló de *sacar* a Lerdo de la presidencia de la República. Del mismo modo, se habló del despilfarro que hacía el presidente en estos viajes y de haber faltado a la Constitución de la República, que incapacitaba al Ejecutivo para abandonar la capital del país. Estos ataques fueron particularmente escritos por Vicente Riva Palacio en el periódico *El Radical*. Por su parte, los defensores del presidente hablaron de las ventajas científicas que este viaje tendría y que pronto se verían, y de que exageraban quienes atacaban al presidente. También se destacó la reconciliación de Altamirano “con el señor gobernador del estado” de Morelos, lo cual iba a repercutir en beneficio de dicho estado. Véanse los periódicos de *El Siglo Diez y Nueve* de todo febrero, particularmente de los días 2, 3, 4, 5, 30 y 31 de marzo, y *El Radical* en esas mismas fechas. Destaca la crítica mordaz de Riva Palacio, quien además de las editoriales que escribió, modificó su canción de *Adiós mamá Carlota* para acusar al presidente por el despilfarro del viaje a Cacahuamilpa. Véase esto último en: Barajas Durán, Rafael (*El Fisgón*), *El país de “El Ahuizote”, la caricatura mexicana de oposición durante el gobierno de Sebastián Lerdo de Tejada (1872-1876)*, México, 1ª edición, Fondo de Cultura Económica, 2005, p. 309.

²⁴ “Acta Número 9”, en: *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, Tomo II, 1874, p. 21.

William Thomson, quien para este año ya había publicado sus primeros trabajos sobre el tema.²⁵ Esto dio nuevos bríos a los catastrofistas bíblicos, apoyados por los cálculos de semejante eminencia.²⁶ Es obvio que Bablot había seguido este debate, y por lo mismo aventuró su observación.

Después de la lectura de esta parte del telegrama se desató una discusión en la que intervino principalmente Orozco y Berra, quien ya había visitado las cavernas, a quien esa opinión no le pareció suficientemente fundada. “Habló en seguida del aspecto geológico, e intervinieron Ignacio Ramírez, Manuel Rivera, Ward Pool, Mandred y Rul”.²⁷

El Acta Número 10²⁸ refiere que en la siguiente reunión se presentó el mismo Alfredo Bablot para reiniciar el debate. Respondieron Orozco y Berra, Mariano Bárcena, Ignacio Ramírez –a la sazón presidente de la Sociedad– y Sánchez Facio. Antonio García Cubas leyó una parte de su memoria sobre las grutas, y dado que la reunión se prolongaba, quedó en terminar de leerla en la siguiente sesión. Aunque en el acta sólo se aprecian las posturas de Bablot y de Orozco y Berra, es posible recrear la discusión a partir de los trabajos publicados por sus protagonistas.

3.2.1 Presentación de trabajos sobre Cacahuamilpa en la SMGE

Manuel Orozco y Berra

Manuel Orozco y Berra había realizado una exploración de las cavernas en 1847 y publicado sus resultados en 1855, en el apéndice del *Diccionario Universal de Historia y de Geografía*, del cual fue coordinador.²⁹ Comenzó por definir que se trataba de una caverna, no de una gruta ni de una cueva:

²⁵ Thomson, William, “On the Age of the Sun’s Heat”, *Macmillan’s Magazine*, 5, 1862, pp.288-293; “On the Secular Cooling of the Earth”, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 13, 1864, pp. 167-169; “On Geological Time”, *Transactions of the Geological Society of Glasgow*, 3 (1), 1868, pp. 1-28.

²⁶ En 1868 Thomson calculaba una edad de 98 millones de años para la Tierra, pero después llegó a acortarla hasta ¡25 millones de años! Véase: Cabezas Olmo Encarnación, *La Tierra...*, p. 92.

²⁷ *Idem*.

²⁸ “Acta Número 10”, en: *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, Tomo II, 1874, p. 22.

²⁹ Orozco y Berra, Manuel, “Cacahuamilpa”, en: *Apéndice al Diccionario...*, pp. 415-418.

Aunque el nombre de gruta se emplea comúnmente como sinónimo de caverna, se distingue ésta de la primera por la gran extensión y diversas estancias o salones que presenta, en lugar que la gruta se reduce á un salón ó estancia, las más veces no muy grande.

Tampoco debe confundirse la caverna con la cueva, porque ésta se considera como obra artificial y la caverna es una cavidad natural en el interior de la Tierra, que presenta cierta extensión y que se compone ordinariamente de una serie de estrecheces y ensanches, esto es, de una especie de estancias ó salones más o menos vastos, que se comunican por pasadizos más ó menos estrechos.³⁰

En cuanto a la descripción geológica que realiza del lugar, el geógrafo aplicó conocimientos de diversas fuentes, aunque la única que menciona es la *Geología* de Beudant que, como se recordará, fue utilizada como libro de texto en el Colegio de Minería. Mezcla posturas catastrofistas y uniformistas. Sobre las primeras, puede verse en el párrafo siguiente:

...Estos grandes trozos desprendidos que manifiestan los derrumbamientos ocurridos en la caverna, dejándose ver en algunos espacios de su bóveda los huecos antes llenos, recuerdan y demuestran los trastornos y deterioros que el terreno ha experimentado posteriores a la formación de la caverna en las grandes catástrofes y sacudimientos terrestres.³¹

A continuación menciona el método actualista como el camino para explicar su formación:

No es fácil explicar [*sic*] de un modo enteramente satisfactorio el origen y formación de estas cavernas; pero examinando y fijando la observación en los fenómenos actuales, se dan explicaciones [*sic*] que convencen más, por estar fundadas en hechos y no en sistemas caprichosos.³²

Después de mencionar que han sido varias las causas de la formación de las cavernas, entre ellas la “desigual dureza y maleabilidad de las diversas formaciones calizas de la época, de sus trastornos y el endurecimiento progresivo”, se olvida del método actualista para mencionar que las aguas antiguas poseían mayor densidad de las actuales, y tenían mayor carga de ácido carbónico. Vale decir en este punto que Orozco y Berra tiene razón al afirmar que las aguas que había en la caverna tenían mayor cantidad de dicho ácido, dado que en 1909 Teodoro Flores observa lo mismo, pero este último le atribuye una explicación distinta al afirmar que es producto de la filtración del agua meteórica

³⁰ *Idem.*

³¹ *Ibidem*, p. 416.

³² *Ibidem*, p. 417.

(la de las lluvias) a través de las rocas de la caverna, lo que la enriquecía “en proporción notable”.³³

Por lo tanto, puede observarse que Orozco y Berra llegó a esta conclusión sobre las aguas carbónicas de la caverna basado en las ideas preexistentes en su marco de referencia, que todavía no contemplaba la metodología actualista. De esta manera puede decirse que las ideas que predominan en este trabajo del geógrafo mexicano son de índole catastrofista. Trata de justificar su trabajo apoyado en el actualismo para dar explicaciones basadas en “hechos”, y no en sistemas caprichosos, pero en seguida considera que las “aguas antiguas” eran más densas que las actuales, con lo cual se aleja de dicho método. Esto nos lleva a considerarle una postura ambigua que, por otra parte, era normal en la época: se trata de los ajustes para adaptarse al nuevo paradigma y lograr el consenso.

Con esto se observa que a mediados del siglo XIX ya se conocía y se discutía el método actualista, pero que todavía existían permanencias catastrofistas conviviendo con las ideas del nuevo paradigma.

Por otra parte, puede verse su interés por encontrar fósiles –instrumentos para datar los estratos–, y sugiere que se realicen estudios paleontológicos del lugar. Cuando reflexiona sobre el número de siglos que habrán tardado en crearse las formaciones internas de la caverna, concluye en que deben ser bastantes:

Es sin embargo curioso el trabajo en pequeño que hace la naturaleza y que se descubre en las pequeñitas estalactitas y estalagmitas de estas grutas, [...] elaboradas por las aguas calizas gota á gota, del mismo modo que las grandes masas que contiene la caverna y que sorprenden al reflexionar el número de siglos que habrán tardado para la formación de tan enormes, caprichosas y variadas producciones, hijas del poder que concedió el Autor del universo á la admirable naturaleza.³⁴

Esta reflexión no ayuda a definir si está hablando de periodos muy extensos o solamente extensos, lo cual ayudaría a aclarar su punto de vista sobre los cambios lentos en la Tierra y, por lo tanto, su opinión sobre la edad de la misma, dado que algunos catastrofistas no tenían problema alguno en considerar grandes lapsos de tiempo. Sin embargo, Orozco y Berra se plantea este problema en 1855, cuando estaba el debate en Europa y antes de que Lord Kelvin publicara su “On

³³ Flores, Teodoro, “La caverna...”, pp. 93-111.

³⁴ *Ibidem*, p. 418.

the Age of the Sun's Heat",³⁵ con el cual el caballero inglés se introdujo en la discusión desde el punto de vista de la termodinámica. Esto muestra que el mexicano estaba al tanto de las discusiones geológicas que se sucedían en Europa.

Por otra parte, es menester comentar que la obra de Orozco y Berra tiene un carácter descriptivo, y dado que la exploración promedio a esta caverna se realizaba en ocho horas –después de las cuales había que regresar para evitar pasar la noche en ellas o en el peligroso camino frecuentado por asaltantes–,³⁶ no contó con el tiempo necesario para hacer estudios más profundos. Pero sí señala los rumbos para exploraciones posteriores: la búsqueda de fósiles, la determinación de su origen y la investigación relacionada con la datación del planeta.

Finalmente, no debe olvidarse que publicó esta descripción 19 años antes de que se presentara la discusión en la SMGE, y por lo tanto no es algo que haya preparado para la ocasión, de tal forma que sus criterios pudieron haber cambiado en ese lapso, perdiendo tal vez la ambigüedad observada, sobre todo tomando en cuenta el periodo de acercamiento que vivió con la ciencia francesa durante el Segundo Imperio, y que tal vez influyó en su posicionamiento de 1874, de negar que las cavernas pudieran tener las pistas para afirmar la duración de la Tierra más allá de a la Biblia.

Antonio García Cubas

A pesar de presentar su trabajo sobre las cavernas en el seno de una discusión sobre la edad de la Tierra, el material que García Cubas leyó en la SMGE no trata de responder la pregunta señalada, más bien se ocupa de aspectos generales sobre el recorrido hasta Cacahuamilpa y de una descripción de la caverna. Antonio García Cubas, al igual que Orozco y Berra, era geógrafo, pero había

³⁵ Thomson (Lord Kelvin), W., "On the Age of the Sun's Heat", in: *Macmillan's Magazine*, 5, 1862, pp. 288-293.

³⁶ El artista Eugenio Landesio narra cómo su grupo fue víctima de un asalto cuando iban de regreso a la ciudad de México. Landesio, Eugenio, *Excursión a la caverna de Cacahuamilpa y ascensión al cráter del Popocatepetl*, México, 1868, Imprenta del Colegio de Tecpam, p. 25.

realizado trabajos geológicos anteriormente,³⁷ al igual que otros ingenieros contemporáneos.³⁸

Su escrito está dividido en tres partes: la primera dedicada al camino y las dos últimas a la descripción de las cavernas. Al revisar el contenido, puede apreciarse que observa el tipo de terreno, la vegetación, los cultivos. Incluye un cuadro sobre la composición poblacional del estado de Morelos por raza y municipalidad. De igual forma, describe la industria o los cultivos de los pueblos por donde pasaron y la conformación urbana de los mismos.³⁹ Al llegar a las grutas, describe que sus bóvedas son de piedra caliza.

