

KELVIN VERSUS DARWIN: CHOQUE DE PARADIGMAS EN LA CIENCIA DECIMONÓNICA

RAFAEL ANDRÉS ALEMAÑ BERENGUER

Dpto. Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnología Electrónica
Universidad *Miguel Hernández* (Elche, Alicante)

Resumen

Cuando ya nadie con suficiente cultura científica duda de la solidez conceptual y experimental de la biología evolutiva, no muy recordada resulta la polémica que en el siglo XIX enfrentó a los naturalistas partidarios de la evolución con un sector de los físicos, encabezados por el insigne Lord Kelvin. Éstos últimos ponían en duda la viabilidad de las ideas darwinianas basándose en la termodinámica para calcular el tiempo de existencia de la Tierra y el Sol, un tiempo muy inferior al requerido por biólogos y geólogos. Aunque la disputa se resolvió años después, todavía hoy cabe extraer interesantes consecuencias de la misma.

Abstract

Nowadays no scientific-educated person would distrust the empirical and theoretical strength of evolutionary biology, but also few people remember the discussion which evolutionists and some physicists —led by the most excellent Lord Kelvin— were engaged in through the last half of the 19th century. Kelvin put forwards many doubts on the viability of darwinian ideas appealing to thermodynamics for some calculations concerning Sun's and Earth's lifetimes, a period of time quite shorter than what was required by biologists and geologists. Despite the controversy was solved a number of years after, we should extract some interesting consequences still today about the arguments in conflict.

Palabras Clave: Termodinámica, Geología, Evolución, Siglo XIX, Kelvin, Darwin

Keywords: Thermodynamics, Geology, Evolution, 19th Century, Kelvin, Darwin

Recibido el 26 de mayo de 2009 – Aceptado el 17 de septiembre de 2009

1. INTRODUCCIÓN

Existen controversias en la historia de la ciencia que trascienden los límites de la importancia que pueda tener la cuestión debatida, para adquirir una dimensión aleccionadora sobre la visión que los propios investigadores poseen de sus disciplinas

científicas. Los modelos teóricos a través de los cuales contemplamos y describimos el mundo, en la mayoría de los casos ni resultan unívocos ni nos garantizan una concordancia automática entre todos ellos. Y sin embargo, si la naturaleza ha de ser coherente consigo misma, antes o después estas descripciones deben mostrarse compatibles entre sí. En la pugna por este ajuste mutuo se revelan las mentalidades y las convicciones de los científicos que participan en la controversia, y en no pocas ocasiones reviste tanta importancia la conclusión final como el camino empleado para llegar a ella.

Este es el caso de la discusión que enfrentó al archifamoso naturalista británico Charles Darwin y a su no menos célebre físico William Thomson (1824-1907), más tarde conocido como Lord Kelvin. El debate giraba en torno a la verosimilitud de los procesos evolutivos propuestos por Darwin a la luz de las estimaciones que sobre la edad de la Tierra y del sistema solar ofrecía la muy respetada ciencia de la termodinámica. La lentísima acumulación de pequeñas variaciones postulada por los darwinistas como principal mecanismo de cambio evolutivo, precisaba de periodos de tiempo igualmente largos —extraordinariamente largos, desde el punto de vista humano— si había de producirse la transformación de unas especies vivas en otras.

¿Pero cómo calcular la edad de la Tierra y cotejarla con otros datos geológicos o paleontológicos de modo que todas las escalas de tiempo coincidiesen ofreciendo, además, una duración suficiente para permitir la evolución de los seres vivos? A finales del siglo XIX eran dos las grandes vías de razonamiento abiertas ante los investigadores en este campo. Por una parte podía estudiarse la velocidad de fenómenos geológicos como la erosión de los perfiles orográficos o costeros, con el fin de extrapolar hacia el pasado un punto de origen para tales sucesos. Suponiendo un ritmo aproximadamente constante en estos procesos, la extrema lentitud de los mismos garantizaba a nuestro planeta una edad tan elevada como la requerida por los evolucionistas.

