

DE JENÓFANES A WEGENER : UNA BREVE EXCURSIÓN EN LA HISTORIA DEL PENSAMIENTO GEOLÓGICO¹

Un aporte de las geociencias al debate contemporáneo sobre ciencia y desarrollo

Thierry SEMPERE

¹ IRD, apartado postal 18-1209, Lima 18. E-mail: Thierry.Sempere@ird.fr

« *Menospreciar lo que no entendemos, además de la absurda temeridad que arrastra, es una audacia peligrosa y de consecuencia.* »² Montaigne (1533-1592)

INTRODUCCIÓN

Primero quisiera agradecer al Instituto Francés de Estudios Andinos por invitarme a dar esta conferencia. Al buscar sobre qué tema podía hablar, recordé que las actividades del IFEA, desde 1948, abarcan a la vez las Ciencias de la Tierra y las Ciencias Humanas. Entonces pensé, quizás ingenuamente, que una conferencia que abarcaría ambas ramas de la ciencia podría despertar un poco de interés, especialmente en los espíritus que no se satisfacen con limitarse a estrechas disciplinas. Pensé que de esta forma cada rama podría tal vez disfrutar un poco de lo que aporta la otra. Entonces les propongo esta noche una excursión sobre una especie de puente que voy a tratar de echar entre ciencias de la tierra y ciencias humanas.

En realidad, en la Edad Media, la palabra neolatina *geologia* designaba el estudio de todo lo que es terrestre, a la inversa de lo celeste y divino, y entonces tanto las ciencias humanas como las ciencias de la materia pertenecían a esta *geologia*. El sentido actual de *geología* apareció más tarde, en el siglo XVII. Sin embargo hubo geólogos mucho antes – poetas, filósofos, viajeros, artistas, médicos, o simples curiosos – que hicieron observaciones y las publicaron. Con el siglo XVIII vino el tiempo de los naturalistas, y luego la era de los profesionales y técnicos, en la cual estamos.

En un mundo dominado por la tecnicidad, la historia de las geociencias puede parecer un tema un poco austero, y hasta inútil. Esta impresión, sin embargo, proviene probablemente de que a menudo los geólogos no nos preocupamos mucho de cómo se ha llegado a

establecer lo que hoy en día se enseña en las universidades y se práctica en las instituciones geológicas y empresas mineras o petroleras. Es un poco una lástima, puesto que conocer la historia de nuestro conocimiento puede ayudarnos a identificar los elementos que están firmemente establecidos y los que sólo son cómodas hipótesis, y por ende avanzar en nuestras investigaciones.

Sé por experiencia que los científicos aprendemos mucho cuando nos informamos sobre la historia de nuestra disciplina. Al conocer esta historia, comprobamos que lo que sabemos hoy en día se ignoraba en el pasado, y por lo tanto, podemos entender que cosas que se sabrán en el futuro hoy todavía se ignoran. La ciencia no se puede separar de la idea que el conocimiento progresa. Como la historia de la ciencia nos enseña que teorías admitidas en cierta época por la mayoría estaban en realidad equivocadas, debemos preguntarnos lo siguiente: ¿No existirán hoy día ideas que se creen ciertas y en realidad están equivocadas? ¿Tendremos el coraje de reconocer que algunos de nuestros conceptos tradicionales están equivocados?

Debo confesar que la excursión que les propongo apunta en alguna forma a despertar en Uds. inquietudes en cuanto a nuestros conocimientos actuales, mediante ejemplos pasados tanto de errores como de descubrimientos. Para eso creo que primero necesitamos una orientación inicial, y para encontrarla voy a contar una historia, que al parecer no tiene nada que ver con el tema de esta noche. Sin embargo...

Estamos a mediados del mes de noviembre del año 1717, en París. Ya ha empezado el invierno. Sobre las gradas de la iglesia Saint-Jean-le-Rond, cerca de Notre-

¹ Conferencia dada en la Alianza Francesa e Instituto Francés de Estudios Andinos (22 de agosto de 2000), en el XIII Congreso Geológico Boliviano (noviembre de 2000), en la Universidad Nacional del Altiplano (Puno, agosto de 2001), en el Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET, abril de 2002), y en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (julio de 2002). El texto inicial ha sido completado, ampliado y actualizado en octubre de 2003.

² « C'est une hardiesse dangereuse et de consequence. outre l'absurde temerité qu'elle traîne quant et soy, de mespriser ce que nous ne concevons pas. » [Michel Eyquem de Montaigne, *Essais* (1580-1592), I, 26]

Dame, una mujer abandona a su hijo recién nacido. Ella es la marquesa de Tencin, una ex-monja que ganó una fortuna en una jugada financiera. El niño es por supuesto el fruto de amores adúlteros. Su padre es el *chevalier* Destouches; oficial de artillería, está en campaña lejos de París. El bebé es recogido y entregado a un hogar de niños abandonados. Porque lo han recogido frente a la iglesia homónima, lo llaman Jean Le Rond, lo que se puede traducir como « Juan El Redondo ». Ahora bien, tal vez me van a decir: ¿Qué diablos tiene eso que ver con las ciencias?

Bueno, tiene bastante que ver. Resulta en efecto que, de vuelta a París, el padre del bebé, ese *chevalier* Louis-Camus Destouches — acuérdense de este nombre —, se las ingenia para ubicarlo y lo hace criar por la esposa de un vidriero, *Madame* Rousseau. El niño crece con ella, y el *chevalier* Destouches se encarga de su educación. Él muere cuando su hijo tiene sólo 9 años, pero la familia Destouches sigue protegiendo al niño. Lo mandan a un buen colegio, donde se inscribe bajo el nombre de Jean-Baptiste Dairemberg, y se revela como un excelente alumno. Al terminar su adolescencia, vacila entre el derecho, la medicina y las matemáticas, y opta por las últimas. Se hace notar por sus primeros trabajos y es nombrado «*associé astronome adjoint* » de la Academia Real de Ciencias a la edad de 24 años. A los 26 y 27, publica dos tratados de física, cuya importancia determina el desarrollo posterior de la mecánica racional. De esta forma se vuelve rápidamente uno de los matemáticos y físicos más importantes de su tiempo. Quizás Uds. ya habrán reconocido a este hombre singular. O tal vez tenga que aclarar que el niño ilegítimo y abandonado, una vez adulto, había escogido un tercer apellido : d'Alembert.

Cuando un editor parisino decidió poner en marcha la famosa *Enciclopedia*, fue a d'Alembert a quien encargaron la redacción del *Discurso preliminar* de esta colosal obra. Publicado en 1751 cuando él tenía sólo 34 años, el *Discurso preliminar* constituye una obra maestra que fue aclamada desde el principio. El *Discurso preliminar* fundó prácticamente la filosofía moderna de las ciencias y la epistemología, y convirtió a d'Alembert en uno de los filósofos más prominentes del siglo de las Luces³. A lo largo de su vida también se desempeñó como uno de los más famosos protagonistas de la lucha de los intelectuales en contra de la intolerancia política y religiosa⁴, como su amigo Voltaire.

Propongo entonces que d'Alembert sea esta noche nuestro anfitrión en materia científica, a través de



Retrato de d'Alembert (1717-1784)

algunos de los principios que figuran en su *Discurso preliminar de la Enciclopedia*. En su primera página, d'Alembert declara :

« El primer paso que tengamos que dar en nuestra encuesta es (...) examinar la genealogía y filiación de nuestros conocimientos, las causas que deben haberlos producido, y los caracteres que los distinguen; en una palabra, llegar hasta el origen y generación de nuestras ideas. »⁵

Es decir entender lo que sabemos, o más bien *creemos* saber, mediante la historia de este saber. Lo que parece un principio excelente.

Le agregaremos un segundo principio. D'Alembert lo desarrolla poco después, declarando :

« Todos nuestros conocimientos directos se reducen a los que recibimos por los sentidos; consecuentemente, todas nuestras ideas provienen de nuestros sentidos. (...) No hay cosa más incontestable que la existencia de

³ A tal punto que el Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia dió su nombre al fondo que creó en 2002 para promover el pensamiento francés en el debate mundial de ideas y apoyar a la investigación científica francesa a nivel internacional.

⁴ E. Badinter, *Les passions intellectuelles* : vol. 1: *Désirs de gloire (1735-1751)*, París, Fayard, 1999; vol. 2: *Exigence de dignité (1751-1762)*, París, Fayard, 2002. Conocido ateo, d'Alembert fue enterrado en una fosa común, sin nombre, después de su muerte el 29 de octubre de 1783, menos de seis años antes del inicio de la Revolución.