También refiere que la opinión con respecto a su formación se encuentra dividida, dado que “unos la atribuyen a la acción de las aguas y otros a la plutónica”.⁴⁰ Afirma que la existencia de dos ríos internos es la causa para que se crea que el agua ha sido el principal agente de su formación, pero él, apoyado en la observación de los terrenos adyacentes –que tienen “dislocadas y metamorfoseadas las capas calizas”–, cree que el origen fue una dislocación violenta del terreno.⁴¹

A continuación da una explicación de la formación de las cavernas, tanto las producidas por la acción del agua como por la acción volcánica:

En los mares, el continuo movimiento del agua desaloja las materias sólidas del terreno, abriendo grietas y grutas profundas, así como en las tierras continentales las aguas han contribuido principalmente a perforar las montañas. No sólo esta causa puede producir tales efectos: la eyección de materias eruptivas, el enfriamiento de las lavas, la expansión

³⁷³⁷ Entre sus trabajos geológicos podemos mencionar, el resultado de la *Comisión Científica a Metlatloyuca*, encabezada por Ramón Almaraz, Guillermo Hay y Antonio García Cubas, que debía “reconocer el camino entre Tulancingo y Huachinango para examinar los terrenos baldíos y hacer un croquis de ellos para saber de su situación y superficie”. En el *Croquis del camino de Tulancingo a la Mesa de Coroneles* incluyeron el corte geológico teórico, que menciona los sedimentos terciario, cretácico, basáltico, volcánico y moderno. Asimismo, recogieron rocas de cada capa descrita. En: Almaraz, Ramón, *Memoria acerca de los terrenos de Metlatloyuca, presentada al Ministerio de Fomento por la Comisión Exploradora, presidida por el ingeniero...*, México, Imprenta Imperial, 1866, pp. 13-17, y croquis del Camino de Tulancingo á la Mesa de Coroneles con un corte geológico teórico. Véase también: Lara Mimblera, *Reacciones, colaboraciones...*, pp. 148-156.

³⁸ Es pertinente mencionar que para esos años existía una crisis en la geografía, no sólo en México sino a nivel mundial, debido a que se tenía que redefinir su área de estudio. Véase: Azuela Bernal, Luz Fernanda, *Tres sociedades...*, pp. 55-57.

³⁹ Antonio García Cubas, “Una excursión a la Caverna de Cacahuamilpa”, en: *Escritos diversos de 1870 a 1874*, México, 1874, Imprenta de Escalante.

⁴⁰ *Idem.*

⁴¹ *Ibidem*, p. 148.

de los gases y vapores y la liquidación ígnea de las rocas, son otras tantas causas a que debe atribuirse la existencia de las grutas y cavernas que tan justamente nos admiran. Supónese igualmente que los espacios hoy libres se hallaban ocupados en tiempos remotos por grandes masas de sal que, disuelta por el agua, fue arrastrada en su corriente; mas lo que no admite duda es, que la acción plutónica ha sido el agente principal en la formación de muchas cavernas.⁴²

Sobre la formación de la misma, afirma que la opinión se halla dividida entre la acción de las aguas y la acción plutónica.⁴³

Mariano Bárcena

El Acta número 11⁴⁴ reseña que tocó el turno a Mariano Bárcena leer su informe sobre la exploración geológica de Cacahuamilpa, elaborado a partir de las observaciones realizadas cuando acompañó al presidente Lerdo de Tejada.

Pese a que desde un inicio refiere que su trabajo es una pequeña contribución a la historia natural del país, en tanto que contiene solamente algunos datos sobre la Geología y la flora del camino y de las cavernas, resulta más completo que los anteriores.

Después de una descripción mineralógica del camino y de la caverna, en la que describe los terrenos calizos que conforman el lugar, prosigue con el análisis geológico, para “determinar las épocas relativas de su formación y de los fenómenos que las han alterado”.⁴⁵

Bárcena muestra el uso de una metodología moderna, en tanto que comienza por el estudio de las rocas con base en los estratos y los fósiles depositados en ellos,⁴⁶ para realizar la datación. Además, utiliza los conceptos de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas en la acepción dada por Charles

⁴² *Idem.*

⁴³ Plutónica se refiere a la acción de los volcanes. Este término fue acuñado en el siglo XVIII por los seguidores de la corriente denominada plutonismo, que afirmaban que las rocas tenían un origen ígneo o volcánico. Para más detalles, consultar Pelayo, Francisco, “Las teorías geológicas y paleontológicas durante el siglo XIX”, en *Akal, historia de la ciencia y de la técnica*, Núm. 40, Coruña, pp. 11-13.

⁴⁴ “Acta Núm. 11”, en *Boletín...*, Tomo II, p. 25.

⁴⁵ Bárcena, Mariano, *Viaje a la caverna de Cacahuamilpa, datos para la geología y la flora de los estados de Morelos y Guerrero*, por..., alumno de la Escuela Especial de Ingenieros de México, México, Imprenta del Gobierno en Palacio, 1874, p.14.

⁴⁶ Dado que en ocasiones suceden hundimientos y cambios en la posición de los estratos, un estudio completo debe incluir ambos. Véase: Viniestra Osorio, Francisco, *Geología histórica de México*, México, UNAM, 1992, pp. 13-20.

Lyell, de modo que puede observarse a través de este trabajo la aclimatación de dichos términos, y con el sentido y significado que el británico les dio, puesto que hay que recordar que fue el primero en utilizar el término de metamórficas para referirse a las rocas cuyo estado hubiese sido alterado, ya sea por la acción ígnea o por agentes químicos.⁴⁷

De hecho, tanto en *Principles* como en *Elements of Geology* se expone una teoría sobre la formación de estas rocas, que Werner consideraba –al igual que buen número de geólogos en el siglo XIX– como previas a la existencia de los seres vivos. Para Lyell esto no es necesariamente cierto, y el tipo de roca no tiene que ver con la edad de los estratos, porque pueden formarse en cualquiera de éstos. De ahí la importancia de que su datación se realice con base en la estratificación y en la fosilización.⁴⁸

Volviendo al trabajo de Bárcena sobre Cacahuamilpa, se decía líneas arriba que utiliza el término *metamórficas* en el mismo sentido que Lyell, como demuestra en el siguiente párrafo, al explicar los terrenos de la zona:

A las rocas metamórficas debemos referir las pizarras arcillosas, la vacía y las masas calcáreas que comienzan á mostrarse en la barranca de Colotepec y continúan hasta Cacahuamilpa y sus inmediaciones. Esas masas, que en un principio fueron también sedimentarias se encuentran trastornadas y removidas en diversas direcciones por la acción de las rocas ígneas; el calor de éstas las hizo sufrir un principio de cristalización, que se hace notable en algunos bancos que han pasado al estado de caliza granuda.⁴⁹

Mariano Bárcena, pese a que solamente las observó unas horas, se formó “una idea muy general de sus caracteres” [*sic*], que no le impidió datarlas:

Para clasificar cronológicamente esas masas calcáreas las revisé con bastante cuidado para ver si encontraba en ellas algunos restos fósiles que determinasen la época de su formación. No habiendo encontrado al principio, y valiéndome solamente de los caracteres litológicos, que eran idénticos á las de otras masas que había estudiado en varias localidades, las consideré como pertenecientes al tiempo mesozoico. Esta clasificación la confirmé á pocos momentos con la presencia de algunas conchas de nerinea que encontré incrustadas en una roca que se halla en la cañada de Limontetla. [...] La presencia de nerinea geroglífica determina en Europa las formaciones jurásicas; pero los hippurites pertenecen al período cretáceo. [...], me hacen considerar la caliza en cuestión como perteneciente al fin del

⁴⁷ Habrá que recordar, sin embargo, que el británico publicó por primera vez sus obras en la década de los treinta del siglo XVIII. Véase al respecto, Lyell, *Elementos...*, p. 184-186.

⁴⁸ De hecho, con esta idea Lyell rompió con las teorías de principios del siglo XIX y particularmente con la clasificación de Werner, que había relacionado el tipo de roca con la edad del estrato. Para Calvo Sorando, con esta idea Lyell introdujo un modelo mucho más dinámico en cuanto a la formación de la corteza terrestre. Véase: Calvo Sorando, “Introducción”, p. LXXVIII.

⁴⁹ Bárcena, *Viaje...*, p. 17. Cfr. Lyell, *Elementos...*, p. 177, 184-185.

período jurásico y principio del cretáceo, pues participa á mi juicio, de los caracteres paleontológicos de ambos.⁵⁰

Una vez definida la cronología de las rocas en las que estaba la caverna, y establecer que había sido invadida por el mar después de su formación sedimentaria, pasó a presentar su hipótesis sobre el origen de la caverna y la época geológica en que se había formado:

...cuando los lechos horizontales de caliza que habían depositado los mares, fueron invadidos por las masas eruptivas, perdieron su colocación primitiva y al plegarse y removerse en todos sentidos, se fracturaron y ampollaron en diversas direcciones. Más tarde las eyecciones de materias metálicas rellenaron algunas de aquellas oquedades y se formaron las vetas, pero otras de aquellas, que tal vez estaban aisladas y no comunicaban con las grietas de eyección pudieron quedar vacías y conservarse así, hasta la actualidad. Las dimensiones de esas oquedades han variado después por la filtración de las aguas que lavando y disolviendo las superficies de las rocas han formado corrientes subterráneas que pueden ejercer acciones erosivas y sedimentarias.

Esta explicación general de las oquedades que se hallan en nuestras formaciones mesozóicas puede aplicarse a la caverna que nos ocupa.⁵¹

Después de explicar que los pórfidos traquíticos hicieron “su aparición en el tiempo cenozoico, tanto en América como en el antiguo continente”, refiere “con bastante fundamento que la caverna se formó en el período terciario”.⁵²

Para ese entonces, el periodo denominado por Lyell como Terciario había sido rebautizado por Phillips como Cenozoico (todavía no se había creado el Cuaternario).⁵³ El uso de los dos términos en un mismo trabajo es otra prueba del conocimiento que se tenía de la obra de Lyell y de la influencia que todavía tenía entre los geólogos.

La contribución “en pequeño” de Mariano Bárcena hacia la Historia Natural del país no es tal, dado que realiza por vez primera la estratificación de las cavernas que, como advierte correctamente, forman parte de un mismo sistema

⁵⁰ Bárcena, *Viaje...*, p. 17.

⁵¹ *Ibidem*, p. 20.

⁵² *Ibidem*, p. 21. Se trata del periodo anterior al Cuaternario, que comprende hasta nuestros días. Charles Lyell subdividió el periodo terciario en tres: Eoceno, Mioceno y Plioceno, y concluyó que las formaciones calizas pertenecían al terciario reciente. Sin embargo, no planteó la cronología para cada uno. Charles Lyell, *Principles of Geology*, Vol. III, Fifth edition, London, John Murray, 1837.

⁵³ Fernández-López, Sixto, “Fósiles de intervalos sin registro estratigráfico: una paradoja geológica”, en: Aguirre, Emiliano *et al.* (coords.), *Registros fósiles e historia de la Tierra*, Madrid, Editorial Complutense, 1997, pp. 79- 106.

conformado por las montañas de la zona (ahora denominado Sistema de Cacahuamilpa).

Por otra parte, Bárcena definió también los aspectos que debían investigarse en una expedición futura de la SMGE:

1. Obtener conocimiento topográfico de la montaña donde se encontraba la caverna.
2. Consultar los estudios realizados en el mineral de Taxco, para buscar los principales agentes del levantamiento de sus montañas.
3. Realizar un estudio topográfico de la caverna.
4. Realizar también un estudio geológico de la caverna y de las montañas ya referidas.
5. Finalmente, hacer algunas observaciones meteorológicas para compararlas con las que se han determinado en algunas grutas ya estudiadas.⁵⁴

En las actas se asienta que los presentes escucharon con gran atención y decidieron publicar en el *Boletín* los trabajos tanto de García Cubas como de Bárcena, así como realizar la expedición mencionada. Al respecto, cabe destacar que en el caso de este último, fue publicado al mes siguiente, en marzo de 1874, por la Imprenta de Gobierno; esta urgencia puede deberse a la necesidad de justificar el viaje del presidente a la caverna de Cacahuamilpa, presentando este documento como uno de los resultados científicos obtenidos.

Con respecto a la expedición, las actas de sesiones siguientes mencionan los preparativos, los fondos, los miembros: Gumesindo Mendoza, Francisco Jiménez, Lobato, Eufemio Mendoza, Vicente Reyes, Santiago Ramírez, Díaz Aguirre, Amado Chimalpopoca, Hill, Celso Muñoz y un fotógrafo.⁵⁵

Pero el 30 de marzo Ignacio M. Altamirano publicó en *El Federalista*⁵⁶ una carta dirigida a Alfredo Bablot, donde explicaba que la sociedad había decidido posponer el viaje por varios motivos, entre ellos la ausencia de Mariano Bárcena y del fotógrafo; la falta de luces adecuadas para el interior de la caverna; el compromiso de buena parte de los comisionados con sus respectivas cátedras – varios daban clase en distintas instituciones—. Faltaban también las secciones

⁵⁴ Mariano Bárcena, *Viaje...*, p. 13.

