

# **T**radición y modernidad en la edad de la tierra

*Laura Valdivia Moreno*

Maestra en Historia. Fac. Historia, UMSNH

Los siglos XVIII y XIX fueron escenario de modificaciones en la forma de concebir y estudiar el planeta en que vivimos, dado que el pensamiento tradicional que lo veía como creación divina fue confrontado con evidencias empíricas reunidas para explicar aspectos como la formación de las rocas, la presencia de fósiles marinos en montañas, la existencia de estratos en el subsuelo con restos animales o vegetales específicos y la radioactividad. Filósofos y naturalistas comenzaron a observar este planeta con otros ojos, en un proceso donde la Geología se fue delimitando y adquirió su rango de ciencia moderna.

Este artículo es una introducción a dicho proceso, nuestro hilo conductor fue el cambio en la consideración de la edad de la Tierra porque generó debates que enfrentaron supuestos religiosos con postulados científicos. Partimos de considerar como pensamiento tradicional el desarrollado bajo los cánones religiosos, mientras que los razonamientos basados en datos empíricos desligados de la religión constituyen el pensamiento moderno.<sup>1</sup>

## **La Tierra en el pensamiento tradicional**

Aunque todavía no se conoce la edad exacta de este planeta, se calcula que tiene entre 4 440 y 4 510 millones de años.<sup>2</sup> 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.

---

1 Ken Alder, "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, pp. 39-71.

2 "Core value set new date for birth of the Earth", *Research*, 9 July, University of Cambridge, 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).

Las preguntas de un científico determinan el curso de su investigación; también indican lo que la comunidad científica se plantea en ciertos periodos: en qué cree, cuáles son sus hipótesis y con base en qué información las comprueba. Para los hombres del pensamiento tradicional su respuesta a la pregunta sobre el origen de la Tierra estaba resuelta: Dios la había creado de la nada. Por tanto, el estudio que los naturalistas hicieron hasta el siglo XVIII con respecto del planeta en que vivían, tuvo que ver más con detalles no explicados en el *Génesis*, libro bíblico valorado como manual de Geología válido.

Podemos observar, por tanto, que la Geología aún no estaba bien definida y que la visión tradicional aún era demasiado fuerte para que mediante preguntas adecuadas los hombres de ciencia pudieran desligar el conocimiento de la Tierra de la 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 que habían surgido en la Edad Media, al tratar de explicar la presencia de fósiles marinos en tierra firme con base en el Diluvio Universal.

Los naturalistas en general daban por hecho la existencia del diluvio, pero se preguntaban si había cambiado o no la faz del planeta. Aunque Nicolás Copérnico y Galileo Galilei<sup>3</sup> ya habían colocado a la Tierra fuera del centro del universo, no se contaba con los elementos suficientes para que la Geología fuera una ciencia *madura*, como había sucedido con la Química, que había dejado atrás sus tiempos de alquimia, y la Física, que gracias a Isaac Newton aportaba una nueva visión del mundo al considerar el universo, el movimiento y el funcionamiento de la naturaleza desde el mecanicismo.<sup>4</sup>

Newton produjo un cambio de paradigma. Aunque sus leyes y principios buscaban demostrar la existencia de Dios, sus seguidores concluyeron que las leyes *perfectas* de la naturaleza eran inherentes a la materia y no provenían de una entidad divina.<sup>5</sup> Con esto, en el siglo XVII la forma de concebir el universo pasó de organicista a mecanicista<sup>6</sup> y poco a poco se dio mayor importancia a la medición para aceptar o descartar teorías. Esto provocó que ciencias tradicionales como la Física y la Matemática tuvieran gran desarrollo, mientras otras tardaron hasta mediados del siglo XVIII o, incluso, hasta el XIX.<sup>7</sup>

3 Nicolás Copérnico (1473-1543), astrónomo polaco, 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 filósofo, astrónomo y matemático, contribuyó al estudio del movimiento, mejoró el telescopio, escudriñó los cielos y demostró la veracidad de la obra de Copérnico. Charles van Doren, *Breve historia del saber. La cultura al alcance de todos*, 2ª reimpresión, México, Planeta, 2007, pp. 300-304.

4 Isaac Newton (1642-1727), físico y matemático inglés, figura culminante de la revolución científica del siglo XVII por sus aportes en Óptica, Mecánica, Astronomía, Cálculo y Física. *Idem*, pp. 308-312.

5 Carlos Solís Santos, "Introducción", en Thomas Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*, primera reimpresión, México, Fondo de Cultura económica, 2007, p. 9.