⁵ « Le premier pas que nous ayons à faire dans cette recherche, est d'examiner, qu'on nous permette ce terme, la généalogie et la filiation de nos connoissances, les causes qui ont dû les faire naître, et les caracteres qui les distinguent: en un mot, de remonter jusqu' à l'origine et à la génération de nos idées. » [Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783). *Discours préliminaire de l'Encyclopédie* (1751)]

nuestras sensaciones; por lo tanto, para demostrar que son el principio de todos nuestros conocimientos, basta demostrar que lo pueden ser: pues en buena filosofía una deducción que se basa sobre hechos o verdades reconocidas, es preferible a la que se apoya sólo sobre unas hipótesis, aún si éstas son ingeniosas. »⁶

En lo que va del conocimiento humano, es claro que para d'Alembert las observaciones y otros hechos concretos cuentan mucho más que las teorías o las «revelaciones». Con todo eso, creo que no hay mejor introducción al tema de esta noche.

Todo pensamiento parte de sensaciones, dice d'Alembert, y por supuesto tiene razón. En lo que se refiere a las Ciencias de la Tierra, tomaré entonces tres ejemplos de hechos concretos: los fósiles, los ríos, y los terremotos. Y vamos a investigar la genealogía de nuestros conocimientos respecto a cada uno de ellos.

El nacimiento de la mentalidad científica

Para aclarar esta evolución, es necesario recordar el origen de la ciencia. En efecto, el nacimiento de la mentalidad científica representa en la historia de la humanidad un hito probablemente tan importante como la aparición del lenguaje hablado. Gracias a ella, los hombres, o por lo menos algunos de ellos, aprenden a entender la naturaleza como un sistema regido por leyes lógicas y ya

no por fuerzas sobrenaturales o hipotéticas potencias invisibles. Ya que estamos hablando del tema, se puede afirmar que el desarrollo de mentalidades científicas en sociedades cuya cultura cotidiana estaba (o está) ampliamente dominada por supersticiones siempre fue (o es) un verdadero milagro. En particular, eso ocurrió hace muchos siglos en una cultura donde todos los fenómenos naturales eran atribuidos a la acción de un sinnúmero de dioses caprichosos.

En efecto, la primera sociedad en la cual se puede identificar una ciencia distinta de la técnica es la sociedad de la Grecia antigua⁷ : ahí se registran los primeros intentos para explicar objetiva- y racionalmente de qué manera funciona el mundo. Conocemos el nombre de quien inició esta búsqueda, Tales de Mileto, y sabemos que desempeñó su actividad durante la primera mitad del siglo VI antes de nuestra era, es decir hace casi 2,600 años. En realidad, casi todos los primeros pensadores con mentalidad científica nacieron en Jonia, un área entonces griega situada en la costa de la actual Turquía⁸ : Tales, Anaximandro y Anaxímenes en Mileto; Pitágoras en Samos; Jenófanes en Colofón.

Ellos pensaban que observando la naturaleza se podía descubrir leyes generales que la regían, y así entenderla, y estaban convencidos que para eso era necesario reflexionar racionalmente. Fueron los primeros en usar la lógica en una forma rigurosa. Un siglo más tarde, Herodoto, a quien se le llama el Padre de la Historia, nació también en Jonia, en Halicarnaso.

Ubicación de Jonia en el Mediterráneo Oriental.



⁶ « Toutes nos connoissances directes se réduisent à celles que nous recevons par les sens; d'où il s'ensuit que c'est à nos sensations que nous devons toutes nos idées. (...) Rien n'est plus incontestable que l'existence de nos sensations; ainsi pour prouver qu'elles sont le principe de toutes nos connoissances, il suffit de démontrer qu'elles peuvent l'être : car en bonne philosophie, toute déduction qui a pour base des faits ou des vérités reconnues, est préférable à ce qui n'est appuyé que sur des hypothèses, même ingénieuses. » [Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), *Discours préliminaire de l'Encyclopédie* (1751)].

⁷ Wolpert, L., 2000. The well-spring: about 3,000 years ago, the Greeks invented science; *Nature*, v. 405, p. 887. En su *Discurso preliminar de la Enciclopedia*, el propio d'Alembert ya subrayaba la importancia de volver a leer a los autores de la Antigüedad en la época moderna : « Es ser ignorante o atrevido creer que todo se sabe en cualquier materia que sea, y que el estudio y lectura de las antiguas ya no presentan ningún interés. »

⁸ Es en esta región que se encuentra el río Meandro, ejemplo típico de los ríos meandriformes.

Los fósiles

La primera teoría que poseemos en cuanto a la Historia de la Tierra fue formulada por el poeta-filósofo Jenófanes de Colofón, aparentemente en la segunda mitad del siglo VI antes de nuestra era. Según el testimonio de Hipólito de Roma, un obispo cristiano que murió en 235 de nuestra era, su teoría era la siguiente:

« Jenófanes piensa que la tierra se unió al mar. y que se deshizo en el elemento líquido con el tiempo. Afirma tener pruebas de ello en el hecho que se encuentran conchillas en medio de tierras y montañas. Dice que se encontraron en las canteras de Siracusa una impronta de pez y algas; en Paros, una impronta de laurel en la profundidad de la piedra; en Malta, lozas con todos los organismos marinos a la vez. Dice que estas cosas se produjeron cuando todo estaba cubierto de lodo. en ese entonces, y que las improntas se conservaron cuando se secó el lodo. Y que todos los seres humanos mueren cada vez que la tierra se hunde en el mar y se vuelve lodo, que luego todo vuelve a empezar desde el inicio, y que estos trastornos ocurren en todos los universos. »⁹

Pese a que esta teoría es obviamente errónea, este texto demuestra que Jenófanes había claramente reconocido el origen de lo que hoy en día llamamos fósiles. Más de un siglo después de él, Janto Lidio también entendía que el mar había estado donde ahora hay tierra, como nos informó Estrabón unos años antes de nuestra era:

« Janto cuenta que en el regno del rey [persa] Artajerjes [segunda mitad del siglo V antes de nuestra era] ocurrió una gran sequía, hasta tal punto que los ríos, lagos y pozos desaparecieron; y que ha visto en varias regiones muy alejadas del mar piedras parecidas a conchillas o peines. e improntas de conchillas marinas, y también lagos salados en Armenia, en Matiene (Media), en Baja Frigia, y que por estos hechos cree que estas planicies fueron anteriormente ocupadas por el mar. »¹⁰

Sin embargo, en los siglos siguientes no va a haber progresos en cuanto a la comprensión de los fósiles. En la Edad Media, a principios del siglo XI, el más eminente científico musulmán, el iraní Ibnu Sina (980-1037), describe la formación de las rocas y la conversión en piedra de vegetales y animales. En Europa occidental, en el siglo XIII, el teólogo Alberto Magno (1206-1280) recupera las ideas de los pensadores musulmanes y griegos, y admite que restos de plantas o de animales pueden ser transformados en piedra.

Al principio del Renacimiento, es decir en la segunda mitad del siglo XV, Leonardo da Vinci (1452-1519) declara, como los antiguos autores griegos, que las conchillas fosilizadas son restos de seres vivos, que vivieron y murieron donde se las encuentra, en un tiempo

en que el mar ocupaba este lugar. Pero nadie le hace caso. En lo que va del siglo XVI, vale la pena mencionar a Fontenelle, un pensador singular que vivió 100 años (muriendo en 1757, el año que nuestro amigo d'Alembert cumplió 40 años). En una de sus numerosas obras, el irrespetuoso Fontenelle declara:

« Un alfarero, que no sabía ni latín ni griego, fue el primero quien se atrevió a decir en París, a fines del siglo XVI, y en la cara de todos los doctores, que las conchillas fósiles eran verdaderas conchillas dejadas por el mar en los lugares donde se encontraba entonces, que animales, y sobretudo peces, habían dado a las piedras figuradas todas sus diferentes figuras; y se atrevió a retar a toda la escuela aristoteliciana a atacar sus pruebas. »

Este alfarero que tenía razón frente a los doctores de la Sorbona se llamaba Bernard Palissy (1510-1590) y en la Francia de hoy sólo es famoso por sus cerámicas esmaltadas.

Pero sus ideas se concretan en el siglo XVII. Por ejemplo, el físico y biólogo inglés Robert Hooke (1635-1703) llega a pensar que los fósiles pueden revelar el pasado de la Tierra. Después de comparar bajo un microscopio de su invención las anatomías de seres vivos y fósiles, declara: « De una misma especie pudieron originarse varias formas », anunciando las teorías transformistas. El gran pensador alemán Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), más conocido como matemático y filósofo, describe petrificaciones y declara que los fósiles no son juegos de la naturaleza, sino restos de antiguos seres vivos. Vale la pena citarlo: « En tiempos muy lejanos, los mares que nos rodean tenían animales y conchillas que hoy ya no se encuentran en ellos [...] Durante los grandes cambios que el globo ha sufrido, muchas formas animales han sido transformadas. »

En Francia, sin embargo, las ideas de Palissy no tienen ningún éxito — lo que confirma el dicho “*nadie es profeta en su tierra*”. El hecho que Palissy era considerado como un alfarero y que sus oponentes eran los doctores de la Universidad por supuesto no ayudó. Un siglo y medio después, el propio Voltaire, como muchos otros, sigue estimando que los fósiles son sólo juegos de la naturaleza. Apoyándose sobre lo que él llama principios de « sana física », Voltaire declara que los fósiles del Mont-Cenis cayeron de los abrigos de peregrinos y que los peces petrificados son lo que queda de sus comidas.