⁵⁵ Actas Número 12 y 13, en: *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, Tomo II, 1874, p. 21.

⁵⁶ Altamirano, Ignacio M., “Motivos para diferir el proyectado viaje á la gruta de Cacahuamilpa”, en: *El Federalista*, Tomo V, Núm. 1171, 29 de marzo de 1874, p. 1. Véase una reproducción de esta misma carta en: “La expedición científica a Cacahuamilpa”, en: *El Siglo Diez y Nueve*, Octava época, Año XXXIII, Tomo 56, 31 de marzo de 1874, p. 3.

para formar el plano topográfico exterior y la que estudiaría la parte hidrográfica, entre lo más destacado.

Aunque durante los preparativos se había mencionado que se poseía dinero para realizar la expedición, otra razón podría ser que éste no sería suficiente. Para el gobierno o la Secretaría de Fomento probablemente no era necesario brindar mayor apoyo económico a la expedición, dado la reciente visita del presidente a las grutas, acompañado por algunos de los miembros de la SMGE. Se podría haber considerado que dicha exploración había sido suficiente en términos utilitarios, puesto que incluso el gobierno ya había publicado un resultado científico de esta visita: el trabajo de Mariano Bárcena.

Por otro lado, los miembros de la expedición se sumaron a otros proyectos que sí eran oficiales, como la comisión encargada del viaje a Japón para medir el paso de Venus por el Sol, en la cual también participó Francisco Jiménez, o la comisión para el estudio de los temblores de Jalisco ocurridos en febrero del siguiente año, en la cual participó Mariano Bárcena.⁵⁷ Ambos proyectos diferían del de Cacahuamilpa en tanto que serían de utilidad al país. El primero porque permitiría a México sumarse en una investigación de carácter internacional, en la que se esperaba se hiciese una contribución importante. Y el segundo, la comisión para estudiar los temblores aportaría datos sobre las causas de dichos movimientos telúricos y sus posibles consecuencias.

Pero regresando al tema de Cacahuamilpa, cabe aclarar que sí hubo otras expediciones en años posteriores, organizadas por miembros de la SMGE pero ya en otros espacios de sociabilidad y con fines distintos.

⁵⁷ Sobre el viaje a Japón: Moreno Corral, Marco Arturo, *Odisea 1874 o el primer viaje internacional de científicos mexicanos*, México, SEP, 1986, 142 p. Sobre la comisión para estudiar los temblores en Guadalajara: *Informe y colección de artículos relativos a los fenómenos geológicos verificados en Jalisco en el presente año y en épocas anteriores. Edición oficial*, Tomo I, Guadalajara, Pip. de S. Banda, calle de la Maestranza, 1875.

3.2.2 Expediciones posteriores

Comisión para revisar hundimientos y resbalamientos del terreno

En 1879 regresó Mariano Bárcena a Cacahuamilpa, a la cabeza de una comisión que debía revisar unos hundimientos que se habían producido en los alrededores. Lo acompañaron Miguel Iglesias, Gumesindo Mendoza, Francisco Bulnes, Eugenio Cañas y los generales Carlos Pacheco, Jesús Lalanne, Jesús H. Preciado, Ángel Martínez y Feliciano Chavarría, entre otras personas. Esta expedición le sirvió para reforzar sus ideas iniciales sobre el periodo de formación de la caverna y para obtener ejemplos para su *Tratado de Geología*.

También encontró restos de piezas de cerámica en el interior, y ruinas de un templo antiguo en la parte de afuera, por lo cual manifestó ser de la idea de que la gruta hubiera sido en el pasado el *hogar* de alguna deidad indígena. Sin embargo, tampoco era el momento para realizar el estudio que Bárcena deseaba sobre la zona y hasta Taxco –cuyos objetivos ya había planteado en 1874–, por ser distinto el objetivo que se tenía en este viaje.

La expedición del Instituto Médico Nacional

En 1889 se realizó otra expedición a las grutas, ahora organizada por el Instituto Médico Nacional (IMN). Participaron en ella los naturalistas Alfonso L. Herrera, Manuel Villada y Guillermo Beltrán y Puga. Este último escribió una reseña que apareció publicada en el boletín de la Sociedad Científica Antonio Alzate, de la cual era presidente. El organizador de la expedición fue el doctor Fernando Altamirano, director del IMN. Las comisiones que se formaron para este viaje, fueron: de Climatología, Botánica, Zoología, Geología, Aguas minerales, Bacteriología, Fotografía, Pintura y paisaje. Puga fue encargado de la comisión geológica y de la crónica del viaje.⁵⁸

⁵⁸ Beltrán y Puga, Guillermo, “A la caverna de Cacahuamilpa”, en: Beltrán y Puga, Guillermo y Rafael Aguilar y Santillán, *Memorias de la Sociedad Científica “Antonio Alzate”*, Tomo V, México, Imprenta del Gobierno Federal en el ex-Arzobispado, 1891, pp. 112-224.

Puede entenderse por qué un Instituto Médico organizó una expedición a las grutas de Cacahuamilpa después de leer lo que Rafael Guevara Fefer escribió sobre dicho establecimiento:

Sin duda, en la segunda mitad del siglo XIX, el más importante centro de investigación de la naturaleza fue el Instituto Médico Nacional (INM, 1888), lugar donde los naturalistas mexicanos continuaron el proyecto iniciado por la Sociedad Mexicana de Historia Natural: realizar el inventario exacto y completo de la flora mexicana y estudiar sus aplicaciones terapéuticas.⁵⁹

La reseña que se publicó es más una crónica de viaje que un estudio científico. Los resultados científicos son escasos y aparecen hasta el final del documento. Con respecto a la comisión de Geología, a cargo de Guillermo Beltrán y Puga, justifica su escaso material con el poco tiempo que se tuvo para recabarlo. Aunque reconoce que la mayoría de las cavernas de rocas calizas se forman por las filtraciones de agua, no cree que estas cavernas se hayan formado de esta manera. Después de observar los estratos de las paredes, está convencido de que su origen se debe al:

...levantamiento de las masas calizas del seno de los mares cretáceos donde se hallaban horizontalmente, para venir á formar lo más accidentado de una parte de nuestras sierras, sufrieron en su masa dislocaciones y doblamientos que semejantes á los que resultan cuando se estruja una hoja de papel entre las manos, no sólo vinieron á originar la formación de las eminencias y de los valles, sino que debajo de esas mismas arrugas deben haber que dado huecos y vacíos que si por algún accidente se ponen en comunicación con el exterior constituyen las cavernas.⁶⁰

Es decir, las cavernas de Cacahuamilpa se formaron como producto del movimiento de las calizas, al resquebrajarse, y los huecos resultantes después quedaron expuestos hacia el exterior. Por la forma como describe el hecho, pareciera una explicación del sistema catastrofista, cercana a la de Elie de Beaumont, sobre todo cuando menciona el ejemplo de la hoja de papel estrujada entre las manos, y por la utilización de la palabra “levantamiento” al inicio del párrafo.

También señala que la formación de las grutas pertenece al periodo Mesozoico, en una época en que las lluvias fueron más abundantes que ahora. En

⁵⁹ Guevara Fefer, Rafael, Los últimos años de la Historia Natural y los primeros días de la Biología en México, *la práctica científica de Alfonso Herrera, Manuel María Villada y Mariano Bárcena*, Cuadernos 35, México, Instituto de Biología de la UNAM, 2002, p. 35.

⁶⁰ Beltrán y Puga, “A la caverna...”, p. 154.

esta parte puede observarse que difiere de Mariano Bárcena en cuanto al periodo, pues Beltrán y Puga las juzga más antiguas, al colocarlas antes del Cenozoico, por medio del análisis de los mismos fósiles.

También señala que durante la expedición recogieron algunas muestras de materiales, entre ellas distintas clases de mármol y de calizas.

La Sociedad Geológica Mexicana

Fue hasta que estuvo constituida la Sociedad Geológica Mexicana que los geólogos nacionales pudieron planear una expedición a las grutas para el año de 1909. Sin embargo, en esta ocasión tuvieron la posibilidad de contar con una memoria introductoria que les sirvió de guía, misma que fue preparada por el ingeniero Teodoro Flores.⁶¹

En dicho trabajo introductorio se puede apreciar que, a pesar de no haber realizado una expedición como la que se había deseado en 1874, ya se contaba con una cantidad importante de información sobre la caverna, que posibilitaba a los exploradores llegar con datos para corroborar, y no se *partiría de ceros*. Pero todavía faltaban aspectos fundamentales, como las coordenadas geográficas de la población de Cacahuamilpa.

Entre los aspectos en los que ya se tenía un considerable avance, se encuentra la época de formación de la caverna, que ya sólo debía corroborarse, pues Mariano Bárcena había reportado la existencia de fósiles como los Hippurites y las Nerineas, los cuales pertenecen al periodo Cretácico. Con respecto de su formación, Flores coincide con que se debió a la tectónica de la región y a la circulación de las aguas.⁶²

Sobre la tectónica, afirma que los movimientos interiores de la Tierra habían roto las calizas que componen estos terrenos, en tanto que las pizarras arcillosas habían resistido el movimiento debido a su mayor flexibilidad.⁶³ También menciona la acción de las aguas meteóricas que aumentan su proporción de ácido

⁶¹ Flores, "la caverna...", p. 93.

⁶² *Ibidem*, p. 99.

⁶³ *Ibidem*, p. 107.

carbónico, lo cual les ayuda a disolver lentamente a las calizas para formar las oquedades, aspecto ya visto en páginas anteriores.

Como puede apreciarse, para este momento ya se cuenta con las explicaciones correspondientes a la forma como se habían creado las cavernas y su periodización. La pregunta que había provocado un debate en la SMGE hacía 30 años, estaba respondida. Las grutas del periodo Cretácico eran relativamente recientes a la aparición del hombre, pero si había que seguir la escala del tiempo ya del siglo XX, después de la aplicación de la radioactividad para medir el tiempo profundo, se demostraba que tenían muchísimos más años de los que suponían los expertos bíblicos.

En resumen, sobre las exploraciones a Cacahuamilpa en el siglo XIX puede observarse que, desde su descubrimiento en 1834, varias personas acudieron a explorar estas cavernas. Entre ellas personalidades de la política, artistas que intentaron reproducir su majestuosidad, hombres de ciencia que trataron de ingresarlas en el inventario de la República mexicana al nombrarlas, definir las, describirlas y explicar su origen. También puede apreciarse que del encuentro con esta maravilla de la naturaleza se plantearon más preguntas: al adentrarse en sus pasillos, en sus galerías, al recorrer los intrincados laberintos se cuestionaron: ¿cuántos años tiene la Tierra?

Planteada por Manuel Orozco y Berra, quien la lanzó al aire en 1855, esta pregunta es una muestra de que los hombres de ciencia mexicanos también se planteaban cuestiones filosóficas, si bien es verdad que no dispusieron de los recursos o del apoyo para comprobar sus hipótesis. Sólo basta observar la diferencia de presupuesto que se tuvo para la expedición presidencial y para la científica.

Que Alfredo Bablot, un periodista, la haya vuelto a formular en 1874, cuando recién el debate sobre la edad de la Tierra había cobrado nuevos bríos gracias a la intervención del famoso físico británico William Thomson, es indicativo de que en la prensa se seguía este debate, si bien hace falta profundizar si se trataba de la prensa normal o de la científica, como es el caso del Boletín de la SMGE.

Por otra parte, cabe preguntar si el interés que despertó Cacahuamilpa se debió en parte a que otra caverna similar, la Mammoth Cave de Estados Unidos, tenía depósitos de nitrato que fueron explotados durante años. Quizá de esto se desprende el valor utilitario que pudiera haber tenido la caverna, antes de que se convirtiera en un centro turístico.