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

7 Para ahondar en el tema, léase 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, respectiva-

Las nuevas y viejas ideas convivían en el mismo espacio y tiempo, ya que los hombres de esta revolución científica conservaban sus creencias religiosas, como se aprecia en sus obras. Cuando en el siglo XVII los filósofos se preguntaron cómo había creado Dios el mundo, René Descartes (1596-1650) propuso la *teoría nebulosa*, que postulaba la formación del Sol y los planetas en el seno de una nube de polvo estelar.<sup>8</sup>

A finales de dicho siglo y en el XVIII, las teorías diluvistas cobraron nuevo auge en Inglaterra con Thomas Burnet (1635-1715), John Woodward (1665-1728) y William Whiston (1667-1752).<sup>9</sup> Para Burnet, la Tierra tenía un ciclo de cinco etapas: caos, paraíso, diluvio, estado actual y conflagración por el fuego y el milenio. Además, el diluvio le había dado la conformación geográfica que tenía.<sup>10</sup>

Woodward opinaba que la corteza terrestre tenía capas horizontales inclinadas en algunos puntos y el diluvio se había producido por un hundimiento en la corteza terrestre, con lo cual la materia 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 dicho cataclismo había sido provocado por un cometa. Posteriormente otras personas, continuaron con el desarrollo de estas ideas, como el suizo Johan Jacob Scheuchzer (1672-1733) y William Buckland (1784-1856), quien impulsó el diluvianismo ya en el siglo XIX.<sup>11</sup>

Por otra parte, el *fijismo* era una teoría derivada de la creencia en un ser superior, que consideraba iguales a los seres vivos desde el inicio de la creación hasta la actualidad. No había posibilidades de mutabilidad en ningún sentido, ni de aparición de especies nuevas. Además, aunque la teoría de la *generación espontánea* de seres de clases inferiores, como gusanos y ratones, parecía descartada a finales del siglo XVII con el experimento de Francesco Redi (1626-1697), tuvo un resurgimiento gracias al uso del microscopio por hombres como Anton van Leeuwenhoeck (1632-1723),<sup>12</sup> hasta que los experimentos de Louis Pasteur (1822-1895) terminaron por descartarla ya en el siglo XIX.

---

mente.

- 8 Immanuel Kant (1724-1804) y Pierre-Simon Laplace (1749-1827) desarrollaron más tarde estas ideas, cuyo punto en común era la formación del sistema a partir de la condensación de una nebulosa primitiva. Carl Sagan, I. S., Shklovskii, *Vida inteligente en el universo*, Barcelona, Editorial Reverté (versión española por José Company Bueno), 1ª reimp., 2003, p. 176.
- 9 El inglés Thomas Burnet fue autor de *Sacred Theory of the Earth*, en 1681 y *The Ancient Doctrine Concerning the Origin of Things*, en 1692. *Dictionary of National Biography*, Vol. I, edited by Leslie Stephen, Vol. VII, London, Smith, Elder & Co., 1885. John Woodward fue un naturalista inglés autor de *Essay Toward the Natural History of the Earth*, en 1692, y *Fossils of All Kinds Digested Into a Method*, en 1728. El también inglés William Whiston fue un teólogo anglicano y matemático, profesor y amigo de Newton. Intentó conciliar la religión con la ciencia, escribió *A New Theory of the Earth*. *Enciclopedia Britannica*, en: <http://global.britannica.com> (fecha de consulta: 3 de agosto de 2013).
- 10 Francisco Pelayo, *Las teorías geológicas y paleontológicas en el siglo XIX*, Madrid, Ediciones Akal, 1991, pp. 10-11, y “Teorías de la Tierra y sistemas geológicos: un largo debate en la historia de la Geología”, en *Asclepio*, Vol. XLVIII, Tomo: sin datos, Fascículo 2, Madrid, 1996, pp. 28-29.
- 11 Johann Scheuchzer fue un médico y naturalista suizo autor de *Herbarium diluvianum*, en tanto que Buckland fue profesor de mineralogía y geología en Oxford. Calvo Sorando, “Introducción”, p. XXV.

Cabe destacar que en este periodo los países europeos organizaban viajes y exploraciones para descubrir y dominar otros territorios. Como Europa tenía la intención de obtener y clasificar todas las especies del mundo,<sup>13</sup> la labor militar fue acompañada por naturalistas que recogían y describían especímenes tanto vegetales como animales, los cuales fueron acumulados en los centros de conocimiento de la época: museos y jardines de países imperiales como Francia, Inglaterra, España y Holanda.