Sin embargo, las cosas van a quedarse claras a partir de Buffon: en su *Teoría de la Tierra*, publicada en 1749, Buffon plantea la idea que « hubo especies perdidas, es decir animales que existieron y que ya no existen ». Pero es Cuvier que, a fines del siglo XVIII, va a fundar realmente la paleontología como ciencia auténtica, definiendo sus objetivos y métodos rigurosos. Para él, la paleontología permite descifrar la historia de la vida. Tomando en cuenta los estratos donde se encuentran los fósiles, los primeros

⁹ Jenófanes, *apud* Hipólito de Roma [† 235 de nuestra era]. *Refutatio omnium heresium*, I, 14.

¹⁰ Janto Lidio. *apud* Estrabón, *Geographia*, III, 4.

paleontólogos observan que todos los animales desaparecidos no vivieron en la misma época, y que se sucedieron en el tiempo. Sin embargo, en su mayoría ellos creen que estas faunas fueron sucesivamente creadas y destruidas — evidentemente por Dios mismo. A estas teorías se las denomina “creacionistas”. Por ejemplo, el naturalista Alcide d’Orbigny (1802-1857), quien viajó 3 años por Bolivia y también pasó por el Perú, terminó por admitir 27 creaciones divinas sucesivas. Esta explicación ya transparecía en el famoso *Discurso sobre las revoluciones del globo* que el mismo Cuvier publicó en 1812.

Pero la teoría creacionista ya estaba desafiada. En su *Filosofía zoológica*, de 1809, el francés Jean-Baptiste de Lamarck ya había afirmado que las especies se transformaban progresivamente y que existía una genealogía de los seres vivos. Según Lamarck, no existió una sucesión de destrucciones y creaciones, sino una evolución biológica más bien continua. Desde este momento, Lamarck estuvo violentamente criticado y hasta ridiculizado por sus colegas, incluso Cuvier, quienes describieron su teoría transformista como « inmoral ». Sin embargo, la idea transformista estaba lanzada.

En 1838, el inglés Charles Darwin ya entiende la evolución de las especies, pero no se atreve a publicarla, porque anticipa lo que le esperaba. En 1844, el escocés Chambers publica en forma anónima un libro donde propone las bases de una teoría de la evolución. Hubo este comentario : « Este libro es una cosa inmundada y obscena, cuyo contacto impuro genera una mancha peligrosa ». En 1859, la publicación por Darwin de su famoso libro *Del origen de las especies* es un enorme éxito, y también un enorme escándalo — puesto que Darwin contradice implícitamente la Biblia. La selección natural planteada por Darwin tomaba sencillamente el lugar de Dios! Y eso, como lo imaginan, era sumamente grave.

Sin embargo, la obra de Darwin desencadenó una intensa investigación científica. Uno de los primeros en seguir los pasos de Darwin fue el biólogo alemán Ernst Haeckel (1834-1919), conocido por haber propuesto que « la ontogénesis es una breve y rápida recapitulación de la filogénesis ». Haeckel también afirmó un importante principio, al declarar que: « Donde empieza la religión, ahí termina la ciencia ». En otras palabras es el dicho español: « Al pan, pan, y al vino, vino ».

Pero hoy todavía se están enfrentando transformismo y creacionismo, especialmente en Estados Unidos, donde las sectas fundamentalistas son poderosas y siguen haciendo una lectura literal de la Biblia. A pesar que es una de las teorías científicas mejor comprobadas, la teoría de la evolución ha suscitado reacciones intensísimas en su contra, las suscita todavía hoy, y obviamente seguirá suscitándolas, hasta que toda la humanidad tenga acceso a una forma científica de pensar. Pero ya tengo que acabar con este tema, que necesitaría una conferencia entera.

La Tierra y el tiempo

La paleontología permitió rápidamente establecer un cuadro cronológico relativo. Y durante el siglo XX, el desarrollo de métodos físicos de datación isotópica permitió poner fechas absolutas sobre este cuadro. La geocronología de nuestro planeta se encuentra ahora bastante precisa, hasta para sus épocas más remotas. La fecha más antigua, 4568 ± 3 Ma, fue obtenida por el método Pb-Pb sobre inclusiones refractorias¹¹ del meteorito condritico *Allende*. Una fecha muy precisa de $4557,8 \pm 0,4$ Ma fue obtenida, también por el método Pb-Pb, sobre el meteorito acondritico *Angra dos Reis*, demostrando, con otras edades sobre objetos similares, que procesos magmáticos estuvieron activos muy temprano en cuerpos planetarios del sistema solar. La equilibración final entre núcleo y manto terrestres ocurrió alrededor de 4533 Ma¹². Por un conjunto de hechos, se piensa que la Tierra fue impactada por un cuerpo planetario alrededor de ~ 4500 Ma, y que la Luna resultó del impacto. La región Tierra-Luna fue sometida a un intenso bombardeo meteorítico desde la formación de estos cuerpos hasta ~ 3900 Ma. Procesos de fusión parcial afectaron temprano el manto superior terrestre, probablemente hasta el punto que se formó un océano de magma, como fue el caso en la Luna entre ~ 3900 y ~ 3100 Ma.

Si reportamos toda la historia de la tierra a un sólo año, para nosotros son las 12 horas de la noche del 31 de diciembre. Digamos que la Tierra se ha formado en los primeros días de enero. La lluvia de meteoritos disminuye sensiblemente alrededor del 18 de febrero. El océano de basalto, si es que hubo, se vuelve corteza a mediados de abril. El oxígeno empieza a concentrarse en la atmósfera a mediados de mayo. Los organismos un poco complejos se desarrollan recién durante la segunda semana de noviembre. Las primeras plantas terrestres aparecen el 28 de noviembre, seguidas por los primeros tetrápodos el 1ero de diciembre. Los primeros dinosaurios llegan el 13 de diciembre, y los últimos mueren repentinamente el 25. Nuestros ancestros simios pierden su cola en la tarde del 29, y nuestros ancestros australopitecos se separan de nuestros primos chimpancés en la mañana de hoy. Nuestros ancestros *Homo sapiens* viven en África hace media hora. Se inventa la agricultura hace 1 minuto y algo, las primeras escrituras hace 35 segundos, y Jesús-Cristo muere hace 14 segundos. Creo que este ejemplo es suficientemente elocuente para que perciban a qué escala se desarrolló la historia de nuestro planeta.

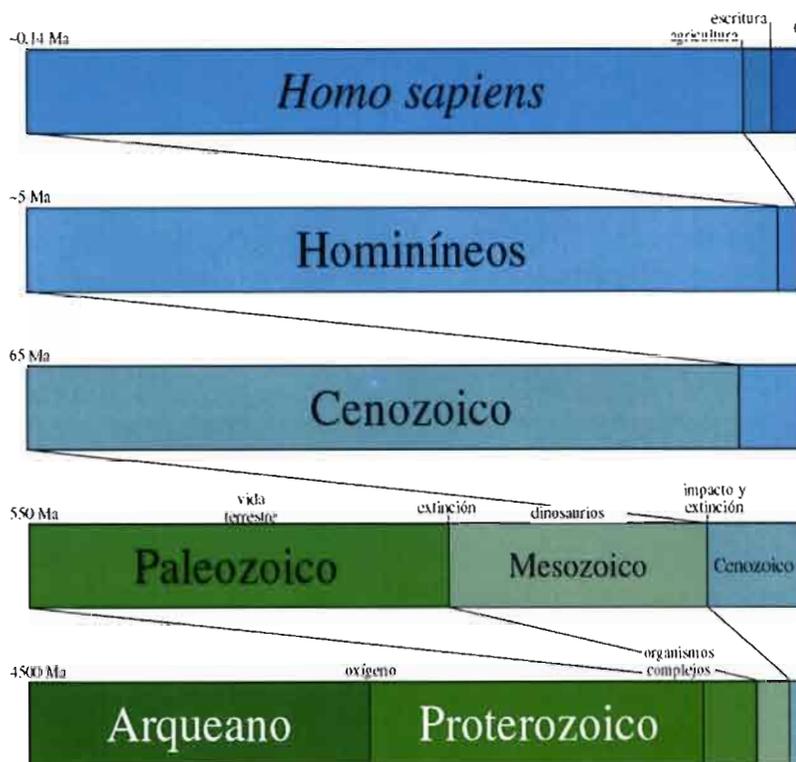
Los ríos y la sedimentación

Una observación básica para entender lo que son los fósiles es que se encuentran dentro de rocas estratificadas. Este hecho fundamental se reconoció

¹¹ CAI : inclusiones ricas en calcio y aluminio.

¹² Münker, C., et al. 2003. Evolution of planetary cores and the Earth-Moon system from Nb/Ta systematics. *Science*. v. 301. p. 84-87.