En esta aproximación a los primeros trabajos de índole científica sobre las cavernas de Cacahuamilpa, puede observarse que la visión de cada explorador fue distinta. Para Orozco y Berra era importante ingresarlas en el *inventario* de la República mexicana, por lo cual las nombró correctamente, tanto en general con la denominación de cavernas, como en lo específico, en lo tocante a la nominación de cada galería. Describió el tramo recorrido e incluso trató de explicar su origen.

Por su parte Bilimek, en su papel de custodio de las colecciones del emperador Maximiliano, se limitó a observar la fauna y flora dentro de ellas, para catalogarla en el acervo del Museo Nacional. A pesar de presentar su trabajo sobre las cavernas en el seno de una discusión sobre la edad de la Tierra, el material que García Cubas preparó no trataba de responder la pregunta señalada, sino más bien su valor residía en los aspectos geográficos.

Mariano Bárcena clasificó la formación de las calizas en el periodo terciario. Si bien no se tenía bien definida la cronología de cada periodo, sí representa un aporte para el estudio del suelo mexicano. Sin embargo, debe deducirse que se esperaba que la futura expedición, mejor organizada, pudiera ayudar a los miembros de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística a realizar alguna aportación de mayor importancia en la discusión que se tenía sobre este tema.

Pero fue pospuesta y finalmente cancelada la expedición de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, en un periodo presidencial donde se apoyó la investigación científica –baste recordar que ese mismo año se realizó la expedición a Japón para medir el paso de Venus por el Sol, encabezada por el geógrafo Francisco Díaz Covarrubias y en la cual también participó Francisco Jiménez, considerado para integrar la comisión a las grutas de Cacahuamilpa—. Al respecto, es preciso recordar que la SMGE ya había perdido su papel principal como institución científica, a causa de motivos políticos y con el nacimiento de la

Sociedad Mexicana de Historia Natural en 1868, que poco a poco fue encargándose de la investigación geológica del país.⁶⁴

Expediciones posteriores se realizaron, pero ya tuvieron otros objetivos. La organizada por el Instituto Médico Nacional fue más bien de recolección de especies vegetales, para el estudio de las aguas y en general para aspectos relacionados con la medicina. Por su parte, la que encabezó Mariano Bárcena en 1879 tuvo carácter de comisión oficial, y un objetivo específico: estudiar los hundimientos en la zona. Aunque el naturalista pudo apreciar otros aspectos como la existencia de vestigios arqueológicos, que le permitieron insertarse en la discusión sobre etnografía y arqueología, que entonces cobraban auge.⁶⁵

El que a inicios del siguiente siglo el Instituto Geológico Nacional haya retomado las exploraciones a Cacahuamilpa –concretamente en 1909–, manifiesta el interés de la comunidad geológica por estudiarlas y posibilita observar el conocimiento acumulado en más de 50 años. Sin embargo, esto no subsana la suspensión de la expedición de 1874, puesto que los mexicanos perdieron la oportunidad de entrar en una discusión sobre el tema, que quizá les hubiera dado la posibilidad de tratar con sus pares europeos sobre un aspecto filosófico de la Geología como la edad de la Tierra, o sobre los procesos de formación de las cavernas o los fósiles contenidos en ellas. Aspectos en que se encontraban interesados y que tal vez les hubieran permitido realizar investigación “de punta” sobre los sistemas geológicos y sus métodos de investigación.

Con esto queda en evidencia el grado de afectación que los factores sociales ejercen sobre la investigación científica, y es también un ejemplo de cómo ésta no puede ser sustraída de su contexto. Aunque algunos de los geólogos mexicanos que originalmente iban a formar parte de la expedición volvieron después a las grutas, el grupo ya se había disgregado y la discusión había perdido su fuerza inicial.

⁶⁴ Véase Luz Fernanda Azuela Bernal, *Tres sociedades...*

⁶⁵ Bárcena, Mariano, *El hombre prehistórico en México*, Congreso Internacional de Americanistas, XI reunión en México, 1895, p. 75.

CONCLUSIONES

A partir del estudio de los fenómenos desde el presente hacia el pasado, y con base en el principio de uniformidad de leyes de la naturaleza, desde la tercera década del siglo XIX la Geología contó con un método que Charles Lyell presentó como parte de su sistema uniformista. Sus dos postulados básicos se convirtieron en la base de la Geología moderna: la edad de la Tierra es mucho mayor de lo que se creía entonces, y para entender las causas de los fenómenos terrestres había que observar y analizar procesos como la erosión, la sedimentación, los terremotos y los volcanes.

Cuando Lyell popularizó el uniformismo, había otro sistema que era seguido por los naturalistas: el catastrofismo. Además, *convivían* con él una serie de hipótesis y teorías cuyo fundamento no estaba suficientemente respaldado por datos empíricos, sino que se basaba en la fantasía o en la religión, dado que hasta entonces no se había contado con un método positivo que pudiera aplicarse y explicar los distintos fenómenos geológicos.

Poco a poco, la metodología propuesta por Lyell se incorporó a los estudios de las Ciencias de la Tierra de los diferentes países –aunque en algunos tomó más tiempo que en otros–; con esto se propició un avance bajo el cual se comenzaron a tratar de resolver problemas cada vez más específicos, como determinar la edad de la Tierra o el origen de los volcanes.

En México, la principal actividad económica desde el siglo XVI había sido la minería. Cuando en la segunda mitad del siglo XVIII hubo un decaimiento en la producción, el gremio minero propuso una serie de reformas, entre las cuales estaba la creación de un Colegio metálico que formara especialistas para explotar mejor las minas. De modo que en 1792 abrió sus puertas el Real Seminario de Minería y en 1795 inició la cátedra de Mineralogía, impartida por el sabio neptunista Andrés del Río, con la cual se dio la introducción de los contenidos geológicos en el país, si bien estuvieron sujetos al desarrollo minero.¹

¹ La recapitulación anterior no tiene por objeto presentar un resumen de lo ya expresado en páginas anteriores, sino de construir un argumento que permita al lector seguir las ideas principales hacia la consecución de los objetivos de la investigación. Véase: Pérez Herrero, Pedro,

En este contexto está centrada la presente tesis de maestría, y precisamente una de las preocupaciones iniciales fue estudiar la forma como se aclimató el uniformismo en México, y en qué aspectos su introducción afectó o modificó los contenidos teóricos y prácticos del ejercicio de la incipiente Geología mexicana.

Otro punto que se trataba de analizar es si los mexicanos se inscribieron en las discusiones fundamentales del paradigma, tanto a nivel local como internacional, o si solamente contribuyeron con la información sobre la que ya existía consenso. Es decir, si se trató de un diálogo o de una copia de lo que sucedía en Europa y los Estados Unidos. Este aspecto resultaba importante, dado que en México la tradición utilitarista de la ciencia –y particularmente de la Geología–, ha llevado a investigadores a afirmar que los mexicanos no se interesaban en discutir aspectos teóricos.

Para responder a estas preocupaciones, la presente tesis partió de los siguientes supuestos: en primer lugar, que aunque el uniformismo fue conocido por los mexicanos desde una etapa relativamente temprana –tomando en cuenta la distancia con el “viejo continente”, pero también las redes de relaciones tejidas con sabios europeos–, su incorporación a los contenidos epistemológicos y prácticos fue un proceso lento, que se reflejó en: los contenidos de los manuales para impartir cátedra elaborados por ellos mismos; las actividades organizadas por los catedráticos; los informes sobre su práctica profesional; las discusiones que entablaron entre pares.

En segundo lugar, que los ingenieros que practicaron la Geología en México también buscaron realizar aportes únicos al patrimonio mundial de la disciplina, no solamente en aspectos descriptivos o en los que ya existía consenso, sino en los *de punta*; es decir, en los que contribuirían a dar solución a problemas del paradigma que todavía faltaban por resolver.

Plata y libranzas. La articulación comercial del México borbónico, México, El Colegio de México, 1988, p. 269 (visto en: Uribe Salas, José Alfredo, *Historia económica y social de la Compañía y Cooperativa Minera “Las Dos Estrellas”, en El Oro y Tlalpujahuá, 1898-1959*, México, CSIC/UMSNH, p. 507).

Para abordar los planteamientos anteriores, fue necesario construir un marco teórico sobre la forma como se había desarrollado el uniformismo en Europa, dado que comprendía aspectos importantes para dicho paradigma que requerían ser precisados, como la edad de la Tierra y los cambios lentos y constantes derivados de la misma. Por esta razón se estudió el desarrollo de la Geología en el viejo continente, lo cual, además, permitió conocer elementos que, de otra manera, no habrían sido considerados, como la no inmediata aceptación del uniformismo en algunos países europeos, en parte porque en otros ámbitos de pensamiento – ciencias exactas y religión– parecía difícil creer la idea de una gran longevidad del planeta.

Otra ventaja de estudiar el uniformismo en España fue que se reunieron mayores elementos para entender otras teorías que también llegaron a México y que tuvieron buena aceptación, como la del levantamiento paralelo de montañas de Elie de Beaumont, explicada por ejemplo en el manual de Vilanova, que se utilizó como insumo para la elaboración del *Tratado de Geología* de Mariano Bárcena.

Para comprobar la primera hipótesis planteada, con respecto de la forma como se adoptó el uniformismo en México, a lo largo de la investigación se analizaron distintos textos. Para el aspecto teórico o de la enseñanza se revisaron los manuales redactados por los mexicanos, y el análisis realizado de su contenido permite afirmar que en México, para 1841 el uniformismo estaba pasando por un proceso de aclimatación en el Colegio de Minería, en tanto que algunos de sus contenidos fueron integrados al *Manual de Geología* de Andrés del Río. Cabe destacar que este naturalista no solamente agregó aquellos en los que estaba de acuerdo con Lyell, como los referentes a la formación de volcanes, sino también otros sobre petrografía en los que estaba en desacuerdo, dada su formación neptunista, y en contra de los cuales argumentó.

Con respecto del *Tratado de Geología* de Mariano Bárcena, escrito en 1886, se observa cómo la disciplina diversificó su objeto de estudio durante medio siglo. También se observa que acepta las teorías de Vilanova y Dana sobre la formación de las montañas, pero es importante destacar que esto representa una muestra de

congruencia porque la cosmovisión que sigue es la de Laplace que, como ya se manifestó, de su postulado sobre el enfriamiento del planeta se derivan las teorías mencionadas.

Por su parte, Antonio del Castillo, como catedrático, realizó actividades que tenían clara influencia del uniformismo, como enfatizar las prácticas de campo para los alumnos, donde realizaron estudios geológicos en un intento por reunir datos para la carta geológica del país. También trató de modernizar los contenidos de la materia, pues fue él quien dividió los contenidos para ajustarlos a como se estilaban en Europa: Geología, Paleontología y Zoología.

Por otro lado, también había de analizarse la aclimatación del uniformismo en la práctica científica, de modo que se buscó un ejemplo que resultara paradigmático. Se encontró en las Actas de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística una discusión sobre la edad de la Tierra, centrada en el estudio de las cavernas de Cacahuamilpa, y sobre una exploración que finalmente no se llevó a cabo. Se completó el cuadro con otros informes realizados sobre ese mismo lugar.

Aunque se reconstruyó en forma parcial la discusión inicialmente planteada, este ejercicio sirvió para observar cómo se fueron incorporando en el transcurso de los años las explicaciones a la constitución y el origen de las cavernas, y qué preguntas se fueron haciendo los naturalistas que las visitaban. De su estudio, se pudieron analizar las continuidades y los cambios en la segunda mitad del siglo XX.

Puede establecerse, después de analizar este caso, que al menos en las diferentes expediciones hacia Cacahuamilpa, los contenidos del uniformismo eran ya considerados a mediados del siglo XIX dentro del ejercicio geológico, aunque fuera sólo como referencia, pues predominaban las explicaciones referidas al sistema catastrofista, evidenciadas en la consideración que se hace de las aguas de la caverna. En el último cuarto del siglo XIX, puede observarse la presencia de términos uniformistas en el análisis de las rocas, así como una metodología más acorde con este sistema. De igual forma, Mariano Bárcena emplea nombres del periodo terciario propuestos por Charles Lyell.