Esto propició que se fuera conociendo la vastedad de seres vivos, así como 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 entre ellos, lo cual además implicaba un gran conocimiento experimental de plantas y animales.<sup>14</sup>

Entre los elementos que se recolectaron había fósiles, esos vestigios de un pasado remoto cuya existencia no aclaraban las Sagradas Escrituras. Hubo quienes recordaron las ideas del periodo clásico y las combinaron con creencias cristianas, así que los consideraron “juegos de la naturaleza”<sup>15</sup> o “desechos caídos del Taller del Creador”, pero después surgió una interpretación que los supuso “restos de animales muertos en el Diluvio universal”.<sup>16</sup>

Otra pregunta que los naturalistas aún no podían responder por falta de evidencia empírica es la correspondiente a la edad de la Tierra. Hacia mediados del siglo XVIII se consideraba que Dios la había creado 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 *Annalis veteris testamenti, a prima mundi origine deducti*.<sup>17</sup> El planeta entonces tendría una edad de seis mil años, durante los cuales su conformación había variado debido a catástrofes divinas como el Diluvio Universal.<sup>18</sup>

12 Redi mostró que los gusanos de la carne provenían de larvas depositadas por moscas. Carlos Bosch, “Consideraciones sobre la generación espontánea”, en: *El Museo Canario*, enero-diciembre 1960, Año XXI, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 129-134, [http://www.elmuseo-canario.com/images/documentospdf/revistaelmuseo/Revistas/1960\\_II.pdf](http://www.elmuseo-canario.com/images/documentospdf/revistaelmuseo/Revistas/1960_II.pdf) (fecha de consulta: 29 de julio de 2013). Cfr. Alexander Oparin, *Origen de la vida*, Editores Mexicanos Unidos, 9ª edición, 1983, pp. 14-16.

13 Camilo Quintero Toro, “¿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).

14 Estas últimas clasificaciones se conocieron como “métodos naturales”. Susana Pinar explica este cambio de taxonomía en: “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.

15 Alexander von Humboldt, *Cosmos, ensayo de una descripción física del mundo*, CSIC, Madrid, 2011, pp. 916-917. Consúltese también Pelayo, “Las teorías geológicas...”, p. 8.

16 Pelayo, *Las teorías geológicas...*, p. 10.

17 James Ussher (1581-1656) fue un prelado de la Iglesia Anglicana que se especializó en la cronología del Antiguo Testamento. La traducción 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.

18 José Lugo Hubp, *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; Alejandro Nava Pichardo, *La inquieta superficie terrestre*, Fondo de Cultura Eco-

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, 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 buscó demostrar empíricamente la edad del planeta, esfuerzo continuado hasta la fecha a través de diferentes métodos y con distintos resultados.

Para José Lugo Hubp,<sup>19</sup> el primer naturalista que buscó evidencia distinta a las fuentes bíblicas fue Georges Louis Leclerc, conde de Buffon,<sup>20</sup> quien en 1778 calculó el tiempo de enfriamiento de una esfera metálica y lo proyectó a las proporciones del planeta. Conjeturó que la Tierra tenía casi 75 mil años, tiempo que debía haber transcurrido desde que era una masa incandescente hasta alcanzar la temperatura que tenía en ese momento.

En su *Teoría de la Tierra* expuso la hipótesis de que el planeta se había formado por el choque de un cometa con el Sol, así que al inicio había sido un cuerpo líquido e incandescente hasta que se había enfriado. Sugería que la Tierra había tenido seis eras, que coincidían con los días en que, según la Biblia, Dios la había creado. Grandes catástrofes habían ocurrido después, pero la conformación terrestre se debía a causas como el movimiento de los mares, la acción del viento, de los ríos y de las corrientes de agua.<sup>21</sup>

Para José Lugo este intento de datación fue loable, puesto que 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.<sup>22</sup> Por su parte, Pelayo destaca que Buffon fue uno de los naturalistas que emplearon “métodos cercanos al positivismo en el estudio de la naturaleza”.<sup>23</sup>

A finales del siglo XVIII y principios del XIX, Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck,<sup>24</sup> propuso el *transformismo* de las especies,<sup>25</sup> que consideraba a los seres vivos no estáticos sino cambiantes, debido a dos mecanismos: la tendencia de la naturaleza hacia la perfección y la influencia de las circunstancias, que hacía a la materia viva adaptarse a su entorno. Además de oponerse al fijismo, percibió que para su idea de los seres vivos tendientes a la perfección se requería un mayor tiempo de existencia del planeta.<sup>26</sup>

nómica, México, 2009, pp. 14-15.

19 *Ibidem*, pp. 31-32.

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

21 Buffon, “Teoría de la Tierra. Tomo I”, en: Cuvier, *Obras completas de Buffon, aumentadas con artículos suplementarios sobre diversos animales no conocidos por...*, Barcelona, imprenta de A. Bergnes y C<sup>a</sup>., 1832.