Breve reseña de la historia de la Tierra y del hombre.



bastante tarde, recién en los siglos XVI y XVII. El médico y minero sajón Georg Bauer (en latín Georgius Agricola¹³, 1494-1555) y el anatomista danés Niels Steensen (en latín Nicolaus Steno, 1638-1686) fueron los primeros en reconocer que muchas rocas se encuentran bajo forma de estratos donde se hallan los fósiles. El segundo creó las bases de lo que sería la estratigrafía.

Pese a que la estratificación de las rocas sedimentarias se reconoció tarde, los principios de esa sedimentación, así como de la erosión, se conocían desde mucho tiempo. En particular, el hombre parece haberse dado cuenta muy temprano que los ríos eran agentes tanto de erosión como de sedimentación. Y para ilustrar eso, es tiempo de volver a Grecia.

A nivel de textos datados, el principio de la erosión ya aparece en la propia *Ilíada*¹⁴, al inicio del canto XII. Ocurre que durante la guerra de Troya, los Griegos que asedian a esta ciudad han construido una muralla para proteger a su propio campamento, pero al hacerlo se han olvidado del sacrificio a los dioses, lo que constituye una ofensa que temprano o tarde se pagará. Este texto describe la destrucción de la muralla por los dioses, después de la guerra :

« Entonces *Poseidón* y *Apollón* decidieron aniquilar la muralla, dirigiendo hacia ella el ímpetu de los numerosos ríos que corren hacia el mar desde las montañas del Ida: el *Rhèsos*, y el *Heptaporos*, y el *Karèsos*, y el *Rhodios*, y el



Retrato de Niels Steensen (también conocido como Nicolaus Steno)

¹³ Del preámbulo redactado por Agricola a su obra *De re metallica*, vale la pena mencionar estas palabras : « He omitido todas las cosas que no he visto personalmente, o que no leí u oí de personas en quienes puedo confiar. No he escrito sobre lo que no he visto, y tampoco sobre lo que no he cuidadosamente considerado después de leer o escuchar. La misma regla debe ser entendida en lo que se refiere a toda mi instrucción, que yo comande cosas que deben hacerse, o describa cosas que son usuales, o condene cosas que se han hecho. »

¹⁴ Se estima que su texto data mayormente del siglo VIII antes de nuestra era.

Grènikos, y el *Aisèpos*, y el divino *Skamandros*, y el *Simoeis* [...]. *Phoibos Apollón* reunió sus cursos y durante nueve días sus aguas corrieron sobre la muralla. Y *Zeus* hizo llover continuamente. para que los muros desaparezcan más rápido en el mar. El mismo *Sacudidor de la tierra* [= *Poseidón*], con su tridente en la mano, los guiaba, y sobre las olas llevaba todos los elementos de madera y piedra que los Griegos habían asemlado con tanta pena. Y [*Poseidón*] niveló el borde del poderoso mar Helesponto, y escondió otra vez la gran orilla en arenas. Había aniquilado la muralla, y desvió los ríos y los hizo volver a los lechos donde antes corría el bello curso de sus aguas. »¹⁵

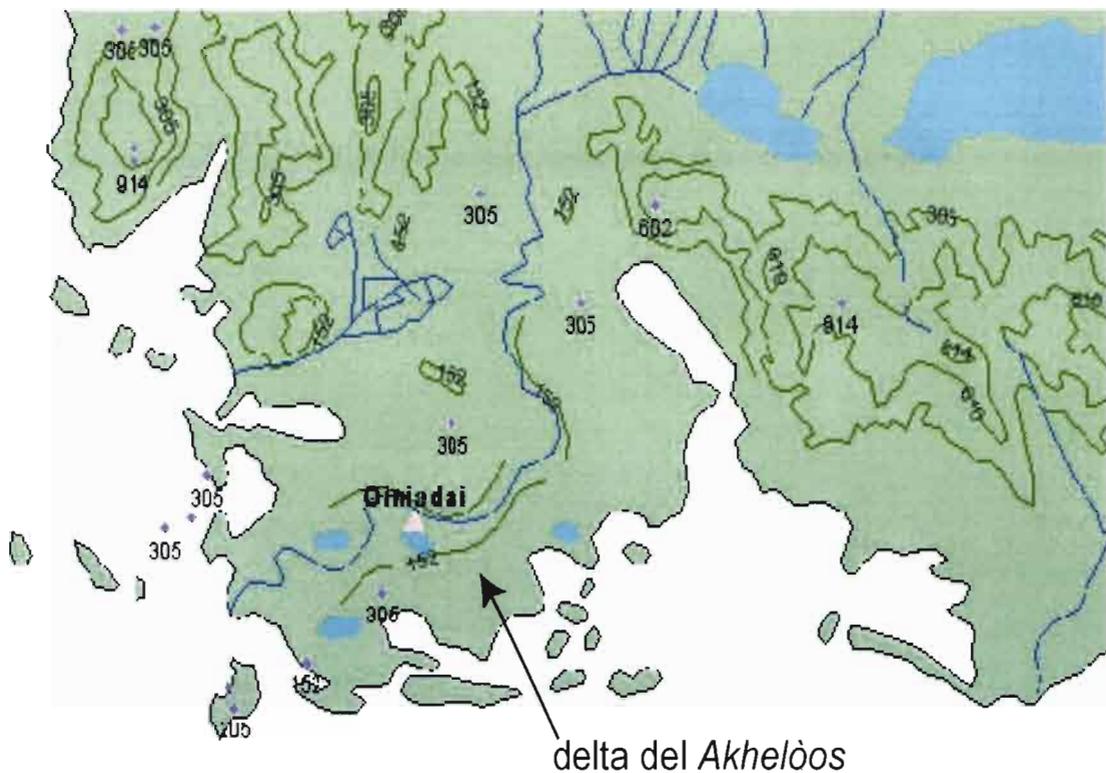
Además de ilustrar un proceso de erosión, este texto también ilustra lo de la sedimentación, puesto que *Poseidón* « esconde otra vez la gran orilla en arenas ».

Poseemos textos del siglo V antes de nuestra era que demuestran sin ambigüedad que los Griegos conocían los principios de la sedimentación :

« [Sobre el delta del Nilo:] Los Egipcios obtuvieron más tarde la mayor parte de este país que mencioné, según lo que los sacerdotes dijeron y según lo que me pareció. Pues me parecía que lo que se extiende entre las mencionadas montañas que se encuentran encima de Menfis fue antaño un golfo marino, como las planicies de Troya, Teutrania, Efeso y del Meandro, si se puede comparar cosas pequeñas y grandes. Pues de los ríos que

depositaron estas tierras, ninguno es digno de ser comparado en cuanto a tamaño con cualquiera de las bocas del Nilo, que tiene cinco. Hay también otros ríos, no tan grandes como el Nilo, que han demostrado tener grandes efectos. Podría mencionar sus nombres, pero el más importante de ellos es el *Akhelòos*, que corre a través de Acarnania y desemboca en el mar, y ya ha reunido la mitad de las islas *Ekhinades* al continente. »¹⁶

Este río *Akhelòos* era famoso por la sedimentación que producía. Pero, para introducir el texto siguiente que se refiere a él, necesito primero presentar a un personaje legendario llamado *Alkmeòn*, quien se caracteriza por haber matado a su propia madre. Porqué? Es un poco complicado, pero divertido. Las leyendas griegas cuentan que el fundador de la famosa ciudad de Tebas, *Kadmos*, se casó con *Harmonia*, hija de dioses. Como regalo de matrimonio, éstos le dan un collar maravilloso, obra de otro dios. Pasan cuatro generaciones, hasta que *Oidipous* (nuestro Édipo) suba sobre el trono después de matar a su padre (sin saberlo!). Al volverse rey de Tebas, se casa con la viuda del rey anterior, quien es obviamente su madre. Cuando se descubre la horrorosa situación, ella se suicida y él abandona el trono después de pincharse los ojos. Sus dos hijos se quedan en Tebas, pero se pelean por el trono. Mientras *Eteoklès* asume el poder, *Poluneikès* roba el famoso collar y huye hacia la ciudad rival de Argos, donde el rey *Adrastos* le da su protección. *Poluneikès* quiere



Ubicación de Oiniadai en el delta del río Akhelòos

¹⁵ Ilíada, XII, 17-33.

¹⁶ Herodoto [segunda mitad del siglo V antes de nuestra era], Historias, II, 10.

convencer a *Adrastos* para que Argos ataque a Tebas y derroque a su hermano. Pero *Adrastos* no quiere, porque su amigo *Amphiaraòs*, quien es adivino, le advierte que tal expedición sería un desastre. Sin embargo, *Poluneikès* regala el collar a *Eriphulè*, hija de *Adrastos* y esposa de *Amphiaraòs*, para que ella persuada a su padre de iniciar una guerra contra Tebas. Lo logra, y *Amphiaraòs*, al momento de partir para una guerra donde sabe que morirá, encomienda a su hijo *Alkmeòn* matar a su madre para vengar su muerte, provocada por la codicia de ella por el maravilloso collar. Las cosas ocurren como *Amphiaraòs* las ha predicho, y *Alkmeòn*, obedeciendo al último mandamiento de su padre, mata a su madre cuando recibe la noticia de su desaparición frente a las murallas de Tebas. A partir de entonces *Alkmeòn* lleva una vida errante, perseguido por el terrible fantasma de su madre, que no lo deja en paz.