En la investigación posterior del Instituto Médico Nacional (IMN), Beltrán y Puga hace referencia a que las lluvias del Mesozoico eran más abundantes que en el momento presente. Al respecto, aunque se trata de un fenómeno meteorológico, también cabe señalar que el uniformismo de Charles Lyell contemplaba también la uniformidad de climas, algo con lo que no todos los naturalistas estaban de acuerdo.

En resumen, sobre la primera hipótesis formulada, puede decirse que, en efecto, aspectos del uniformismo ya están presentes en los trabajos analizados desde al menos 1841; esto es, seis años antes de la traducción de la primera obra de Lyell al español (*Elements of Geology*) y siete después de que se imprimiera el tercer tomo de la primera edición de *Principles of Geology*. Que en efecto, había comenzado su incorporación, dado que se encontraron proposiciones uniformistas en los contenidos de los manuales pero también de los trabajos de campo.

En cuanto a la academia, se observó que tanto Antonio del Castillo como Mariano Bárcena realizaron actividades tendientes a incorporar mayor trabajo de campo y nuevos contenidos en las materias, lo cual se vio reflejado en la separación de los contenidos geológicos, zoológicos y paleontológicos y, más adelante, con la diferenciación de los contenidos que se observaron en el *Tratado* de Bárcena, que incluye un apartado de Geología histórica.

En la práctica de la Geología, se aprecia también la incorporación temprana de los conceptos uniformistas, si bien solamente se menciona. Pero se aprecia cómo paulatinamente se van incorporando otros conceptos, aunque algo que se debe resaltar que durante el periodo de estudio el catastrofismo continúa pendiente por medio de referencias relativas a las aguas meteóricas.

Si se consideran los textos analizados en su conjunto, llama la atención la permanencia prácticamente constante de Elie de Beaumont, pues se le menciona desde 1841 –aunque sea para refutarlo–, hecho que da cuenta de la popularidad que su teoría catastrofista tuvo en efecto en tierras mexicanas.

Podría por lo tanto concluirse que en los casos analizados se observa un tránsito muy lento hacia la adopción del sistema uniformista, puesto que algunos de sus postulados *conviven* con otros principios catastrofistas. Sin embargo, es

preciso señalar que cuando un paradigma arriba, es normal un periodo de adaptación al cambio, en lo que la ciencia normal camina hacia el consenso.

Por otra parte, la frustrada expedición a Cacahuamilpa de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, es un ejemplo de cómo el contexto influyó en la práctica geológica, y demuestra también lo afirmado por Luz Fernanda Azuela en cuanto al devenir de la geología en el país, acotado por las necesidades de otras disciplinas o del mismo gobierno: “En este contexto, los estudiosos de la disciplina parecían condenados a formarse como ingenieros ‘útiles’ y a desarrollar sus investigaciones en el marco de otras prácticas disciplinarias”.²

Lo anterior va relacionado con la segunda hipótesis que se planteó, con respecto de si los mexicanos realizaron aportaciones de punta para la Geología mundial, ya que se observó que en el caso estudiado sí se hicieron preguntas importantes, entablaron una discusión sobre un tema con aristas religiosas: la edad de la Tierra, y trataron de responderla por medio de la observación de un fenómeno natural. Sin embargo, las circunstancias en que estaban inmersos lo impidieron.

Finalmente, para cerrar esta tesis se presentan las palabras de José Guadalupe Aguilera, director del Instituto Geológico de México a inicios del siglo, XX, donde muestra su desaliento ante la falta de interés por parte de las empresas para realizar descripciones científicas, y el escaso tiempo que ellos tenían disponible para hacerlas:

...y así vemos que han transcurrido los años bonancibles del Mineral de Pachuca, sin que ninguno de los numerosos y entendidos ingenieros que han dirigido los trabajos mineros, ni ninguna de las ricas compañías que explotan con más ó menos éxito las minas, se hayan cuidado de emprender ó intentar siquiera la descripción científica y detallada desde sus diversos puntos de vista, para dar á conocer al mundo científico las múltiples observaciones y las interesantes especulaciones que del trabajo de las minas se desprenden...³

² Azuela Bernal, Luz Fernanda, “La geología en la formación de los ingenieros mexicanos”, en: Ramos Lara, María de la Paz, Rodríguez Benítez, Rigoberto *et al.*, *Formación de ingenieros en el México del siglo XIX*, México, Facultad de Historia de la UNAM, p. 106.

³ Aguilera, José Guadalupe, “El Mineral de Pachuca”, en: Instituto Geológico de México, México, Oficina Tip. de la Secretaría de Fomento, 1897, p. 3.

BIBLIOGRAFÍA

Hemerografía de la época

Cecilio A. Robledo, "Los estados mexicanos. Cacahuamilpa", en *La América*, Año XXVII, Núm. 2, 28 de enero de 1886, Madrid, pp.

El Siglo Diez y Nueve, de febrero a marzo de 1874, Octava época, Año XXXIII, tomo 56, núm. varios.

"Acta Número 9", en: *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, Tomo II, 1874, p. 21.

"Acta Número 10", en: *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, Tomo II, 1874, p. 22.

"Actas Número 12 y 13", en: *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, Tomo II, 1874, p. 21.

Altamirano, Ignacio M., "Motivos para diferir el proyectado viaje á la gruta de Cacahuamilpa", en: *El Federalista*, Tomo V, Núm. 1171, 29 de marzo de 1874, p. 1.

_____, "La expedición científica a Cacahuamilpa", en: *El Siglo Diez y Nueve*, Octava época, Año XXXIII, Tomo 56, 31 de marzo de 1874, p. 3.

Bibliografía de la época

Aguilar y Santillán, Rafael, *Bibliografía geológica y minera de la República Mexicana completada hasta el año de 1904*, México, Instituto Geológico de México, 1908.

Aguilera, José Guadalupe, "Desarrollo de la Geología en México", en: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Imprenta Escalante, México, 1905, p. 37.
Visto en: *Internet Archive*, www.archive.org/stream/boletindelasoci1219

051906 soci/boletn delasoci1219051906soci_djvu.txt (Consulta: 10 de junio de 2012).

- _____, “El Mineral de Pachuca”, en: Instituto Geológico de México, México, Oficina Tip. de la Secretaría de Fomento, 1897.
- Almaraz, Ramón, *Memoria acerca de los terrenos de Metlatoyuca, presentada al Ministerio de Fomento por la Comisión Exploradora, presidida por el ingeniero...*, México, Imprenta Imperial, 1866, pp. 13-17, y croquis del Camino de Tulancingo á la Mesa de Coroneles con un corte geológico teórico.
- Bárcena, Mariano, *Viaje a la caverna de Cacahuamilpa, datos para la geología y la flora de los estados de Morelos y Guerrero por...*, alumno de la Escuela Especial de Ingenieros, México, Imprenta del Gobierno en Palacio, 1874.
- _____, “Contestación a las observaciones de la carta anterior”, *La Naturaleza*, 1ª serie, tomo VII.
- _____, “Discurso pronunciado por..., al tomar posesión de la presidencia de la Sociedad Mexicana de Historia Natural”, *Revista Científica Mexicana*, tomo I, núm. 13, México, 1º de diciembre de 1880.
- _____, *Tratado de Geología. Elementos aplicables a la agricultura, a la ingeniería y a la industria*, México, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, 1886.
- Beltrán y Puga, Guillermo, “A la caverna de Cacahuamilpa”, en: Beltrán y Puga, Guillermo y Rafael Aguilar y Santillán, *Memorias de la Sociedad Científica “Antonio Alzate”*, Tomo V, México, Imprenta del Gobierno Federal en el ex-Arzobispado, 1891, pp. 112-224.
- Becquerel, Antoine H., *On radioactivity, a New Property of Matter, Nobel Lecture*, 1903, p. s/n. Disponible en línea, en: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-lecture.pdf
- Bilimeck, Dominik, *Fauna der Grotte Cacahuamilpa in Mexiko*, 1867, vom. 6 (se agradece la traducción a Nele Wetzold).
- Blondeau, *Manuel de Minéralogie ou traité élémentaire de cétte science d’après l’état actuel de nos connaissances*, 2ª edición, París, 1827.

Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, México, Imprenta del Gobierno en Palacio, 1865.

Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, tomo I, México, Imprenta del Gobierno en Palacio, 1869.

Dictionary of National Biography, Vol. I, edited by Leslie Stephen, Vol. VII, London, Smith, Elder & Co., 1885.

Eugenio J. Cañas, “De México a Cacahuamilpa”, 1887, en: *Cuernavaca*, Biblioteca Virtual Antorcha, <http://www.antorcha.net//index/biblioteca.html> (fecha de consulta: 13 de noviembre de 2012).

Castillo, Antonio del, “Discurso leído en los actos de la clase de Mineralogía por el profesor..., el día 17 de noviembre de 1848”, en *Anuarios del Colegio Nacional de Minería*, 1845, 1848, 1859, 1863, edición facsimilar, UNAM, México, 1994, s/n.

_____, “Discurso pronunciado por el señor ingeniero de minas... presidente de la sociedad, en la sesión inaugural verificada el día 6 de septiembre de 1868”, en: *La Naturaleza, Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 1ª serie, Tomo I, correspondiente a los años de 1869-1870, México, Imprenta de Ignacio Escalante y Compañía, 1870, p. 1.

_____, “Proyecto de ley para el arreglo del Colegio Nacional de Minería, de una escuela práctica y obras públicas”, *El Siglo Diez y Nueve*, 4ª época, año XI, trim. III, núm. 819, México, 30 de marzo de 1851.

_____, “Cuadro de la mineralogía mexicana”, en *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geología y Estadística*, 1865.

Cuvier, Georges, *Discours sur les révolutions de la surface du globe*, Paris, 1812.

_____, *Obras completas de Buffon, aumentadas con artículos suplementarios sobre diversos animales no conocidos por Buffon*, Barcelona, imprenta de A. Bergnes y Cª., 1832.

Dana, Edward Salisbury, *A text of Mineralogy with and extended treatise on crystallography and physical mineralogy*, New York, Hohn Wiley & Sons, 1904.

Del Castillo, Antonio, "Discurso leído en los actos de la clase de Mineralogía por el profesor..., el día 17 de noviembre de 1848", en *Anuarios del Colegio Nacional de Minería*, 1845, 1848, 1859, 1863, edición facsimilar, unam, México, 1994, s/n.

Del Río, Andrés Manuel, *Elementos de orictognosia, ó del conocimiento de los fósiles, según el sistema de Berzelio, y según los principios de Abraham Gottlob Werner, con la sinonimia Inglesa, Alemana y Francesa, para uso del Seminario Nacional de Minería de México, parte práctica*, segunda edición, Imprenta de Juan F. Hurtel, Filadelfia, 1832, 759 p.

_____, *Manual de geología, extractado de la Lethaea Geológica de Bronn, con los animales y vegetales perdidos, ó que ya no existen, más característicos de cada roca, y con algunas aplicaciones a los criaderos de esta República, para uso del Colegio Nacional de Minería, por el ciudadano..., profesor de Mineralogía del mismo*, México, Imprenta de Ignacio Cumplido, 1841, 69 p. más 27 láms.

"Descripción de la gruta del 'Encanto' ubicada en el Coquillo, perteneciente á la Municipalidad de San Marcos en el Distrito de Tabares", en: *Memoria del Gobierno del Estado de Guerrero*, 1890, pp. 185-187.

De Suess, *La faz de la Tierra* (versión española de Pedro de Novo y F. Chicarro), Tomo I, Madrid, Imprenta de Ramona Velasco, 1923.

Galván, Mariano, "La Caverna de Cacahuamilpa", en: *Calendario de las Señoritas Megicanas para el año de 1838*, México, Mariano Galván, 1838, pp. 159-183.

García Cubas, Antonio, "Una excursión a la Caverna de Cacahuamilpa", en: *Escritos diversos de 1870 a 1874*, México, Imprenta de Escalante, 1874, p. 147.

Gros, barón, *Renseignements destinés auxo voyageurs qui auront à étudier les monuments auciens situés dans les environs de Mexico*, Arch. Commissions Scientifique du Mexique 1. 1865, pp. 137-146.