La segunda posibilidad de estimación radicaba en el uso de razonamientos principalmente termodinámicos aplicados a la Tierra individualmente o al sistema solar en su conjunto. Tanto el Sol como los planetas se enfrían emitiendo energía térmica a un ritmo que no es difícil de determinar. Estudiando la velocidad de enfriamiento de estos cuerpos celestes parecía relativamente sencillo calcular el tiempo necesario para llegar al estado actual.

El problema se manifestó en toda su crudeza cuando ambos caminos parecieron conducir a conclusiones divergentes. La física, encarnada en la figura de Lord Kelvin, aducía razones aparentemente imbatibles para asignar una edad a la Tierra difícilmente compatible con la lentitud de los cambios evolutivos. Frente a ella la biología, personificada por Charles Darwin (1809-1882), se aferraba a su recién nacida concepción evolucionista para subrayar —sin muchas pruebas de peso en aquellos momentos— la necesidad de una edad mucho más dilatada que la sugerida por los físicos coetáneos. El enfrentamiento estaba servido, y sus ecos se extenderían a lo largo y ancho de la comunidad científica durante casi medio siglo.

2. LA VIDA DEL SOL

En la segunda mitad del siglo XIX bien poco era lo que se sabía con certeza sobre el origen astronómico de nuestro planeta, más allá de la hipótesis de Laplace (expuesta en *Exposition du système du monde*, 1797), sobre la nebulosa primitiva a partir de la cual se formó el sistema solar, planteada en el siglo anterior. El célebre científico francés, de manera casi simultánea con Kant y a falta de una mejor conjetura, había supuesto que en un pasado indefinido un cuerpo de gran masa pasó tan cerca del Sol como para arrancarle por atracción gravitatoria algunos fragmentos que quedaron en órbita en torno a nuestra estrella. Con el tiempo estos fragmentos se enfriaron hasta dar lugar a los planetas hoy conocidos, entre ellos la Tierra.

El siguiente personaje de renombre en ocuparse de estos asuntos no fue un francés sino un británico, el escocés William Thomson, quien además disponía de recursos teóricos más amplios que los de Laplace. Nacido en Irlanda del Norte, a los ocho años se trasladó a Escocia —donde vivió y murió— cuando su padre James Thomson fue nombrado profesor de matemáticas en la universidad de Glasgow. William ingresó en la universidad de Cambridge a los dieciséis años, y antes de graduarse ya había publicado una docena de artículos en diversas revistas matemáticas. Pronto adquirió fama de cerebro portentoso, circunstancia confirmada con la aparición en 1848 del artículo en el que venía a establecer la escala absoluta de temperaturas que más tarde llevaría su nombre. Sus trabajos desarrollados en 1848 y 1852 le colocan entre los descubridores del segundo principio de la termodinámica de la termodinámica: empleando expresiones como «la disipación de la energía utilizable», brinda una idea de la entropía acaso más asequible que la de Clausius.

Thomson también se reveló como un investigador implicado en los problemas de la revolución industrial. Participó en el tendido del primer cable telegráfico transatlántico que en 1866 unió Irlanda con Terranova, y sus estudios termodinámicos contribuyeron en no pequeña medida a la invención de la máquina de vapor. Estos trabajos y otros muchos proyectos de utilidad industrial procuraron a Thomson una posición social acomodada, que unida a sus muchos éxitos intelectuales le promovió en 1892 a la condición nobiliaria con el título de primer barón de Kelvin. Esta denominación se debía al nombre del río Kelvin, que discurría plácidamente junto a la universidad escocesa en la que Thomson impartía sus lecciones. Y aunque en la época de los debates sobre la antigüedad de la Tierra y sus repercusiones sobre la evolución biológica no había recibido aún su título nobiliario, es frecuente referirse a Thomson simplemente como Kelvin.