Después de esta introducción, un poco peculiar en materia científica, podemos volver al tema de la sedimentación con un texto de Tucídides, un historiador griego que nos dejó un admirable relato de la guerra del Peloponeso, entre Atenas y Esparta. La primera parte se desarrolla en el delta del río *Akhelòos*, del cual da una descripción elocuente :

« [El ejército ateniense] retornó a sus barcos, decidiendo que era imposible atacar Oiniadai en invierno [...] porque el río *Akhelòos*, que corre desde las montañas del Pindo a través de Dolopia, Agráida. Anfiloquia y cruza la planicie de Acamania [...], desemboca en el mar cerca de Oiniadai, formando lagos alrededor de esta ciudad, y, por esta agua, hace que es imposible atacarla en invierno. Frente a Oiniadai se encuentran la mayoría de las islas llamadas *Ekhinades*, tan cerca de las bocas del *Akhelòos* que este gran río está constantemente depositando sedimentos, de manera que hay islas que ya han sido unidas al continente, y que se puede pensar que todas lo serán en poco tiempo. Pues la corriente es fuerte, abundante y turbia, y las islas están apretadas, de tal manera que lazos de sedimento aparecen entre ellas por lo que no se puede dispersar, puesto que las islas forman alineamientos enmarañados y desordenados y no dejan que el agua corra directamente al mar. Son desiertas y poco extensas. Se cuenta que el oráculo de *Apollón* había aconsejado a *Alkmeòn* hijo de *Amphiaraòs*, cuando llevaba una vida errante luego del asesinato de su madre, establecerse en esta tierra. *Apollón* había declarado que los terrores de *Alkmeòn* no desaparecerían hasta que descubra y se establezca en un país que, cuando mató a su madre, no estaba todavía alumbrado por el sol, y no era tierra, puesto que cualquier otra tierra estaba vetada por su mancha. Perplejo, según lo que se cuenta, terminó por darse cuenta de esta sedimentación del *Akhelòos*, y le pareció que había errado durante un tiempo suficientemente largo desde el asesinato de su madre para que un lugar habitable haya emergido de esta acumulación de sedimento.

Entonces se estableció en la región de Oiniadai y reinó sobre ella, dejando a este país el nombre de su hijo *Akarnan*. Y esa es la historia que obtuvimos sobre *Alkmeòn*. »¹⁷

Cuatrocientos años más tarde, el poeta romano Ovidio, en sus famosas *Metamorfosis*, hace decir a Pitágoras :

« ... Vi... tierras hechas a partir del mar, y conchillas marinas que yacían lejos del alta mar... De lo que había sido una campiña cultivada, el curso de las aguas hizo un valle, y por su flujo una montaña fue llevada al mar. »¹⁸

Estos versos resumen lo mejor de lo que sabían los antiguos, y muchísimos autores los citarán hasta en pleno siglo XIX. Los intelectuales de la Antigüedad sabían entonces que habían existido transgresiones marinas, y conocían los procesos de erosión y sedimentación. El desarrollo de las ciencias de la tierra estaba bien encaminado, aunque lento, pero cuando el cristianismo se impuso al Imperio Romano en el siglo IV, impuso también una visión de la historia de la tierra basada en la lectura literal de la Biblia. Al contrario de las religiones griegas y romanas, basadas sobre la observación de ritos, el cristianismo era una religión dogmática, basada en una colección de textos considerados como revelados, lo que implica una mentalidad muy distinta, orientada no hacia la búsqueda de la verdad, sino hacia una fidelidad incondicional frente a lo que *se considera* como la verdad. Conviene aclarar que el dogmatismo por supuesto no es propio del cristianismo y que se encuentra a menudo en todo tipo de enseñanzas. Quizás quepa recordar que cuando muchos manuscritos griegos llegaron a Europa Occidental en el siglo XV y fueron leídos por intelectuales, tuvieron un efecto similar a la llegada de oxígeno a un ambiente encerrado y se produjo la revolución intelectual llamada Renacimiento.

La tradición griega de investigación, sin embargo, fue continuada por los científicos musulmanes. Por ejemplo, en el siglo X, un grupo musulmán llamado "Hermanos de la Pureza" produjo en Basora, en el sur de Iraq, un texto que anticipaba por ocho siglos la idea de ciclo orogénico recién planteada en Europa occidental en el siglo XVIII. Porqué tanto retraso? Porque la reflexión geológica en Europa está trabada por lo que cuenta la Biblia¹⁹. Hasta el siglo XVII incluso, esta reflexión se queda excesivamente teórica y profundamente influenciada por la leyenda del Diluvio.

Ya he mencionado al danés Steensen como el iniciador de la estratigrafía. Su obra es continuada a principios del siglo XVIII por el suizo Johann Scheuchzer

¹⁷ Tucídides [fines del siglo V antes de nuestra era], II, 102, 1-6.

¹⁸ Ovidio [43 antes - 17 de nuestra era], *Metamorfosis*.

¹⁹ La problemática general de la libertad de reflexionar fue crudamente expresada por Byron (1788-1824) : « Los que no quieren reflexionar son santurriones, los que no pueden hacerlo son idiotas, los que no se atreven a hacerlo son esclavos. (*Those who will not reason, are bigots, those who cannot, are fools, those who dare not, are slaves.*) »

(1684-1738), quien es el pionero del estudio de los Alpes. Observa, entiende y dibuja admirablemente pliegues formados por estratos, en particular en el lago de los Cuatro-Cantones (1708; publicado en 1716-1718 por su hermano). Es él que introduce en geología el concepto de plegamiento.

En el curso del siglo XVIII, se desarrolla la idea que los fenómenos que se observan en el presente son los mismos que los que actuaron en el pasado geológico. Muchos empiezan a darse cuenta que la duración de los tiempos geológicos es enorme, pero sólo se atreven a publicarlo con palabras encubiertas – el miedo al escándalo es poderoso. Cuando en 1721 el francés Henri Gautier (1660-1737) publica su planteamiento de un ciclo erosión-sedimentación-orogénesis lo hace casi confidencialmente. Muestra que, por la medición de la turbiedad fluvial, se puede calcular el tiempo necesario para colmar una cuenca: Gautier se da cuenta que son millones de años, pero prefiere maquillar sus resultados.

Al final del siglo XVIII ya están los conceptos científicos que sirven de base a las Ciencias de la Tierra como hoy las conocemos, mientras empiezan a desaparecer las teorías basadas en la imaginación o las intervenciones divinas. La síntesis que va a marcar los espíritus científicos se debe al escocés James Hutton (1726-1797), quien termina de publicar su obra maestra *Theory of the Earth* en 1795. Hutton demuestra que los rasgos geológicos de nuestro planeta no han dejado de transformarse en el curso del tiempo. Introduce una visión original de la historia de la tierra. La erosión de los continentes produce sedimentos que rellenan lentamente el fondo de los mares y se vuelven duros por el calor interno de la tierra. Algunas rocas se funden y los magmas productos de esta fusión se introducen violentamente en las rocas superiores y las transforman parcialmente. De esta forma nace el granito, ya no roca primordial como lo sustentaba la teoría neptunista, sino intrusivo en una roca más antigua. Los estratos son brutalmente rotos y deformados de varias maneras. El conjunto de estas rocas es elevado en masa encima del nivel del mar: así nacen nuevas montañas, una nueva tierra firme.²⁰

A su vez, las aguas las erosionarán, y sus detritos se depositarán en el fondo de los mares sobre lo que queda de antiguas montañas. La observación de discordancias angulares es una prueba concreta de esto. Hutton las ha predicho, y las descubre después, entendiendo inmediatamente su significado. De esta forma, Hutton llega a plantear « una sucesión de mundos » en el curso de un tiempo sin límites, y concluye por estas palabras audaces: « El resultado de nuestra encuesta es que no hallamos

vestigios de un inicio, y tampoco perspectivas de un fin. » La negación de las creencias bíblicas es evidente.

Sin embargo, Hutton no tenía completamente razón, ya que la historia de la tierra tuvo un inicio, que fue la formación del sistema solar, y tendrá un final, por cierto remoto, pero de todas formas un final, por el enfriamiento progresivo del núcleo del planeta y, sobre todo, por el envejecimiento del sol, su expansión final y su consecuente explosión como supernova.

Los terremotos

Pasemos ahora a la historia del pensamiento en cuanto a terremotos. Obviamente tenemos que volver a Grecia. Para los Griegos, era el dios *Poseidón* quien producía los terremotos. Como lo saben, tres grandes dioses griegos son hermanos : El primero es *Zeus*, el dios supremo, quien a menudo es apodado « *Padre de los hombres y dioses* ». El segundo hermano, *Poseidón*, reina en particular sobre el mar, pero es también el dios que provoca los sismos, y es por lo tanto apodado *Ennosigaios* o *Ennosikhthôn*, es decir « *Sacudidor de la tierra o Sacudidor del suelo* », o también *Gaiokhos*, « *El que tiene la tierra en sus manos* ». El tercer hermano tiene varios nombres (*Aidôneus*, *Aidès*, *Hadès*, *Ploutôn*²¹) y reina sobre los muertos; y la *Iliada* ubica el país de los muertos por debajo de la tierra.