Flores, Teodoro, "La caverna de Cacahuamilpa, por el Ingeniero de Minas...", en: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo VI, 1909, p. 95.

_____, *El libro de mis recuerdos*, México, Editorial Patria, 1969.

- Hutton, James, "Theory of the Earth, or an Investigation into Laws observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe", in: *Transactions of the Royal Society of Edimburgh*, 1788, pp. 209-304.
- Informe y colección de artículos relativos a los fenómenos geológicos verificados en Jalisco en el presente año y en épocas anteriores. Edición oficial*, Tomo I, Guadalajara, Pip. de S. Banda, calle de la Maestranza, 1875.
- Landesio, Eugenio, *Excursión a la caverna de Cacahuamilpa y ascensión al cráter del Popocatépetl*, México, 1868, Imprenta del Colegio de Tecpam, p. 25.
- Ley de 28 de abril de 1851, legalizando la existencia de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, y el reglamento que ella ha acordado para su gobierno interior*, México, Imprenta en Palacio, 1851.
- López de Gómara, Francisco, *Historia general de las Indias*, disponible en: <http://es.scribd.com/doc/6824838/Lopez-de-Gomara-Francisco-Historia-General-de-las-Indias> (fecha de consulta: 12 de junio de 2012).
- Los redactores, "Introducción", en: *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, 2ª época, tomo I, México, 1869.
- Lyell, Charles, *Principles of Geology; or the modern changes of the Earth and its inhabitants*, Boston, Little Brown and Company, 1853.
- _____, *Elementos de Geología*, Barcelona, Crítica, 2011, 458 p.
- Millones-Figueroa, Luis, "La historia natural del padre Bernabé Cobo. Algunas claves para su lectura", en: *Colonial Latin American Review*, vol. 12, No. 1, 2003, www.culturaapicola.com.ar/apuntes/historia/91:Cobo.pdf (fecha de consulta: 11 de mayo de 2012).
- Monroy, Pedro L., "Observaciones sobre algunos combustibles minerales de México", en: *La Naturaleza, revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, Tomo I, Primera Serie, México, 1869, pp. 238-241.
- Orozco y Berra, Manuel, "Cacahuamilpa", en: *Apéndice al Diccionario General de Historia y de Geografía, colección de artículos referentes á la República Mexicana*, Tomo I, VIII de la obra, México, imprenta de J. M. Andrade y F. Escalante, 1855, pp. 416-418.
- Playfair, John, *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*, 1802.

Ramírez, Santiago, *Datos para la historia del Colegio de Minería*, México, Imprenta del Gobierno Federal en el ex Arzobispado, 1890 (edición facsimilar, México, SEFI, UNAM, 1992).

_____, *Biografía del Sr. Andrés Manuel del Río: primer catedrático de mineralogía del Colegio de Minería*, México, Imprenta del Sagrado Corazón de Jesús, 1891, 56 p.

_____, “Elogio fúnebre del profesor don Mariano de la Bárcena, Secretario perpetuo de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales leído por el Académico numerario Don... en la sesión ordinaria del 3 de Julio de 1899”, en: *Anuario de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales correspondiente de la Real de Madrid*, Año V-1899, México, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, 1901, pp. 59-83.

SMHN, *La Naturaleza*, Tomo I, correspondiente a los años de 1869 y 1870, impreso en 1870.

Tejada, Manuel, “Discurso de la cátedra de Física”, *Anuario...*, *op. Cit.*, año 1845, pp. 20-24.

Tornel, José Julián, *Elementos de lógica e ideología, escritos para los alumnos del Nacional Colegio de Minería. Libro primero, De la lógica propiamente dicha*, Imprenta de José Cumplido, México, 1845.

Velázquez de León, Joaquín, “Discurso de las cátedras de Geología y Zoología”, *Anuarios del Colegio de Minería*, Año 1845, p. 40.

Villada, Manuel M., “La caverna de Ojo de Agua”, *La Naturaleza*, 2ª. s. I, 1887, pp. 81-85, 2 láms.

Bibliografía general

- Alastrué, E., "Lyell en España", en Ríos, José Ma., *Libro Jubilar 3*, Madrid, 1983, pp. 259-269.
- Alder, Ken, "A Revolution to Measure. The Political Economy of the Metric System in France", en Norton Wise (ed.), *The Values of Precision*, New Jersey, Princeton University Press, 1995, p. 41.
- Alemán Berenguer, Rafael Andrés, "Kelvin versus Darwin: choque de paradigmas en la ciencia decimonónica", en: *Llull*, Vol. 33, Núm. 71, 1er semestre, 2010, pp. 11-24. Visto en: Dialnet-KelvinVersusDarwin-3353400.pdf (fecha de consulta: 24 de marzo de 2013).
- Alvarado, Lourdes, *La polémica en torno a la idea de universidad en el siglo XIX*, México, UNAM, 1994.
- Amorós, J. L., "Andrés del Río y su obra", estudio introductorio en: Del Río, Andrés, *Elementos de orictognosia ó del conocimiento de los fósiles, dispuestos según los principios de A. G. Wérner, para el uso del Real Seminario de Minería de México, por...*, imprenta de don Mariano Joseph de Zúñiga y Ontiveros, 1795.
- Alsina Calvés, José, "Lyell y la Geología", en: Gobierno de Canarias, en: http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/fundoro/archivos%20adjuntos/publicaciones/actas/actas_17/06.pdf, p. 112 (fecha de consulta: 3 de mayo de 2013).
- Ayala, Alicia, *Las revistas científicas y tecnológicas mexicanas en el siglo XIX*, México, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM, 1993 (Tesis), Mención Honorífica.
- Azuela Bernal, Luz Fernanda, "La geología en la formación de los ingenieros mexicanos", en: Ramos Lara, María de la Paz, Rodríguez Benítez, Rigoberto et al., *Formación de ingenieros en el México del siglo XIX*, México, Facultad de Historia de la UNAM, pp. 91-107.
- _____ y Rodrigo Vega y Ortega, "El Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia (1865-1867)", en: *La geografía y las*

ciencias naturales en el siglo XIX mexicano, México, Instituto de Geografía de la UNAM, 2011, pp. 103-120.

_____, *De las minas al laboratorio: la demarcación de la geología en la Escuela Nacional de Ingenieros (1795-1895)*. México, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geografía, UNAM, 2005, 186 p.

_____, “La Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, la organización de la ciencia, la institucionalización de la geografía y la construcción del país en el siglo XIX”, En: *Investigaciones geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, México, UNAM, núm. 52, 2003.

_____, “Los naturalistas mexicanos entre el II Imperio y la República Restaurada”, en Aceves, P. y A. Olea (coords.), *Alfonso Herrera: homenaje a cien años de su muerte*, México: UAM, pp. 243-267.

_____, “Sociedad y ciencia en el México del siglo XIX” (primera parte), en *Estudios de historia cultural, difusión y pensamiento* (revista en línea): http://www.historiacultural.net/hist_rev_azuela1.htm (Fecha de consulta: 28 de enero de 2011).

_____ y Rafael Guevara Fefer, “la ciencia en México en el siglo XIX, una aproximación historiográfica”, en: *Asclepio*, vol. L-2-1998, España, pp. 78-79. Disponible en: <http://asclepio.revistas.csic.es> (fecha de consulta: 11 de enero de 2013).

_____, *Tres sociedades científicas en el Porfiriato, las disciplinas, las instituciones y las relaciones entre la ciencia y el poder*, México: SMHCT/Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl/UNAM, 1996, 216 p.

Barajas Durán, Rafael (*El Fisgón*), *El país de “El Ahuizote”, la caricatura mexicana de oposición durante el gobierno de Sebastián Lerdo de Tejada (1872-1876)*, México, 1ª edición, Fondo de Cultura Económica, 2005.

Barberena, B., Elsa y Carmen Block, “Publicaciones periódicas científicas y de divulgación científica y tecnológica mexicana del siglo XIX”, en *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología*, vol. 3, Núm. 1.

- Beltrán, Antonio, *Revolución científica, renacimiento e historia de la ciencia*, México, siglo XXI editores, 1995.
- Bosch Millares, Carlos, "Consideraciones sobre la generación espontánea", en: *El Museo Canario, Revista publicada por la Sociedad del mismo nombre de Las Palmas de G. Canaria*, enero-diciembre de 1960, Año XXI, Las Palmas de Gran Canaria, Núms. 73-74, pp. 129-134. Disponible en línea, en: http://www.elmuseocanario.com/images/documentospdf/revistaelmuseo/Revistas/1960_II.pdf (fecha de consulta: 29 de julio de 2013).
- Bradley, W. H., "Leyes geológicas", en *Filosofía de la Geología*, Albritton, C.C., Jr. *Filosofía...*, pp. 25-38.
- Brush, G. Stephen, "Historia de la Tierra entera", in: *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 17, num. 2, 1987, pp. 345-355.
- Cabezas Olmo, Encarnación, *La Tierra, un debate interminable*, Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza, 1ª edición.
- Calvo Sorando, José Pedro, "Introducción", en: Lyell, Charles, *Elementos...*, XCVIII p.
- Calderón de la Barca, madame, *Mi vida en México*, Editorial Porrúa, 1977.
- Caponi, Gustavo, "Retorno a Limoges, la adaptación en Lamarck", *Asclepio*, Madrid, 2006, V. LVIII, Núm. 1, enero-junio, pp. 7-42.
- Darwin, Charles, *El origen de las especies por medio de la selección natural*, México, Editorial Diana, 1953.
- _____, *Autobiografía*, Madrid, Alianza 100, 1993, 94 p.
- De Cserna, Zoltán, "La evolución de la Geología en México (1500-1929)", en: *Revista del Instituto de Geología de la UNAM*, vol. 9, núm. 1, 1990, pp. 1-20.
- Díaz y de Ovando, Clementina, "Estudio preliminar", en: *Anuarios del Colegio Nacional de Minería, 1845, 1848, 1853 y 1863*, edición facsimilar, UNAM, 1994.
- _____, *Los veneros de la ciencia en México, Crónica del Real Seminario de Minería (1792-1892)*, Tomo II, México, Facultad de Ingeniería de la UNAM, 1998.

Díez de Revenga Torres, Pilar, “El color de los minerales, ¿cuestión lingüística o técnica?”, en: *Revista de Investigación Lingüística*, Vol. VII-2004, pp. 91-104, disponible en: <http://www.um.es/dp-lengua-espa/revista/vol7/minerales.pdf> (Consulta el 28 de diciembre de 2012).

_____ y Miguel Ángel Puche Lorenzo, “Traducción, calco e innovación en la mineralogía española decimonónica”, en: *Cuadernos del Instituto de la Lengua*, 2009, 3, pp. 63-88. pp. 2-3. Disponible en: <http://dfe.uab.cat/neolcyt/images/stories/estudios/mineria/revpuc2009.pdf> (fecha de consulta: 2 de enero de 2012).

_____, M. Alcayde Orraca y E. Monroy Soto, “¿Geografía sin geología?”, *Investigaciones Geográficas*, abril, Núm. 53, Distrito Federal, UNAM, 2002.

División territorial de los Estados Unidos Mexicanos de 1810 a 1995, México, INEGI, 1997.

Doren, Charles Van, *Breve historia del saber. La cultura al alcance de todos*, 2ª reimpresión, México, Planeta, 590 p.

Enciclopedia Britannica, en:<http://global.britannica.com> (fecha de consulta: julio-agosto de 2013).

Fernández-López, Sixto, “Fósiles de intervalos sin registro estratigráfico: una paradoja geológica”, en: Aguirre, Emiliano *et al.* (coords.), *Registros fósiles e historia de la Tierra*, Madrid, Editorial Complutense, 1997, pp. 79- 106.

Flores Clair, Eduardo, *Minería, educación y sociedad, el Colegio de Minería, 1774-1821*, México, INAH, 2000, 240 p.

Fredj, Claire, “Géologique sous le second empire. L'expédition scientifique du Mexique (1864-1867)”, *Les Cahiers du Centre de Recherches Historiques* [En ligne], 17 | 1996, mis en ligne le 27 février 2009, consulté le 05 juin 2013. URL: <http://ccrh.revues.org/2630>; DOI: 10.4000/ccrh.2630.