Su prominencia en temas termodinámicos no podía dejar de involucrarle en un asunto tan importante y profundo como la edad del Sol. De la respuesta ofrecida dependería la visión que la ciencia decimonónica tendría del resto de procesos físicos, posibles o no según su duración comparada con la vida de nuestra estrella. Hoy sabemos que el Sol —compuesto en un 70 % de hidrógeno y un 28 % de helio—

posee una masa de en torno a $2 \cdot 10^{30}$ kg, un diámetro aproximado de $1,4 \cdot 10^6$ km, y con unos cinco mil millones de años se encuentra en la mitad de su vida. Sin embargo, la radiactividad, descubierta por Becquerel en 1896 (cuando Kelvin contaba 72 años), era en sus comienzos poco menos que una curiosidad científica, por no hablar del concepto de fusión nuclear, casi un siglo posterior.

Así pues, ¿de dónde surgía la potencia emitida por el Sol, estimada en $4 \cdot 10^{26}$ watts? Kelvin sabía, por sus conocimientos termodinámicos, que la emisión de energía por el Sol no podía ser eterna¹, de modo que solo cabían tres posibilidades: (a) el sol consumía continuamente un combustible interno que eventualmente llegaría a agotarse; (b) existía una fuente externa que lo mantenía activo aportando energía de forma continua; o (c) partiendo de un estado inicial de alta temperatura, nuestra estrella se iba enfriando poco a poco con el transcurso del tiempo.

Nadie conocía entonces —tampoco ahora— un combustible capaz de generar mediante reacciones químicas la energía irradiada por el Sol. En el mejor de los casos, con un procedimiento así, nuestra estrella no hubiera brillado más allá de unos cuantos miles de años. Tampoco parecía convincente el recurso a los meteoritos que tal vez cayesen contra el Sol, parte de cuya energía mecánica² se emplearía en mantener nuestra estrella ardiendo e irradiando. Kelvin estimó que el mínimo anual necesario era de 1/47 veces la masa de la Tierra, pero el desplazamiento de semejante cantidad de materia alteraría de forma detectable el movimiento orbital de los cuerpos más cercanos al Sol, como el planeta Mercurio. Se conocía, en efecto, la existencia de una anomalía inexplicada en la órbita de Mercurio³, si bien resultaba insuficiente para justificar el proceso imaginado por Kelvin [THOMSON, 1862, p. 289]:

The quantity of matter annually falling in must, on that supposition, have amounted to 1/47 of the earth's mass, or to 1/15,000,000 of the sun's; and therefore it would be necessary to suppose the «Zodiacal Light⁴» to amount to at least 1/5,000 of the sun's mass, to account in the same way for a future supply of 3,000 years' sun-heat. When these conclusions were first published it was pointed out that «disturbances in the motions of visible planets» should be looked for, as affording us means for estimating the possible amount of matter in the zodiacal light; and it was conjectured that it could not be nearly enough to give a supply of 30,000 years' heat at the present rate.(...).

Concediendo a la hipótesis meteorítica la importancia que merecía, no bastaba por sí sola para saldar la cuestión, y en este punto entró en juego la tercera posibilidad. Kelvin supuso que el Sol, y todas las estrellas similares, se habían formado por contracción gravitatoria de una gigantesca nube de gas⁵. Conforme las moléculas del gas caen unas contra otras por la atracción gravitatoria que el conjunto ejerce sobre cada una de ellas, la energía potencial gravitatoria se convertiría en energía cinética, la cual, a su vez, se manifestaría finalmente como calor irradiado hacia el medio externo. Según este modelo, todo el calor del Sol se acumuló en el momento de su

formación inicial para después liberarse lentamente con el paso del tiempo. Así se llega a concluir que el Sol tiene unos 30 millones de años de edad, lo que constituyó un dato generalmente aceptado hasta comienzos del siglo XX [DALRYMPLE, 2004, p. 29]. Kelvin reconoció la posibilidad de que sus cálculos contuviesen errores que ampliaran la escala temporal en un factor de cien, de modo que la cota superior alcanzaba un valor de 300 millones de años para la edad de la Tierra.