En el canto XX de la *Iliada* llega el momento de la gran batalla entre Griegos y Troyanos, a la cual hasta los dioses van a participar, cada uno con su manera característica. *Poseidón*, por supuesto, sacude la tierra, y lo hace tan intensamente que su hermano *Aidôneus*, quien vive y reina bajo tierra²², se asusta y protesta. Aquí está el texto; la situación tiene algo de cómico, puesto que se trata de un vecino que se está quejando de la bulla hecha por otro vecino :

« Arriba, el *Padre de los hombres y dioses* [= *Zeus*] tronó de manera terrible. Y abajo *Poseidón* sacudió la tierra infinita y las cumbres inaccesibles de las montañas. Y temblaron todos los pies del monte Ida, y sus cimas, y la ciudad de los Troyanos, y las naves de los Griegos. Bajo la tierra, *Aidôneus*, el *Señor de los muertos*, se asustó. De miedo saltó de su trono, y gritó: “¡Que *Poseidón*, el *Sacudidor del suelo*, no desgare la tierra encima de mí! ¡Que mi mansión horrenda y pútrida, repugnante aún para los dioses, no se vuelva visible a los mortales e inmortales!” »²³

Como un poco de lingüística nunca viene mal, cabe notar que , cuando la *Iliada* describe este gran

²⁰ F. Ellenberger, *Histoire de la géologie*. París. Lavoisier. 1988-1994 (2 volúmenes).

²¹ Nuestra palabra *plutón* no es otra cosa que el nombre de este dios griego, porque los plutones se emplazan dentro de la tierra. Los vocablos modernos formados sobre *plutón* (*plutonismo*, *pluónico*) se derivaron del nombre de este dios griego, como *volcán*, *vulcanismo* y *volcánico* lo fueron del nombre del dios romano del fuego, *Vulcanus*. El nombre *Ploutôn* significa « el Rico », probablemente porque los muertos nunca hacen falta, y que el número de sujetos que tiene este dios nunca deja de incrementarse.

²² En este sentido su equivalente andino sería el personaje llamado « *el Tío* », « *el Muqui* », « *el Chinchilico* », o « *el Anchancho* ».

²³ *Iliada*, XX, 56-66.

terremoto, usa una raíz verbal que va a tener mucho éxito. Bajo la forma *esseionto* ('temblaron, fueron sacudidos'), se reconoce el verbo *seið*, que significa 'agitar, sacudir fuertemente' y que los Griegos aplicaban a los terremotos. El sustantivo griego derivado de *seið* era *seismos*, que significa 'terremoto', y es ancestro del castellano *sismo*, del francés *séisme*, del inglés *seism*, del alemán *Seismus*, etc.

Saltemos al siglo II de nuestra era, para encontrar a dos autores, un griego y un romano. El griego, Pausanias, nos dejó una valiosísima descripción de Grecia, que es tan detallada como una guía turística. Cuando Pausanias en su relato llega a las ruinas de Helikè, en el norte del Peloponeso, comenta lo siguiente:

« Pero luego Griegos del lugar sacaron suplicantes del templo [de *Poseidón* en Helikè] y los mataron. La ira de *Poseidón* no tardó. En efecto, un terremoto azotó el país en seguida y destruyó por completo las construcciones, hasta volver irreconocible el propio suelo de la ciudad. Pero el dios suele anunciar los sismos más fuertes y grandes, en general por las mismas señas. Pues, antes de los sismos, durante mucho tiempo ocurren sea lluvias intensas y continuas, sea sequías. El aire, al revés de lo que requería la estación del año, se vuelve muy caliente en invierno, y en verano el disco del sol presenta, con mayor oscuridad, un color inhabitual que tira nítidamente a rojo o también ligeramente a negro. Los pozos a menudo se secan, y ráfagas de vientos azotan el país y derrumban árboles, y a veces un fuego abundante corre a través del cielo, y las distribuciones de las estrellas aparecen como nunca se han observado antes, generando un gran temor en los que las ven, y además se escuchan vientos fuertes bajo la tierra. Y el dios permite que muchas otras señas anuncien las violencias de los sismos. »²⁴

En breve, antes de un sismo, puede ocurrir todo lo que se puede imaginar. Es divertido, porque este tipo de creencias todavía existe. Me ocurrió varias veces escuchar tanto personas de poca instrucción como algunos profesores de universidad sostener que, cuando va a haber un sismo, el tiempo cambia, que se pone más caliente, o que hace más frío, que en Puno nieva, que en Arequipa «las nubes se palmean», « porque los sismos mandan ondas radio a la atmósfera », etc., y que « todo esto está comprobado ». Sin embargo, como científico racional, necesito subrayar una vez más que la ciencia desconoce fenómenos acertados que anuncien los sismos, y por lo tanto no existen métodos para predecirlos; en particular, no hay relaciones entre la ocurrencia de un sismo y eventos de índole meteorológica. Por lo tanto invito a los que afirman semejantes opiniones a que tomen consciencia de que se trata en realidad de creencias populares.

Pero el texto de Pausanias continua y, pese a que este autor no tiene mucho de científico, describe los efectos de los sismos y esboza una tipología :

« Este movimiento no se produce de una sola manera, y

los que investigaron estos fenómenos, los fundadores como sus discípulos, pudieron reconocer las siguientes características de los sismos. En los más benignos de ellos [...], al primer movimiento, dirigido hacia el suelo de las construcciones, se opone un movimiento contrario que endereza lo que había sido quebrantado. Durante este tipo de sismos, se ven pilares que se enderezan después de haber sido derrumbados casi completamente, y muros quebrantados que se vuelven a unir en su estado inicial. Vigas, que el movimiento ha desencajado, descansan de nuevo en su sitio. Igualmente, canales y otros conductos de agua tienen sus fisuras cementadas mejor que si lo hubieran estado por la mano de hombres. El segundo tipo de sismos causa la destrucción de las cosas más frágiles y derrumba en seguida todo lo que su impulso encuentra, como arietes durante un sitio. En cuanto a los sismos más destructores, se suele describirlos de la siguiente manera: [...] se dice que el sismo se mete directamente bajo las construcciones y que sacude sus cimientos de abajo arriba, como la actividad de los topos sube desde el interior de la tierra. Este simple movimiento borra las huellas que esta tierra jamás fue habitada. Dicen que fue este tipo de sismo que devastó Helikè, levantando su suelo, y que con él ocurrió, mientras era invierno, otro desastre. Pues el mar sumergió gran parte del país, y rodeó Helikè para cubrirla enteramente. Además, la ola anegó el bosque sagrado (*alsos*) de *Poseidón* al punto que sólo las cimas de los árboles quedaron a la vista. El dios había provocado el sismo y a la vez el mar se había entrado, y la masa de agua había aniquilado Helikè con todos sus habitantes. »²⁵

Para los Romanos, un dios o una diosa era responsable de los terremotos, pero confesaban honestamente que desconocían su nombre. De eso es testigo Aulus Gellius, un Romano que nos cuenta lo siguiente:

« Que no está establecido a qué dios se debe sacrificar cuando tiembla la tierra.

Qué puede ser la causa por la cual ocurren los terremotos, no sólo eso queda desconocido en la opinión y sentimiento comunes de los hombres, pero hasta las doctrinas físicas vacilan, interrogándose si provienen de la violencia de los vientos que penetran en los huecos y grietas de la tierra, o de los empujes y corrientes de agua que borbollan abajo en las oquedades, como los Griegos de antaño parecen haberlo pensado, quienes llamaron a *Neptunus* [= *Poseidón*] el *Sacudidor del suelo*, o por otra causa, o en razón de la fuerza y potencia de otro dios, y no se tiene una teoría segura sobre ello.

Por eso los antiguos Romanos, muy escrupulosos y prudentes en las obligaciones humanas [hacia los dioses] pero sobre todo para establecer las prescripciones religiosas y venerar a los dioses, cuando habían sentido que la tierra temblaba o que esto había sido anunciado, por un edicto ordenaban fiestas por este fenómeno, pero, contrariamente a la costumbre, se abstendían de fijar y decretar el nombre del dios para el cual había que celebrar la fiesta, por temor a ligar su nación por un contrato

²⁴ Pausanias, VII, 24, 6-8.

²⁵ Pausanias, VII, 24, 9-13.

religioso erróneo, pronunciando un nombre en vez de otro.