22 Lugo Hubp, *La superficie...*, pp. 31-32.

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

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

25 Esta teoría es antecedente de la evolucionista por medio de la selección natural de Charles Darwin (1809-1882).

26 Lamarck, *Filosofía zoológica*, Editorial Alta Fulla “Mundo científico”, Barcelona, 1986, pp. 62-63. 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 seguía como una incógnita de difícil solución. Se infería que era muy vieja pero no se tenían pruebas o una metodología convincente. De acuerdo con Pelayo, hubo de esperar a que se sentaran las bases de la Geología moderna para que surgiera una teoría que explicara la formación de la corteza terrestre y el tiempo que debió llevarle llegar al aspecto que tenía en la centuria decimonónica, puesto que las metodologías de los siglos XVIII y primera mitad del XIX se limitaban a generalizar y mezclar evidencia empírica con “meras especulaciones”.<sup>27</sup>

## La Geología como ciencia autónoma

No es de extrañar que se intentara esta separación de la teología en busca 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 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.<sup>28</sup>

Por otra parte, el debilitamiento del poder represivo de la Iglesia a finales del siglo XVII favoreció “la libre expresión del pensamiento”,<sup>29</sup> así que se tuvo mayor facilidad para explicar los fenómenos terrestres, sin olvidar que este debilitamiento no fue total, como muestra la acusación de herejía que recayó en Buffon y por la que éste tuvo que agregar una “retracción” de sus hipótesis dentro de su obra, ya en el último tercio del siglo XVIII.

En el 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 pensamiento tradicional. Este proceso 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.<sup>30</sup>

<sup>27</sup> Pelayo, “Las teorías geológicas...”, p. 11.

<sup>28</sup> Virgili, *Lyell...*, p. 24.

<sup>29</sup> Nava Pichardo, *La inquieta...*, p. 15.

<sup>30</sup> “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://el-pais.com/diario/1992/10/31/sociedad/720486009\\_850215.html](http://el-pais.com/diario/1992/10/31/sociedad/720486009_850215.html) (fecha de consulta: 15 de julio de 2013).

Un aspecto relevante para el progreso de la ciencia y la tecnología en el siglo XIX fue la formación de las denominadas sociedades científicas, agrupaciones que impulsaron el conocimiento. Las explicaciones racionales mediante la observación y experimentación cobraron mayor importancia, y gobiernos e industrias descubrieron la importancia del desarrollo científico para lograr fines económicos, políticos y sociales. La tendencia fue considerar que este desarrollo haría subir a la sociedad por la escala hacia la perfección, factor que favoreció la institucionalización del conocimiento.

Los escenarios de los primeros debates sobre la estructura y edad de la Tierra fueron Gran Bretaña y países como Prusia y Francia porque en esta parte del mundo el racionalismo constituyó un “espíritu de su tiempo”;<sup>31</sup> porque debido a su incipiente práctica industrial y científica necesitaron estudios más profundos y por ello formaron escuelas especiales, distintas de las escolásticas; y porque las sociedades científicas disponían de un sistema para la difusión de ideas gracias a sus publicaciones. Además, había interés y capital para investigaciones empíricas. Solamente cuando estos requisitos estuvieron 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.<sup>32</sup>

Una diferencia entre la Geología y la Física o Química de mediados del siglo XVIII era el tipo de conocimiento y el trabajo de experimentación requerido: para las dos últimas, los fenómenos podían conocerse y reproducirse en un laboratorio, en tanto que el campo de estudio de la Geología es todo el planeta, y sus fenómenos son tan amplios y lentos que resulta difícil constatar los cambios. Este es otro elemento distintivo de la Geología.<sup>33</sup>

El presente trabajo está alineado 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 fue nombrado profesor de Mineralogía, puede ser tomada como punto de partida para la organización de las ciencias geológicas.<sup>34</sup>

31 Para ampliar la comprensión de esta tendencia, véase Alder, “A Revolution to Measure...”, p. 41.

32 Susana Pinar, “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.

33 W. H. Bradley, “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.

34 Pelayo, *Las teorías geológicas...*, p. 10.

Abraham Gottlob Werner desarrolló el primer intento de clasificación cronológica de los materiales de la corteza terrestre de acuerdo con sus estratos; con esto sentó las bases de la ciencia geológica. Alcanzó tal fama que Alexander von Humboldt, Andrés Manuel del Río, Juan José y Fausto Delhúyar,<sup>35</sup> entre otros personajes destacados, estudiaron en ella.

Werner enseñó a sus discípulos el neptunismo, teoría que considera 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. Las rocas cristalinas habrían sido las primeras en formarse en el océano, de modo que las llamó primordiales; de manera opuesta, las sedimentarias se habrían formado posteriormente.<sup>36</sup>

En el siglo XVIII el neptunismo se convirtió en la teoría que explicaba mejor las características de la superficie del planeta, su estructura y composición;<sup>37</sup> también organizó y delimitó a la Geología, estableció una clasificación propia y, además, un grupo –o comunidad– se dispuso a seguir estos principios. Por ello, autores como Francisco Pelayo son de la idea de que con Werner se delimitó la Geología.