3. EL CONFLICTO CON BIÓLOGOS Y GEÓLOGOS

Aun cuando duraciones que se cuentan por decenas de millones de años pueden parecernos extraordinariamente grandes comparadas con la escala de la vida humana, son bastante poco para muchos procesos contemplados por la geología. Los fenómenos de erosión y sedimentación, por ejemplo, ya advertían a los geólogos del siglo XIX que nuestro planeta debiera haber existido durante cientos de millones de años si no más. En relación con ello, el naturalista francés Georges Cuvier (1769-1832) propuso la hipótesis -denominada «catastrofismo»- de que los fósiles de animales marinos y terrestres hallados en estratos rocosos superpuestos, podrían ser explicados atribuyéndolos a los restos de criaturas que habían sucumbido durante sucesivos desastres naturales. Por el contrario, en las islas Británicas surgió la doctrina opuesta, encabezada por el geólogo escocés James Hutton (1726-1797). Este estudioso se distanció de los catastrofistas sosteniendo que los cambios geológicos no se producían de manera súbita y violenta, sino lenta y continuamente bajo la acción de fuerzas naturales que operaban a lo largo de dilatadísimos periodos de tiempo, como exponía en su libro *Theory of the Earth* (1785). Los adversarios de Hutton no comprendieron que ese era el punto crucial de sus teorías y las calificaron de «vulcanistas» por el simple hecho de que citaba la participación de los volcanes y el calor interno de la Tierra en las transformaciones geológicas. A su vez, los catastrofistas radicales recibieron el apodo de «neptunistas» por su insistencia en la formación de sedimentos durante los periodos de inundaciones.

Las obra del geólogo británico Charles de Lyell, recogida en su libro *Principios de Geología* (1830) bajo el nombre popular de «uniformismo», saldaron el debate a favor de Hutton. La principal diferencia estriba en que Lyell supo sistematizarlas en un magistral cuerpo teórico y enunciarlas arropadas por un irresistible caudal de pruebas. A su juicio, los mismos procesos que hoy modelan el paisaje con exasperante lentitud han obrado de igual forma en el lejanísimo pasado de nuestro mundo. Como se ha mencionado antes, la elevación y hundimiento de terrenos, la erosión o la acumulación de sedimentos —por citar tan solo algunos de los fenómenos implicados— resultaban demasiado lentos para configurar la superficie terrestre tal como es en realidad sin el transcurso de muchos millones de años. Lyell, no obstante, tampoco se arriesgó a ofrecer una estimación de la edad de la Tierra, lo que no significaba que le atribuyese una antigüedad infinita [LEWIS, 2000, p. 25].

Es un hecho que cuando se hizo a la mar en el H.M.S. *Beagle*, Darwin llevaba con él un ejemplar de la obra principal de Lyell sobre geología. Su lectura le convenció de que los periodos de tiempo necesarios para multitud de procesos naturales que afectaban tanto a los seres vivos como a los inanimados, había de ser enormemente prologados. El orden de magnitud se encontraba entre los centenares de millones de años, o incluso quizás en los miles de millones. Era un auténtico problema, pues ninguna teoría astronómica razonable asignaba la Tierra una edad superior a la del Sol. Así que Kelvin —también atraído por las profundas repercusiones del problema— se decidió a abordar la cuestión de la edad de la Tierra mediante argumentos termodinámicos. Su actitud de partida era abiertamente contraria al uniformismo de Lyell [THOMSON, 1864, p. 167]:

For eighteen years it has pressed on my mind, that essential principles of Thermo-dynamics have been overlooked by those geologists who uncompromisingly oppose all paroxysmal hypotheses, and maintain not only that we have examples now before us, on the earth, of all the different actions by which its crust has been modified in geological history, but that these actions have never, or have not on the whole, been more violent in past time than they are at present.