Si alguien había manchado estas fiestas, y que por lo tanto un sacrificio expiatorio era necesario, inmolaban a la víctima²⁶, [como decían:] *si deo si deae*, [es decir “sea al dios, sea a la diosa”]; y, según Marcus Varro, este uso había sido establecido por un decreto de los pontífices, porque no se sabía qué fuerza y cual de los dioses o diosas hacía temblar la tierra. »²⁷

(Un paréntesis: este texto es interesante porque nos muestra mucho de la mentalidad romana. Mientras a los Griegos les gustaba entender y especular, los Romanos se caracterizaban por su pragmatismo y su respeto por los detalles legales — en particular, siempre veían las relaciones con los dioses bajo un ángulo legal, y les daban una forma de contrato, algo como : « si tú me das lo que te pido, yo te haré un sacrificio; si tú no me das nada, tampoco yo te daré algo ».)

A principios del siglo XI, el iraní Ibnu Sina ya explica la formación de las montañas por los terremotos. Pero saltemos hasta el siglo XVIII. En 1721, Henri Gautier (1660-1737) entiende que los sismos se deben a bruscos reajustes de la corteza terrestre. Como ya lo indiqué, el siglo XVIII es una época de intensa fermentación intelectual en Europa Occidental, y especialmente en Francia. Muchos son los que reflexionan sobre prácticamente todo. En cuanto a sismos, la información en ese entonces proviene en su gran mayoría del Perú. Lo manifiesta una lista de grandes sismos establecida hacia 1840 por el francés Grange, el geólogo que acompañó al almirante Dumont d'Urville en su viaje a la Antártida. Para el siglo que precede el año 1755 – vamos a ver porqué –, todos los terremotos importantes ocurren en Lima, lo que demuestra que la capital del virreinato del Perú tenía en Europa una fama extraordinaria en cuanto a sismos :

«1678. 17 de junio: Lima es en gran parte destruida.

1682, 19 de octubre: Terremoto más violento y desastroso que el de 4 años antes.

1692: Este terremoto fue tan horroroso que entrenó la confusión de las propiedades.²⁸ Las ciudades fueron destrozadas de abajo arriba, las zonas costeras fueron inundadas por el mar. El Callao fue totalmente destrozado y las naves ancladas en el puerto fueron echadas por la violencia del mar una legua en medio de las tierras.

1748: Destrucción de Callao, Lima sufre atrocemente. »²⁹

Con razón, para Europa a mediados del siglo XVIII, la tierra de los terremotos es el Perú. Por eso, cuando en 1755 un terremoto devasta una parte de Europa, los europeos están profundamente conmocionados. Ese año, el primero de noviembre, día de Todos Santos — ! —, la capital del reino de Portugal es totalmente destrozada por un sismo de enorme magnitud, y devorada por un incendio monstruoso, mientras un fuerte maremoto azota la costa. Según los daños que se conocen, los sismólogos modernos estiman que el sismo tuvo una magnitud cercana a 9. Hay por lo menos varias decenas de miles de muertos. Europa está hondamente consternada. Voltaire está tan conmocionado que escribe un largo poema sobre el desastre de Lisboa, en el cual su fé deista no logra aceptar el espectáculo de miles de muertos inocentes. Tres años más tarde, ubica una escena de su famosa obra *Candide* durante el terremoto de Lisboa, en la cual resalta la fama que tenía Lima en cuanto a sismos:

« Apenas están pisando [Lisboa] (...) que [Candide, el filósofo Pangloss, y un marinero] sienten que la tierra tiembla bajo sus pies, el mar sube borbollando en el puerto, y rompe los barcos anclados. Torbellinos de llamas y cenizas cubren las calles y plazas; las casas se derrumban, los techos caen sobre los cimientos, y los cimientos se desvanecen; treinta mil habitantes de toda edad y de todo sexo quedan aplastados bajo ruinas. (...) “Habrà algo que ganar aquí, decía el marinero.

— Cuál puede ser la razón suficiente de este fenómeno? decía Pangloss.

— Llegó el último día del mundo! gritaba Candide.”

El marinero corre en seguida en medio de los escombros, enfrenta la muerte para hallar dinero, lo halla, lo toma, se emborracha, y (...) compra los favores de la primera mujer de buena voluntad que encuentra sobre las ruinas de casas destrozadas y en medio de moribundos y muertos. Sin embargo, Pangloss lo jalaba por la manga: “Amigo mío, le decía, eso no está bien; está faltando a la razón universal, está tomando mal su tiempo. (...)”

Unas piedras habían lastimado a Candide; estaba echado en la calle y cubierto de escombros. Decía a Pangloss: «¡Ay! Consígame un poco de vino y aceite; ¡me muero! — Este terremoto no es cosa nueva, respondió Pangloss; la ciudad de Lima sufrió los mismos temblores en América el año pasado; mismas causas, mismos efectos: por cierto hay bajo la tierra un reguero de azufre desde Lima hasta Lisboa. »³⁰

En Italia, el poeta Alfonso Varano cantará la

²⁶ La víctima animal de un sacrificio pagano se llamaba *hostia* en latín y era consumida en común por los asistentes. Este hecho explica que la palabra fue conservada por el cristianismo.

²⁷ Aulus Gellius [siglo II de nuestra era]. *Noches áticas*. II, 28.

²⁸ Es gracioso e interesante que este comentario venga primero.

²⁹ J. Grange, *Géologie, minéralogie et géographie physique du voyage (Voyage au Pôle Sud et dans l'Océanie sur les corvettes l'Astrolabe et la Zélée, sous le commandement de M. l'amiral J. Dumont d'Urville)*. 1842. Las fechas dadas por Grange son en parte erróneas.

³⁰ « A peine ont-ils mis le pied dans [Lisbonne] (...) que [Candide, le philosophe Pangloss, et un matelot] sentent la terre trembler sous leurs pas, la mer s'élève en bouillonnant dans le port, et brise les vaisseaux qui sont à l'ancre. Des tourbillons de flammes et de cendres couvrent les rues et les places publiques; les maisons s'écroulent, les toits sont renversés sur les fondements, et les fondements se dispersent; trente mille habitants de tout âge et de tout sexe sont écrasés sous des ruines.

catástrofe que transformó una hermosa ciudad en un montón de escombros, como una obra del « más sublime de los agentes », Dios, en su justo castigo a los pecados de los hombres³¹. En el sismo de Lisboa ha muerto el nieto de Racine, y un amigo suyo, el poeta Écouchard-Lebrun escribe en seguida una *Oda sobre la ruina de Lisboa*, y el año siguiente una *Oda sobre las causas físicas de los terremotos*, demostrando que todavía son los poetas quienes tratan de explicar los sismos. Lastimosamente, este poema no está disponible en el servidor de la Biblioteca Nacional de Francia, y no les puedo contar cual era la explicación, ciertamente graciosa, que daba el poeta.

Por supuesto, sabemos ahora como se producen los sismos. La teoría que los explica se conoce bajo el nombre de tectónica de placas, la cual germinó en el siglo XX a partir de la obra del gran científico alemán Alfred Wegener.

Alfred Wegener (1880-1930) nace el primero de noviembre de 1880 en Berlín, curiosamente exactamente 125 años después del gran sismo de Lisboa³². Wegener se doctora en 1904 sustentando una tesis sobre la historia y uso de las tablas alfonsinas, es decir en astronomía histórica. Wegener se dedica luego a una ciencia entonces nueva, la meteorología, pero se interesa en todas las disciplinas que permitan comprender la Tierra – vulcanismo, paleontología, magnetismo, oceanografía, glaciología, etc., lo que le da una visión amplia del planeta.

En 1906, Wegener participa en una exploración a Groenlandia, y nota que las posiciones geodésicas de algunos sitios no corresponden con medidas anteriores: Groenlandia parece haberse desplazado hacia el oeste. Wegener también se da cuenta que las costas atlánticas de Sudamérica, Africa y Europa encajan. En 1912, presenta una comunicación en la sesión anual de la Union Geológica Internacional. Propone que los continentes actuales estaban agrupados en un sólo bloque que luego se fragmentó, y que sus diferentes pedazos se desplazaron horizontalmente hasta su posición actual, la cual es también provisional. Esta idea enfrenta inmediatamente una violenta oposición por parte de los geólogos y geofísicos. En primer lugar, les parece intolerable que un meteorólogo se atreva



Retrato de Alfred Wegener

a opinar sobre geología³³. También es inconcebible para ellos que las enormes masas de los continentes puedan desplazarse, aún lentamente. Su idea es rechazada y hasta ridiculizada por casi todos los especialistas de entonces. Muy pocos geólogos van a seguir a Wegener, los dos principales siendo el suizo Émile Argand y el sudafricano Alexander Du Toit. Sin embargo, muchos biogeógrafos sostienen su idea.

En los años 1950, el estadounidense Harry Hess mapea el fondo de los océanos y descubre anomalías magnéticas que demuestran que Wegener tenía razón. Publica sus resultados en 1962, 50 años después de la primera comunicación de Wegener, y a partir de estos datos la teoría de la tectónica de placas se elabora y es formulada en 1968 por el francés Le Pichon y el estadounidense Morgan en forma independiente.

Le matelot disait (...): "Il y aura quelque chose à gagner ici.

- Quelle peut être la raison suffisante de ce phénomène? disait Pangloss.