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 realizar más observaciones en 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.<sup>38</sup> Estas diferencias ocasionaron una discusión que abarcó el periodo de 1790 a 1810,<sup>39</sup> 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 la organización de la Geología 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 concreta-

35 Alexander von Humboldt (1769-1859). Viajero y científico prusiano que contribuyó al estudio de la naturaleza, particularmente en Geografía física y Biogeografía. Se reconoce su importancia en la creación de redes en el mundo científico y su apoyo a la popularización de la ciencia. Sandra Rebok, "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) descubrieron el elemento Wolframio. En 1786, el rey nombró a Fausto Delhúyar Director General del Real Cuerpo de Minería de México y del Real Seminario de Minería, que abrió sus puertas en 1792. "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.palacio-mineria.unam.mx/historia/colegio\\_de\\_mineria\\_1.php](http://www.palacio-mineria.unam.mx/historia/colegio_de_mineria_1.php) (fecha de consulta: 10 de agosto de 2013).

36 José Pedro Calvo Sorando, "Introducción", en: Lyell, Charles, *Elementos de Geología* (edición de José Pedro Calvo Sorando), Crítica, Barcelona, 2011, p. XIX.

37 Pedro Blasco de Negrillo, en España, fue uno de ellos. *Ibidem*, p. 46.

38 Calvo Sorando, "Introducción", p. XXI-XXII.

39 José A. Uribe Salas 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.

mente 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.<sup>40</sup>

En cuanto a James Hutton, 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 1785<sup>41</sup> 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”.<sup>42</sup> Había nacido el uniformismo.<sup>43</sup>

### Catastrofismo y uniformismo en la mesa de debate<sup>44</sup>

En el siglo XIX, por postular el origen acuoso de las piedras el neptunismo era heredero del diluvianismo, de modo que fue aceptado por los hombres tradicionales, que seguían sosteniendo la creación de la Tierra como marcaba la Biblia, si bien con algunos ajustes permitidos por la ambigüedad de ciertos pasajes de las Sagradas Escrituras, que disminuían un poco la distancia con la evidencia empírica que se estaba creando.<sup>45</sup>

Para 1830, en Europa comenzó un nuevo debate referente a las Ciencias de la Tierra, 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 observarse la correspondencia entre flora y fauna con determinado periodo geológico, así que los fósiles pudieron ubicarse en determinada época. Aseguraban también que las especies habían sido siempre iguales desde su creación hasta su destrucción repentina.<sup>46</sup>

Uno de los máximos exponentes del catastrofismo fue Georges Cuvier (1769-1832), profesor y naturalista francés considerado padre de la Paleontología<sup>47</sup> por sus aportaciones

40 Pelayo, *Las teorías...*, p. 8.

41 Navá Pichardo, *La inquieta...*, p. 16.

42 Ver Virgili, *Lyell...*, p. 39.

43 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.

44 Francisco Pelayo se ha ocupado del desarrollo de la Geología en Europa y particularmente en España. Resalta los debates entre uniformitaristas y catastrofistas porque a finales del siglo XX se retomaron, dado el “nuevo marco catastrofista en el que se discute actualmente la interpretación del pasado de la Tierra”. Pelayo, “Teorías de la tierra...”, pp. 21-52. Como separó los conceptos de “sistema” y “metodología”, en lugar de un debate entre catastrofistas y uniformistas dimensiona varios puntos intermedios entre ambos.

45 Resalta que se hayan interpretado los días como eras o edades, y que al no existir el Sol en los primeros días de la Creación tampoco había movimiento de rotación, así que el primer día habría tenido diferente duración.

46 Calvo Sorando, “Introducción”, p.

al estudio de los fósiles. Aunque no se pronunció en favor del diluvianismo y utilizó métodos basados en datos empíricos, como el estudio de los fósiles en los distintos estratos, criticó a Lamarck y a los uniformistas porque para sus teorías se requerían millones de años de existencia de la Tierra, y él lo consideraba de apenas seis mil. Afirmaba que la fisonomía del planeta se debía a grandes catástrofes de la antigüedad<sup>48</sup> que habían extinguido a las especies cuyos fósiles guardaban las entrañas terrestres, las cuales habían sido distintas en todo a las actuales.

Para los uniformistas, al contrario, el mundo cambiaba muy lentamente, mediante ciclos que se repetían de igual manera y con la misma intensidad, así que los cambios del pasado se podían estudiar por medio de los sucedidos en el presente. Dos de sus postulados se convirtieron en la base de la Geología moderna: la edad de la Tierra era mucho mayor de lo que se creía, y para entender y explicar los fenómenos terrestres había que observar y analizar procesos como la erosión, la sedimentación, los terremotos y los volcanes.<sup>49</sup>

Aunque Hutton propuso la base del uniformismo en su libro *Theory of the Earth*,<sup>50</sup> publicado en 1788, casi no se tomó en cuenta hasta que John Playfair se encargó de explicarlo en artículos y libros.<sup>51</sup> Fue otro británico, Charles Lyell, el exponente más destacado. Para investigadores como Carmina Virgili, Francisco Pelayo, Forest Ray Moulton y Justus J. Schifferes,<sup>52</sup> fue el creador de la Geología moderna. Su obra, *Principios de Geología* se publicó entre 1830 y 1833.