García, Bernardo, “La Comisión Geográfico Exploradora”, en *Historia Mexicana* XXIV, 4 (96), (abr.-jun. 1975), pp. 485-555.

Goebel, Anthony, “Economía, ciencia, y *liberalismo*: condicionamientos económicos de la institucionalidad científica liberal en Costa Rica. Una

- invitación al análisis. 1887-1910”, en: *Diálogos, revista electrónica de historia*, Escuela de Historia, Universidad de Costa Rica (fecha de consulta: 26 de enero de 2011).
- “Grutas de Cacahuamilpa”, en: *Guerrero, Gobierno del Estado 2011-2015*, disponible en: <http://www.guerrero.gob.mx/articulos/grutas-de-cacahuamilpa> (fecha de consulta: 16 de noviembre de 2012).
- Guevara Fefer, Rafael, “Sobre la historiografía de la ciencia latinoamericana”, en: *Estudios de historia cultural, difusión y pensamiento*, 2008, en: http://www.historiacultural.net/hist_rev_guevara.htm (fecha de consulta: 7 de febrero de 2013).
- _____, “La biblioteca botánico-mexicana. Un artefacto de y para la ciencia nacional”, en: *Relaciones*, otoño, vol. 22, núm. 88, El Colegio de Michoacán, Zamora, México, 2001, pp. 165-206.
- _____, *Los últimos años de la Historia Natural y los primeros días de la Biología en México, la práctica científica de Alfonso Herrera, Manuel María Villada y Mariano Bárcena*, Cuadernos 35, México, Instituto de Biología de la UNAM, 2002, 212 p.
- _____, y Azuela, Luz Fernanda (1998), “La ciencia en México en el siglo XIX: una aproximación historiográfica”, en: *Asclepio: revista de historia de la medicina y de la ciencia*, Vol. 50, Fasc. 2, pp. 77-106.
- Guntau, Martin, “The Emergence of Geology as a Scientific Discipline”, en: *Hist. Sci.* XVI, 1978, pp. 280-290. Disponible en Biblioteca Digital de Física y Astronomía, División de Astrofísica de Alta Energía, Centro Harvard-Smithsoniano para Astrofísica, Sistema de Datos de Astrofísica de la NASA, en: <http://www.adsabs.harvard.edu/> (fecha de consulta: 22 de enero de 2012).
- Hagner, Arthur F., “Aspectos filosóficos de las ciencias geológicas”, en Albritton, C.C. jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, 1ª ed. en español, Cía. Continental Editorial, 1970, pp. 295-305.
- Hallam, Anthony, *Grandes controversias geológicas*, Barcelona, Labor, 1985, 192 p.

“Historia de la espeleología”, Imagen disponible en línea: Seduma, <http://www.seduma.yucatan.gob.mx/cenotes-grutas/historia-espeleologia.php> (fecha de consulta: 30 de junio de 2013).

Hooykaas, Reijer, *Continuité et discontinuité en Géologie et biologie*, Collection Science Ouverte, Paris, aux Éditions du Seuil, 1970, 366 p.

_____, *Religion and the rise of modern science*, Lighting Source Inc., U.S.A., 1972, p. 13.

_____, *Natural Law and Divine Miracle: a historical critical Study of the Principle of Uniformity in Geology, Biology and Theology*, 2ª ed., Leiden, 1959.

_____, "Catastrophism in geology, its scientific character in relation to actualism and uniformitarianism", *Mededelingen der Koninklike Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afd Letterkunde Nieuwe Reeks Deel 33*, n° 7, 1970, pp. 271 -316.

Humboldt, Alexander von, *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*, México, Porrúa, 1966, 698 p.

_____, *Cosmos, ensayo de una descripción física del mundo*, CSIC, Madrid, 2011, pp. 916-917.

Kitts, D. B. “Teoría de la Geología”, en: *Albritton, Filosofía...*, pp. 71-94.

Kuhn, Thomas S., *La estructura de las revoluciones científicas*, primera reimpresión, México, Fondo de Cultura Económica, 2007, 360 p.

_____, *La tensión esencial*, Fondo de Cultura Económica, segunda reimpresión, 1996.

Lakatos, Imre y Alan Musrave, *La crítica y el desarrollo del conocimiento científico*, Barcelona, Grijalbo, 1975.

Lamarck, caballero (Jean-Baptiste de Monet), *Filosofía zoológica*, Editorial Alta Fulla “Mundo científico”, Barcelona, 1986, pp. 62-63. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/86189838/Lamarck-Filosofia-zoologica> (fecha de consulta: 14 de julio de 2013).

Lara Mimblera, Iván, *Reacciones, colaboraciones y proyectos científicos. Los ingenieros de Minería durante la Intervención Francesa y el Segundo Imperio*

- en México (1862-1867)*, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma metropolitana, Unidad Iztapalapa, México, 262 p.
- Lemaine, G., R. Macleod *et al.* *Perspectives on the emergence of scientific disciplines*, Maison des Sciences de l'Homme, Paris Publications, Mouton, The Hague, Paris, 1976.
- Lorenzo, José Luis, Zoltán de Cserna, Ismael Herrera, *Las ciencias geológicas y su perspectiva en el desarrollo de México*, Ediciones Productividad, México, 1968.
- Lugo Hubp, José, *La superficie de la Tierra, II. Procesos catastróficos, mapas, el relieve mexicano*, Colección La Ciencia para Todos, Núm. 101, Fondo de Cultura Económica, 3ª edición, 2002.
- McIntyre, Donald B., "James Hutton y la Filosofía de la Geología", en: Albritton Jr, C.C. (ed.), *La filosofía de la geología*, México, Cía. Editorial Continental, 1970, pp. 11-24.
- Mendoza Vargas, Héctor, *Los ingenieros geógrafos en México, 1823-1923*, México, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 1993 (Tesis). Mención honorífica.
- Menegús, Margarita (Coord.), *Saber y poder en México. siglos XVI al XX*, UNAM, Centro de Estudios sobre la Universidad/ Miguel Ángel Porrúa, Librero-editor.
- Millones-Figueroa, Luis, "La historia natural del padre Bernabé Cobo. Algunas claves para su lectura", en: *Colonial Latin American Review*, vol. 12, No. 1, 2003, visto en:
www.culturaapicola.com.ar/apuntes/historia/91:Cobo.pdf (fecha de consulta: 11 de mayo de 2012).
- Moffat, Ian, "Paradigmas en geología: del catastrofismo a la tectónica de placas", en: *Cuadernos Críticos de Geografía Humana*, Universidad de Barcelona, Año VII, Número 42, diciembre de 1982.
- Moncada Maya, Omar e Irma Escamilla, "Los ingenieros militares y su aproximación a la Historia Natural en el siglo XVIII novohispano", en: Azuela Bernal, Luz Fernanda y Rodrigo Vega y Ortega (coords.), *La geografía y las*

ciencias naturales en el siglo XIX mexicano, México, Instituto de Geografía de la UNAM, 2011, pp. 15-38.

_____, “La Geografía en el siglo XIX”, en Ruiz, Rosaura *et al.*, *Otras armas...*, pp. 153-171.

_____, *Ingenieros militares en Nueva España. Inventario de su labor científica y espacial siglos XVII a XVIII*, México, Instituto de Geografía-UNAM, 1993.

Morelos Rodríguez, Lucero, *La geología mexicana en el siglo XIX, una revisión histórica de la obra de Antonio del Castillo, Santiago Ramírez y Mariano Bárcena*, México, Secretaría de Cultura de Michoacán/Editorial Plaza y Valdés, 2012, 356 p.

_____, *Ciencia, Estado y científicos. El desarrollo de la Geología mexicana a través del estudio de los ingenieros Antonio del Castillo, Santiago Ramírez y Mariano Bárcena (1843-1902)*, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.

Moreno, Pedro, *El explorador del tiempo, Charles Lyell*, 1ª edición, Pangea Editores, México, 1988, 114 p.

Moulton, Forest Ray y Justus J. Schifferes, *Autobiografía de la ciencia*, versión española de Francisco A. Delpiane, 1ª edición en español, Fondo de Cultura Económica, México, 1947.

Nava Pichardo, Alejandro, *La inquieta superficie terrestre*, Fondo de Cultura Económica, México, 1ª reimpresión, 2009.

Oparin, Alexander, *Origen de la vida*, Editores Mexicanos Unidos, 9ª edición, 1983, 112 p.

Ordaz Gargallo, Jorge “Geología en España en la época de Guillermo Schulz (1800-1877)”, en: *Trabajos de Geología*, Núm. 10 (ejemplar dedicado a: Homenaje a Guillermo Schulz), Oviedo, Universidad de Oviedo, 1978, pp. 21-36. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2265668> (fecha de consulta: 4 de abril de 2013).

Véase Pérez Escutia, Ramón Alonso, “Estudio preliminar”, en Flores, Teodoro, *Geología minera de la región Noreste del estado de Michoacán*,

- SUMA/UMSNH/Ayuntamientos Constitucionales de la Región Oriente de Michoacán, 2004, XXXI p.
- Pérez Ranzáns, Ana Rosa, *Kuhn y el cambio científico*, México, Fondo de Cultura Económica, 1999, 274 p.
- Pérez-Malvárez, Carlos, Alfredo Bueno, Manuel Fera y Rosaura Ruiz, “Noventa y Cuatro años de la teoría de la deriva continental de Alfred Lothar Wegener”, en: *INCI* [online], 2006, vol. 31, n. 7, Caracas, pp. 536-543, disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000700013&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844 (fecha de consulta: 23 de marzo de 2013).
- Pelayo, Francisco, “Catastrofismo y actualismo en España”, en: *Llull*, vol. 7, España, 1984, pp. 47-68.
- _____, *Las teorías geológicas y paleontológicas durante el siglo XIX*, Madrid, Ediciones Akal, Universidad La Coruña, 1991.
- _____, “Teorías de la Tierra y sistemas geológicos: un largo debate en la Historia de la Geología”, en: *Asclepio*, 1996, vol. 48, Núm. 2, pp. 21-52.
- Pérez Escutia, Ramón Alonso, “Estudio preliminar”, en: Flores, Teodoro, *Geología minera de la región Noreste del estado de Michoacán (ex distritos de Maravatío y Zitácuaro)*, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/UMSNH/Ayuntamientos constitucionales de la Región Oriente de Michoacán, 2002-2004, Morelia, 2004, pp. XI-XXXI.
- Pérez Malvárez, Carlos, Alfredo Bueno H., Manuel de la Fera O. y Rosaura Ruiz O., “Noventa y cuatro años de la teoría de la deriva continental de Alfred Lothar Weneger”, en: *Interciencia*, julio, año/vol. 31, número 007, Asociación Interciencia, Caracas, pp. 536-543.
- Pinar, Susana, “El peso del carácter, algunas consideraciones sobre la historia de la botánica española en el tránsito de sistemas”, *Asclepio*, Revista de historia de la Medicina y de la Ciencia, Vol. XLVIII, Tomo: sin datos, Fascículo 2, Madrid, 1996, pp. 7-20.
- Popper, Karl, “La ciencia normal y sus peligros”, en: Lakatos y Musgrave, *op. Cit.*, pp. 149-158.