- Voici le dernier jour du monde! s'écriait Candide."

Le matelot court incontinent au milieu des débris, affronte la mort pour trouver de l'argent, en trouve, s'en empare, s'enivre, et (...) achète les faveurs de la première fille de bonne volonté qu'il rencontre sur les ruines des maisons détruites et au milieu des mourants et des morts. Pangloss le tirait cependant par la manche: "Mon ami, lui disait-il, cela n'est pas bien, vous manquez à la raison universelle; vous prenez mal votre temps. (...)"

Quelques éclats de pierre avaient blessé Candide; il était étendu dans la rue et couvert de débris. Il disait à Pangloss: «Hélas! procure-moi un peu de vin et d'huile; je me meurs!

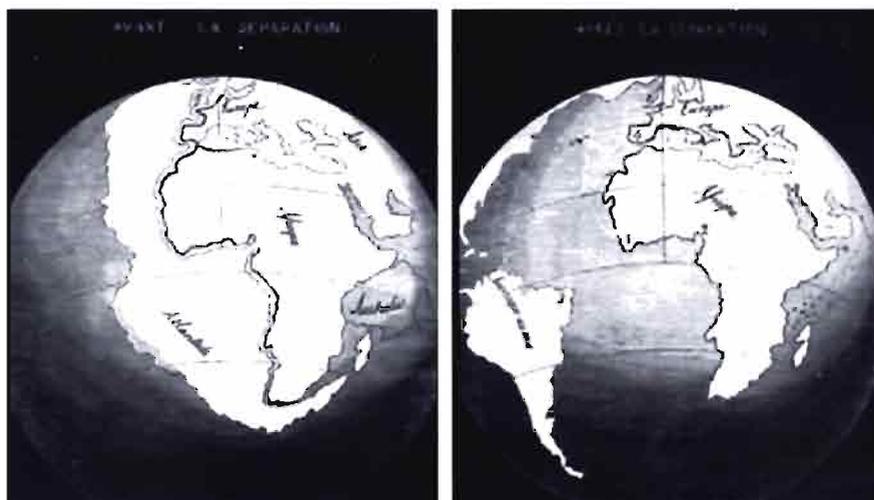
- Ce tremblement de terre n'est pas une chose nouvelle, répondit Pangloss; la ville de Lima éprouva les mêmes secousses en Amérique l'année passée; mêmes causes, mêmes effets: il y a certainement une trainée de soufre sous terre depuis Lima jusqu'à Lisbonne. » [Voltaire (1694-1778), *Candide ou l'optimisme* (1758), capítulo 5].

³¹ Este autor no se preguntó porqué el castigo no había azotado a París, donde por cierto se « pecaba » mucho más que en Lisboa. Evidentemente, su mente no analizaba los hechos de forma científica.

³² Y casi otros 125 años antes de la publicación de este volumen.

³³ Un caso un poco parecido al del alfarero Palissy frente a los doctores de la Sorbona.

La interpretación del océano Atlántico por A. Snider-Pellegrini (1858).



En realidad, Wegener no fue el primero en tener la idea que los continentes se habían separado. En 1858, el geógrafo Antonio Snider-Pellegrini también había notado que las costas atlánticas encajaban, y había publicado en París que los continentes se habían apartado. Pero era geógrafo y lo había explicado por el Diluvio, y en esa época ningún geólogo creía ya en el Diluvio. Sin embargo Snider-Pellegrini tampoco era el primero. Más de 250 años antes de él, el cartógrafo holandés Ortelius había notado la misma coincidencia de las costas atlánticas, escribiendo lo siguiente:

« En griego existió antaño la palabra *EUMELI*, *eumèlou*, traduciendo la palabra *Gadiri* de la lengua vernácula. Así lo comenta Platón en su *Critias*, o en su *Atlantis*. Si no se trata de una fábula, Gadir o Gades será la parte restante de las islas de Atlántida o América, que por lo tanto no fue sumergida (como lo comenta en su *Timeo*) sino separada de Europa y África por un terremoto y una inundación: y consecuentemente se presentará alargada hacia el Occidente. Si alguien llama esto equilibrar una fábula por otra fábula, yo lo permitiré. [Pero] los vestigios de la ruptura se presentarán si alguien, usando un atlas, considera tentivamente las costas de estas tres partes mencionadas de la tierra, que están enfrente una de otra: así los promontorios de Europa y África, y las concavidades de América. Hasta tal punto que alguien puede decir, como lo hace Estrabón en su libro II, que lo que Platón, basándose en Solón, relató acerca de la isla Atlántida no es una mentira. »³⁴

Así que, más de 300 años antes de Wegener, Ortelius ya se había dado cuenta que las costas del Atlántico se correspondían ... Tanto él como Snider-Pellegrini eran geógrafos, pero su observación y deducción habían caído en el olvido instantáneamente³⁵.

Sin embargo, Wegener fue el primero que argumentó esta idea científicamente. Para uno de sus biógrafos, el geólogo inglés Anthony Hallam, el hecho que Wegener no había sido impregnado por la doctrina geológica tradicional lo preservó de las tendencias conservadoras, y le permitió desarrollar una mente amplia, independiente y por lo tanto creativa.

El argumento principal de Wegener era que los dos bordes del Atlántico se ajustaban y que su geología se correspondía de una costa a la de enfrente, como un texto sobre una página rota por la mitad. Por extraño que parezca, esta evidencia estuvo rechazada durante más de 50 años como si fuera una simple casualidad...

No sé qué pensamientos genera en Uds. el hecho que una teoría científica que hoy en día todos consideramos como evidente haya podido esperar más de 50 años para ser aceptada por la gran mayoría de los más dignos profesores de las universidades del mundo entero, en pleno siglo XX. ¿Esta increíble ceguera por parte de una profesión cuyo oficio es supuestamente desarrollar el saber y luchar contra la ignorancia, ésta consternante obcecación, no tendrán su origen en un respeto excesivo a la tradición? Ahí se divisa una vez más el espectro

³⁴ Graeci nomen *EUMELI*, *eumèlou*. olim habuit, uernaculae linguae Gadiri appellationem referens. Ut refert Plato, in *Critia*, siue *Atlantide*. Nisi fabula sit. Gadir siue Gades pars erit reliqua Atlantidis siue Americae insulae, atque haec non tam submersa (ut idem refert in *Timeo*) quam ab Europa atque Africa terrae motu et illuione abrupta: et recta occidentem uersus elongata uidebitur. Quod si quis hoc Fabulam fabula compensare uocet. per me quidem licebit. Ostendum se rupturae uestigia. si quis harum trium dictarum terrae (adhibita geographica uniuersali tabula) partium littora, quo se mutuo aspiciunt, eminentiasque Europae nempe atque Africae cum concauitatibus Americae penitius considerauerit. Adeo ut quis posset cum Strabone 2 dicere. non esse figmentum quod Plato ex Solonis sententia. de Atlantis insula prodiderit. [Abraham Ortelius (1527-1598), *Thesaurus Geographicus*, 1596]. El mismo Ortelius da testimonio de su mentalidad científica cuando sobre uno de sus mapas cita a Cicerón: « Equus uehendi causa, arandi bos. uenandi et custodiandi canis, homo autem ortus ad mundum contemplandum (El caballo se usa para transportar, el buey para arar, el perro para cazar y custodiar, pero el hombre nace para observar el mundo). »

³⁵ La observación de Ortelius se hundió tanto en el olvido que fue redescubierta recién en 1994 (J. Romm, 1994. A new forerunner for continental drift. *Nature*, v. 367, p. 407).

paralizante del dogmatismo y una desolante carencia de creatividad intelectual. Lastimosamente este tipo de situación no es escasa, y me hace pensar en un irrespetuoso aforismo de Louis-Ferdinand Céline, un controvertido escritor francés del siglo XX, que solía decir con una ironía feroz : « En la Universidad, hay muchos frascos, pero no hay mucha mermelada. »³⁶

Con estas palabras ácidas — ¡ pero cuán lúcidas! — nuestra excursión a través de las Ciencias de la Tierra se puede cerrar. Por qué? Porque en realidad el propio d'Alembert, con quien empezamos, también había expresado una opinión parecida, sino que lo hizo con

palabras más civiles. Pero también porque ocurre que el mundo es increíblemente chico. Se acuerdan Uds. de la historia de d'Alembert? Se acuerdan que el nombre del padre de este niño ilegítimo y abandonado era Louis-Camus Destouches? Ahora bien, el irrespetuoso Louis-Ferdinand Céline usaba un seudónimo: en realidad Céline era el nombre de su abuela materna, y su verdadero nombre era ... Louis-Ferdinand Destouches.

Gracias a esta desconcertante casualidad podemos cerrar graciosamente nuestro círculo, recordando que si bien la Tierra es grande, el mundo a veces es chico. Muchas gracias por su atención.

³⁶ « A l'Université, il y a beaucoup de bocaux, mais pas beaucoup de confiture. » [Louis-Ferdinand Céline (1894-1961); citado por Fabrice Lucchini en su espectáculo de 1994 sobre este autor]