En lugar de cataclismos, Lyell 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”, pudo explicar la evolución del planeta y su estructura, aspecto de gran importancia que además sirvió de fundamento a Charles Darwin para elaborar su teoría de la evolución de las especies. De la obra de Lyell, éste 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

47 La paleontología estudia los seres orgánicos cuyos restos se encuentran fosilizados. Nació como ciencia en el siglo XVIII, gracias al estudio anatómico de las especies y los fósiles realizado por Georges Cuvier (1769-1832), célebre naturalista francés cuyas obras destacadas son: *Recherches sur les ossements fossiles des quadrupèdes* (1812) y *Discours sur les révolutions de la surface du globe* (1825). En: *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana*, Tomo XVI, Madrid, Espasa-Calpe, 1908, pp. 1310-1311.

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

49 Virgili, Lyell..., pp. 89, 92.

50 Su primera versión fue leída a los miembros de la Real Sociedad de Edimburgo en 1785. James Hutton, “Theory of the Earth, or an Investigation into Laws observable in the Composition, 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 bajo el título de *Theory of the Earth with Proof and Illustrations*.

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

52 Para estos dos últimos autores, véase Moulton, Forest Ray y Justus J. Schifferes, *Autobiografía de la ciencia*, versión española de Francisco A. Delpiane, 1ª ed. en español, FCE, México, 1947, pp. 320-326.

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.<sup>53</sup>

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 acerca de la creación tal como estaba explicada en la Biblia. Aunque esta teoría no fue aceptada de manera inmediata, hizo posible la comprensión del tiempo geológico.<sup>54</sup>

Por otra parte, en las discusiones entre catastrofistas y uniformistas los principios tradicionales se parapetaban 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.

En el seno de las ciencias hubo algunos que tampoco concordaban 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.<sup>55</sup> Famoso por su contribución a la Segunda Ley de la Termodinámica, el físico se mostró contrario a los planteamientos uniformistas sobre periodos tan largos de existencia del planeta, con lo cual los catastrofistas tuvieron un renovado empuje.<sup>56</sup>

Thomson utilizó los principios de la Termodinámica para explicar su postura, que co-mulgaba con las de Descartes, Leibniz y Buffon: la Tierra, formada en su interior por rocas fundidas, se enfriaba 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 radicalizó su postura, de modo que para 1897 llegó a proponerla en tan solo 25 millones de años.<sup>57</sup>

53 Para Darwin, una superficie terrestre con cambios lentos y graduales permitiría la evolución de las especies, mientras que una serie de catástrofes la impediría. Charles Darwin, *El origen de las especies por medio de la selección natural*, Editorial Diana, México, 1953, pp. 356-360.

54 Charles Lyell fue muy cauto para hablar sobre los tiempos geológicos. Sólo cincuenta años después de publicar *Principles of Geology* se decidió a hablar sobre ellos. Pedro Moreno, *El explorador del tiempo, Charles Lyell*, 1ª ed., Pangea Editores, México, 1988, 114 p.

55 William Thomson (1824-1907), físico y matemático escocés que desarrolló la Segunda Ley de la Termodinámica y la escala de temperatura Kelvin o Cero Absoluto. "William Thomson, barón Kelvin", *Enciclopedia...*, fecha de consulta: 28 de julio de 2013.

56 Rafael Andrés Alemán Berenguer, "Kelvin versus Darwin: choque de paradigmas en la ciencia decimonónica", en: *Lull*, Vol. 33, Núm. 71, 1er semestre, 2010, pp. 11-24. En: [Dialnet-KelvinVersusDarwin-3353400.pdf](#) (fecha de consulta: 24 de marzo de 2013).

Valga 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 estas discusiones se también se planteaba otro asunto: la constitución y delimitación de las Ciencias de la Tierra. Cada teoría tenía implícita una concepción de trabajo y una metodología que daban pauta para seleccionar los fenómenos que debían ser estudiados, las razones para ello 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 publicaciones y debates en foros. 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 sobre las teorías de la edad de la Tierra se retomaron trabajos de unos cuantos naturalistas y geólogos; aunque fueron más quienes aportaron, lo expuesto se considera suficiente en tanto proporciona un panorama general. Resalta que el conocimiento de la Tierra, además del esfuerzo realizado por hombres de ciencia, debe su avance en los siglos XVIII y XIX a la conjunción de elementos de distinta índole: caballeros ilustrados con tiempo libre que crearon sociedades científicas para discusiones, exploraciones y divulgación de la ciencia; el debilitamiento de la Iglesia como inhibidora del pensamiento científico, sobre todo en países donde se dio la Revolución Industrial; el desarrollo de la Física, Química e Historia Natural; la toma de conciencia del gobierno sobre la importancia de la ciencia como elemento de imperialismo y hegemonía; el propio desarrollo industrial, que requería el conocimiento del subsuelo, entre los más importantes.