- Porter, Roy, "Lyell Centenary Issue", in: *The British Journal of the History of Science*, July 1976, vol. IX, part 2, No. 32.
- Quintero Toro, Camilo, "¿En qué anda la historia de la ciencia y el imperialismo? Saberes locales, dinámicas coloniales y el papel de los Estados Unidos en la ciencia en el siglo XX", *Historia Crítica*, Núm. 31, enero-junio, 2006, pp. 151-172, Universidad de los Andes, Colombia. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=81103107> (fecha de consulta: 10 de febrero de 2011).
- Ramos Lara, María de la Paz y Juan José Saldaña, "Del Colegio de Minería de México a la Escuela Nacional de Ingenieros", en *Quipu*, vol. 13, núm. 1.
- Rebok, Sandra, "Introducción", en: Humboldt, Alexander von, *Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo*, Madrid, Los libros de la catarata/CSIC, 2011, pp. XI-XXXIII.
- Rubinovich Kogan, Raúl y María Lozano, *Ezequiel Ordóñez, vida y obra*, Tomo 1, México, El Colegio Nacional, 1998, 316 p.
- _____, "Estudio introductorio", en: Del Río, Andrés, *Elementos de Orictognosia 1795-1805*, México, UNAM, 1992, pp. 3-70.
- Ruiz, Rosaura; Arturo Argueta; Graciela Zamudio (Coords.), *Otras armas para la Independencia y la Revolución*, Fondo de Cultura Económica, México, 2010.
- _____, Francisco J. Ayala, "Stephen Toulmin: evolución orgánica y evolución conceptual", en Ruiz, Rosaura y Francisco J. Ayala, *El método de las ciencias*, 2ª reimpresión, Fondo de Cultura Económica, 2004, pp. 85-101.
- Saldaña, Juan José, "La formación de la comunidad científica en México", en: *Historia de la ciencia y la tecnología: el avance de una disciplina*, Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, 1989. Disponible en: (<http://cimm.ucr.ac.cr/arviz/libros/historia%20de%20la%20ciencia/Articulos/La%20formacion%20de%20la%20comunidad%20cientifica%20en%20Mexico.pdf>) (fecha de consulta: 5 de enero de 2013).
- _____, (coord.), *La casa de Salomón en México, estudios sobre la institucionalización de la docencia y la investigación científicas*, México, UNAM/Facultad de Filosofía y Letras, 2005.

- _____, *Los orígenes de la ciencia nacional*, SLHCT-UNAM, México.
- _____, y María del Consuelo Cuevas Cardona, “La invención en México de la investigación científica profesional: el Museo Nacional 1868-1908”, en *Quipu*, vol. 12, núm. 1.
- _____ y Luz Fernanda Azuela, “De amateurs a profesionales. Las sociedades científicas en México en el siglo XIX”, en *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología*, vol. 11, núm. 2.
- _____, “Ciencia y libertad: la ciencia como política de los nuevos estados americanos”, en: *Historia social de las ciencias en América Latina*, México, UNAM/Porrúa, 1996, pp. 283-284.
- San Miguel de Pablos, José Luis, “La Tierra, paradigma de la naturaleza, la aproximación al medio planetario a través de la historia”, en: *Cuides, Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible*, Núm. 8, abril 2012, pp. 133-162. Disponible en: <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuaderno-interdisciplinar-de-desarrollo-sostenible-cuides/8/8-453.pdf> (fecha de consulta: 28 de julio de 2013).
- Sánchez Díaz, Gerardo, “Fierro y armas para la libertad. La ferrería de Coalcomán y la guerra de Independencia”, en: Ruiz, Rosaura *et al.* (coords.), *Otras armas para la Independencia y la Revolución, ciencias y humanidades en México*, UNAM/UAS/UMSNH/HCH/FCE, 2010, pp. 75-90.
- Sánchez Ron, José M., *El poder de la ciencia*, Crítica, Barcelona, 2010.
- Simpson, G. G., “La ciencia histórica”, en Albritton, *Filosofía de...*, pp. 39-69. OJO
- Shapin, Steven, *La revolución científica, una interpretación alternativa*, Ediciones Paidós Ibérica, España, 2000.
- Solís Santos, Carlos, “Introducción”, en Kuhn, Thomas S., *op. Cit.*, 1ª reimpresión, FCE, México, 2007, pp. 9-56.
- Soberanis, Alberto, “Continuidades y discontinuidades. La ciencia durante el Segundo Imperio”, en: Dosil Mancilla, Francisco y Gerardo Sánchez Díaz (coords.), *Continuidades y rupturas, una historia tensa de la ciencia en México*, Instituto de Investigaciones Históricas de la UMSNH-Facultad de Ciencias de la UNAM, Morelia, 2010, pp. 179-214;

_____, “Las relaciones científicas franco-mexicanas durante el Segundo Imperio (1864-1867), en Ruiz, Rosaura *et al.*, *Otras armas para la independencia y la revolución*, FCE, 2010, pp. 125-138.

_____, “La ciencia en acción”, *Ciencia y revolución*, Terra, revista en línea:

<http://www.terra.com.mx/memoria/articulo/1022702/Ciencia+y+revolucion.htm>
(Fecha de consulta: 26 de enero de 2011).

Tarback, E.J.; F.K. Lutgens y D. Tasa, *Ciencias de la Tierra, una introducción a la geología física*, 8ª ed., Pearson/Prentice-Hall, Madrid, 2005.

The British Society for the History of Science, “Lyell Centenary Issue”, in: *The British Journal for the History of Science*, Volume IX, Part 2, No. 32, 1976.

Trabulse, Elías, *El círculo roto. Estudios históricos sobre la ciencia en México*, México, Secretaría de Educación Pública/Fondo de Cultura Económica, 1984.

_____, “En búsqueda de la ciencia mexicana”, en: Juan José Saldaña (compilador), *Introducción a la teoría de la historia de las ciencias*, 2ª edición, México, UNAM, 1989.

_____, *Arte y ciencia en la historia de México*, México, Fomento Cultural Banamex, 1995, 272 p.

Todd Pérez, Luis Eugenio, González Canseco, Carla *et al.*, *Breve historia de la ciencia en México*, Monterrey, CECyTE, NL, 2009.

Toulmin, Stephen, “The evolutionary development of natural science”, en: *American Scientist*, No. 55, 1967, pp. 456-471.

_____, “La distinción entre ciencia normal y ciencia revolucionaria, ¿resiste un examen?”, en: Lakatos y Musgrave (eds.), *La crítica y el desarrollo...*, pp. 133-144.

Uribe Salas, José Alfredo, *Historia económica y social de la Compañía y Cooperativa Minera “Las Dos Estrellas”, en El Oro y Tlalpujahuá, 1898-1959*, SCIC/UMSNH, 2010.

_____, “Ciencia e independencia. Las aportaciones de Andrés del Río a la construcción del nuevo Estado-Nación”, en Ruiz, Rosaura *et al.*, *Otras*

armas para la Independencia y la Revolución, UNAM/UAS/UMSNH/HCH/FCE, 2010, pp. 43-58.

_____ y María Teresa Cortés Zavala, “Andrés del Río, Antonio del Castillo y José A. Aguilera en el desarrollo de la ciencia mexicana del siglo XIX”, en: *Revista de Indias*, Vol. LXVI, núm. 237, 2006, pp. 491-518.

_____ y Lucero Morelos Rodríguez, “Los aportes de Antonio del Castillo y Santiago Ramírez a la institucionalización de la ciencia en México, siglo XIX”, *Memorias de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, Cádiz, 2006, pp. 779-789.

_____, “Labor de Andrés Manuel del Río en México: profesor en el Real Seminario de Minería e innovador tecnológico en minas y ferrerías”, *Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia*, Departamento de la Ciencia, CSIC, 2006, pp. 231- 260.

_____, *Institucionalización de las Ciencias de la Tierra en México, siglo XIX* (apuntes), Facultad de Historia, UMSNH, p. 11.

University of Cambridge, “Core value set new date for birth of the Earth”, in: *Research*, University of Cambridge, published 9 July, 2010, <http://www.cam.ac.uk/research/news/core-values-set-new-date-for-birth-of-the-earth> (fecha de consulta: 22 de julio de 2013).

Urquijo Torres, Pedro S., *Humboldt y el Jorullo, historia de una exploración*, México, INE-Semarnat/UNAM/CIDEM/El Colegio de Michoacán/UMSNH/H. Ayuntamiento de La Huacana, 2008.

Viniegra Osorio, Francisco, *Geología histórica de México*, México, UNAM, 1992, 220 p.

Virgili, Carmina, *Lyell, el fin de los mitos geológicos*, España, Nivola libros y ediciones, 2003, 320 p.

Woodford, A. O., “Correlación por fósiles”, en Albritton, C.C., Jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, 1ª edición en español, 1970, pp. 103-145.

Zea, Leopoldo, *El positivismo en México, nacimiento, apogeo y decadencia*, México, Fondo de Cultura Económica, novena reimpresión, 2005.

ANEXO

Clasificaciones de terrenos y periodos

Abraham Gottlob Werner (1787). Breve clasificación y descripción de los diferentes terrenos (diez años después de su preparación)

| | |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Primitivos | Rocas cristalinas, como el granito |
| De transición | Rocas de carácter químico, como las calizas, y rocas detríticas, pizarras y cuarcitas |
| Estratificados | De carácter sedimentario con abundantes fósiles |
| Acarreos | En un mar prácticamente desecado, se acumularon sedimentos superficiales debido al acarreo de los ríos |

Fuente: Calvo Sorando, José Pedro, "Introducción", en: Lyell, Charles, *Elementos...*, op. Cit., p. XX.

Nota: La ausencia de los materiales volcánicos en esta clasificación neptunista obedece a que Werner los consideraba producto de la fusión de rocas *preexistentes*, debido al calor producto de la combustión espontánea de capas subterráneas de carbón.

Grupos de los estratos fosilíferos observados en la parte occidental de Europa y clasificados en serie descendente, es decir, empezando por los más modernos

| | |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Periodo Terciario o supraterciario de Mr. De la Beche | Posplioceno |
| | Plioceno moderno |
| | Plioceno antiguo |
| | Mioceno |
| | Eoceno |
| Periodo Secundario | Creta |
| | Arenisca verde |
| | Wealdiano |
| | Oolita superior |
| | Oolita intermedia |
| | Oolita inferior |
| | Lías |
| | Arenisca moderna roja superior y Muschelkalk |
| | Arenisca moderna roja inferior y caliza magnesiana |
| | Hulla |
| | Arenisca roja antigua y Devoniano |
| Fosilíferos primarios (o de transición, según algunos autores) | Siluriano superior |
| | Siluriano inferior |
| | Cambriano y estratos fosilíferos antiguos |

Fuente: Lyell, Charles, *Elementos...*, op, Cit., p. 228.

Nota: Los periodos más recientes se encuentran en la parte superior de la escala, de acuerdo con el método actualista seguido por Lyell. Poco después, los nombres de los periodos Terciario, Secundario (Phillips, en 1841) y Primario (Sedgwick, 1838) fueron reemplazados por Cenozoico, Mesozoico y Paleozoico, respectivamente, aún vigentes hasta la actualidad. Véase: Fernández-López, Sixto, "Bioestratigrafía y biocronología: su desarrollo histórico", en: *Curso de Conferencias sobre Historia de la Paleontología* (Colección Historia de la Ciencia), España, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1988, pp. 185-215.

Cuadro de los terrenos geológicos según su orden de posición

| Tiempos | Edades | Subdivisione | Periodos americanos | Subdivisiones europeas | |
|---------------|------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Cenozoico | Cuaternaria ó del hombre | | Reciente Champlain Glacial | Reciente Cuaternario ó pleistoceno | |
| | Terciaria o de los mamíferos | | Plioceno Mioceno Alabama Lignítico | Plioceno Mioceno Eoceno | |
| Mesozoic o | De los reptiles | | Cretáceo | Superior Medio Inferior | |
| Paleozoico | | | | Jurásico | Wealden Oolita Lias |
| | | | | Triásico | Keuper Calza de conchas Arenisca Bunter |
| | Carbonífera ó de las plantas | | 15 Permio 14 Carbonífero 13 Subcarbonífero | Permio Carbonífero Caliza de montaña | |
| | Devoniana ó de los peces | | 12 Castkill 11 Chemung 10 Hamilton 9 Cornífero | Antigua arenisca roja | |
| | Siluriana ó de los moluscos | Superior | | 8 Oriskani 7 Bajo Heldelberg 6 Salina 5 Niágara | Lechos de Ludlow Lechos de Wenlock Llandovery superior |
| Inferior | | | 4 Trenton 3 Canadense 2 Primordial | | |
| Arcaico | Azoica | | 1 Arcaico | | |

Fuente: Bárcena, Mariano, *Tratado de Geología, elementos aplicables a la agricultura, a la ingeniería y a la industria*, México, Secretaría de Fomento, 1886, p. 287.

Nota: Bárcena refiere que este cuadro cronológico se encuentra en la obra del profesor Dana.