Estos elementos propiciaron un cambio en las preguntas de trabajo de los naturalistas, quienes en lugar de cuestionarse sobre aspectos determinados de la creación, trataron de develar la existencia de la Tierra por medio de lo que podían observar y demostrar. Al alejarse del pensamiento tradicional, llegaron a aceptar una edad mayor de la Tierra, lo que representó un terrible golpe conceptual.<sup>58</sup>

En efecto, resultaba difícil de creer esta nueva concepción de la edad de la Tierra, además de que todavía existían algunas piezas que integrar para que esta teoría fuera aceptada del todo por las sociedades científicas. El descubrimiento de la radioactividad en 1896 demostró que sí había una fuente de energía terrestre, de modo que la Tierra no se estaba enfriando y los cálculos realizados bajo este supuesto quedaron invalidados.<sup>59</sup>

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:

<sup>57</sup> *Idem.*

<sup>58</sup> José A. Uribe Salas, "Institucionalización de las Ciencias de la Tierra en México, siglo XIX", (apuntes), UMSNH, p. 7.

<sup>59</sup> En 1903 se comenzó a utilizar para datar fósiles. Antoine H. Becquerel, *On Radioactivity, a New Property of Matter, Nobel Lecture*, 1903, p. s/n. En: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-lecture.pdf). Fecha de consulta: 11 de junio de 2012.

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.<sup>60</sup>

Este cambio 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 entraban ya en el ámbito de la investigación científica. Se acentuó el reemplazo de la religión por la ciencia, que para Ken Alder llegó a posicionarla como “el dictador único del universo”.<sup>61</sup>

## 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 tradicional 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 cambios lentos y repetitivos desde hacía mucho tiempo, es simplificar demasiado. Además de estas ideas sintéticas, ambas posturas trataban de conformar un cuadro del conocimiento terrestre 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 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.

Se dice que con 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 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 elaborar sus trabajos.

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”.<sup>62</sup> Francisco Pelayo llama la atención sobre el trabajo del holandés Reijer Hooykaas,<sup>63</sup> que sostiene la complejidad de las disputas geológicas. Un aspecto que merece mayor análisis para ambos es el de la metodología que sostenía cada sistema:

---

60 Lugo Hubp, *La superficie...*, p. 30. Para otras referencias sobre la importancia del uniformismo puede consultarse Kuhn, *La estructura...*, p. 70.

61 Alder, “A Revolution to Measure...”, p. 41.

62 Moffat, “Paradigmas...”, p. s/n.

...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 de 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.<sup>64</sup>

Para Hooykaas la clasificación de las teorías de la Tierra entre uniformistas (o actualistas) y catastrofistas debería sustituirse por otra que las dividiera entre aquellas que utilizaron el método actualista y las que no lo hicieron. 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 se basaba en “el carácter invariable de las leyes naturales, tanto en el tiempo como en el espacio, que deja a un lado cualquier explicación sobre-natural”.<sup>65</sup>

## A manera de conclusión

En este artículo se observó la constitución de la Geología como ciencia a partir de los trabajos de Werner y Hutton, y al uniformismo como paradigma que enfrentó la visión tradicional que veía la Tierra como resultado de la creación divina, postura que impedía la formulación de nuevas preguntas que guiasen el trabajo científico.

Por otra parte, se pudo apreciar en el desarrollo de la Geología un proceso que llevó poco a poco al desapego entre las ideas religiosas y la evidencia empírica. Esto no quiere decir que, como llegó a asegurar Lyell, los catastrofistas hubieran detenido o retrasado el avance en el conocimiento del mundo natural, puesto que también realizaron aportes importantes, basta recordar a Georges Cuvier, padre de la Paleontología, quien realizó sus investigaciones geológicas sin considerar ideas religiosas y con base en datos empíricos, aunque mal interpretados.

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 afirmaba que era “emi-

63 Historiador de la ciencia que trató la relación entre Dios y la ciencia. Pelayo se refiere a sus obras: Reijer Hooykaas, *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.

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

65 *Ibidem*, p. 51.

nentamente una doctrina británica, y aún hoy ha hecho comparativamente pocos progresos en el continente europeo”.<sup>66</sup> Como se ha visto, por ese año Lord Kelvin se enfrentaba a los uniformistas en una discusión sobre la edad de la Tierra, en la que estos últimos aún tuvieron problemas para demostrar sus millones de años, en un claro ejemplo de que la ruptura no fue radical sino paulatina.

## Bibliografía

- 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, pp. 39-71.
- Alemán Berenguer, Rafael Andrés, “Kelvin versus Darwin: choque de paradigmas en la ciencia decimonónica”, en: *Lull*, Vol. 33, Núm. 71, 1er semestre, 2010, en: Dialnet-KelvinVersusDarwin-3353400.pdf.
- Becquerel, Antoine H., *On Radioactivity, a New Property of Matter, Nobel Lecture*, 1903, p. s/n. En: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-lecture.pdf).
- Bosch, Carlos, “Consideraciones sobre la generación espontánea”, en: *El Museo Canario*, enero-diciembre 1960, Año XXI, Las Palmas de Gran Canaria, en: [http://www.elmuseocanario.com/images/documentospdf/revistaelmuseo/Revistas/1960\\_II.pdf](http://www.elmuseocanario.com/images/documentospdf/revistaelmuseo/Revistas/1960_II.pdf).
- Bradley, W. H., “Leyes geológicas”, en: Albritton, C. C. Jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, Cía. Editorial Continental, 1970.
- Calvo Sorando, José Pedro, “Introducción”, en: Lyell, Charles, *Elementos de Geología* (edición de José Pedro Calvo Sorando), Crítica, Barcelona, 2011, pp. IX-XCVIII.
- 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 C<sup>a</sup>., 1832.
- Darwin, Charles, *El origen de las especies por medio de la selección natural*, Editorial Diana, México, 1953.
- 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.
- Doren, Charles van, *Breve historia del saber. La cultura al alcance de todos*, 2ª reimpresión, México, Planeta, 2007.
- Enciclopedia Britannica...*, en: <http://global.britannica.com>.

<sup>66</sup> En: Pelayo, “Catastrofismo y actualismo...”, p. 49.

- Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana*, Tomo XVI, Madrid, Espasa-Calpe, 1908.
- El País*, "Juan Pablo II rehabilita hoy a Galileo, 359 años después de que fuera condenado", Madrid, 31 de octubre de 1992, sección: Sociedad. Archivo disponible en línea: [http://elpais.com/diario/1992/10/31/sociedad/720486009\\_850215.html](http://elpais.com/diario/1992/10/31/sociedad/720486009_850215.html).
- Humboldt, Alexander von, *Cosmos, ensayo de una descripción física del mundo*, CSIC, Madrid, 2011.
- James Hutton, "Theory of the Earth, or an Investigation into Laws observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe", en: *Transactions of the Royal Society of Edimburgh*, 1788.
- Kitts, D. B., "Teoría de la Geología", en: *Albritton, Filosofía...*, pp. 71-94.
- Kuhn, Thomas, *La tensión esencial, estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, México, Fondo de Cultura Económica, 1996 (reimpresión).
- \_\_\_\_\_, *La estructura de las revoluciones científicas*, primera reimpresión, México, Fondo de Cultura económica, 2007.
- Lamarck, *Filosofía zoológica*, Editorial Alta Fulla "Mundo científico", Barcelona, 1986. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/86189838/Lamarck-Filosofia-zoologica>.
- 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.
- 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, FCE, México, 1947.
- Nava Pichardo, Alejandro, *La inquieta superficie terrestre*, FCE, México, 2009.
- Oparin, Alexander, *Origen de la vida*, Editores Mexicanos Unidos, 9ª edición, 1983.
- Pelayo, Francisco, *Las teorías geológicas y paleontológicas en el siglo XIX*, Madrid, Ediciones Akal, 1991.
- \_\_\_\_\_, "Teorías de la Tierra y sistemas geológicos: un largo debate en la historia de la Geología", en *Asclepio*, Vol. XLVIII, Tomo: sin datos, Fascículo 2, Madrid, 1996.
- "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](http://www.palaciomineria.unam.mx/historia/colegio_de_mineria_1.php).
- 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, Colombia. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=81103107>.

- Rebok, Sandra, "Introducción", en: Humboldt, Alexander von, *Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo*, Madrid, Los libros de la Catarata/CSIC, 2011.
- Sagan, Carl y I. S., Shklovskii, *Vida inteligente en el universo*, Barcelona, Editorial Reverté (versión española por José Company Bueno), 1ª reimp., 2003.
- Solís Santos, Carlos, "Introducción", en Thomas Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*, primera reimpresión, México, FCE, 2007.
- Stephen, Leslie (ed.), *Dictionary of National Biography*, Vols. I, VII, London, Smith, Elder & Co., 1885.
- Susana Pinar, "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.
- Trabulsee, Elías, *Arte y ciencia en la historia de México*, México, Fomento Cultural Banamex, 1995.
- University of Cambridge, "Core value set new date for birth of the Earth", in: *Research*, University of Cambridge, published 9 July, 2010, disponible en: <http://www.cam.ac.uk/research/news/core-values-set-new-date-for-birth-of-the-earth>.
- 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", *Revista de Indias*, 2006, vol. LXVI, Núm. 237, pp. 491-518.
- \_\_\_\_\_, "Institucionalización de las Ciencias de la Tierra en México, siglo XIX" (apuntes), UMSNH.