Comenzó suponiendo que el planeta se componía en su mayor parte roca fundida, donde sólo la corteza externa permanece solidificada, modelo que le permitía explicar la expulsión de lava por los volcanes. Es más, puede comprobarse con facilidad que cuanto más se desciende hacia el interior terrestre, mayor es el aumento de temperatura, hecho que sugiere poderosamente el enfriamiento del planeta por un flujo de energía térmica desde el interior hacia el exterior⁶. El hundimiento del material menos caliente y por ello más denso, crearía corrientes de convección que mantendrían el planeta en equilibrio térmico hasta que comenzase el enfriamiento del núcleo terrestre [LINDLEY, 2004].

Para completar sus cálculos, Kelvin necesitaba conocer la temperatura de la zona central de nuestro planeta, la variación de la temperatura (gradiente) en función de la profundidad bajo la superficie terrestre, así como la conductividad térmica de las rocas que —en su opinión— constituían la mayor parte de la masa terrestre. Gracias a las mediciones de temperatura realizadas en minas a diversas profundidades, Kelvin estimó el gradiente de temperatura en 1° Fahrenheit por cada cincuenta pies de profundidad (unos quince metros), suponiendo que en su origen la Tierra debió estar a unos 6.500 °C, momento a partir del cual la irradiación de calor fue enfriándola de forma continua y progresiva.

La conductividad térmica de las rocas fue medida por el propio Kelvin, y la temperatura del núcleo se estimó considerando que su estado era sólido y por ello su temperatura no podía exceder el punto de fusión del material rocoso. Sobre esta base obtuvo un resultado semejante al de la edad del Sol, para consternación general de geólogos y también de biólogos, situado alrededor de los cien millones de

años [DALRYMPLE, 2004, p. 26]. Nuevamente las incertidumbres asociadas con los datos iniciales obligaron a Kelvin a admitir un intervalo que iba desde los 20 a los 400 millones de años, pero no más [THOMSON, 1866].

La relevancia de estos datos en el campo de la biología se hizo patente a través de la obra de los primeros evolucionistas, con Darwin a la cabeza. Junto con el trabajo de su compatriota Alfred Russell Wallace (1823-1913), en 1859 vio la luz la obra magna de Charles Darwin, *El Origen de las Especies*, donde se atribuía a la selección natural el papel preponderante en la explicación del mecanismo que propiciaba la transformación de unas especies vivas en otras. Pero el ritmo de la selección natural resultaba tan lento y discreto que precisaba de periodos de tiempo extremadamente dilatados para ejercer algún efecto ponderable. De hecho, Darwin había estimado en el *Origen* que la edad de nuestro mundo habría de situarse, como mínimo, en unos 300 millones de años. Por ello, la cota superior del cálculo realizado por Kelvin para la edad de la Tierra, se convertía en el límite inferior de tiempo que estaban dispuestos a admitir los biólogos evolucionistas. La colisión era inminente entre los dos gigantes intelectuales de la ciencia en la Inglaterra victoriana.

Tanta era la importancia que para Darwin revestía este asunto, que llegó a efectuar por sí mismo estudios geológicos de algunas regiones costeras inglesas con el propósito de reforzar sus opiniones. Por ejemplo, en la primera edición del *Origen* incluía una estimación del tiempo necesario para la formación del valle de Weald en el condado de Kent, al sudeste de Inglaterra, por la erosión de una estructura geológica de elevación llamada *anticlinal*. Darwin, como se ha señalado, juzgó que tan solo el proceso de erosión habría requerido varios cientos de millones de años [HALLAM, 1989, p. 106].

Sin embargo, un hombre inteligente como Darwin era perfectamente consciente de la fuerza que asistía a los argumentos de Kelvin, en aquel momento difícilmente rebatibles desde todo punto de vista. La rotundidad de unos resultados obtenidos de cálculos en apariencia impecables, obligaron al naturalista inglés a retirar de las sucesivas ediciones del *Origen* cualquier referencia a las escalas temporales involucradas en el proceso evolutivo. En privado Darwin hablaba de Kelvin como de ese «odio-espectro» [BADASH, 1989, p. 90], y no era para menos; mientras no se resolviese el problema de la cronología terrestre y solar, la teoría de la evolución quedaba por completo en entredicho.

Kelvin, por su parte, no podía menos que abordar la cuestión desde el punto de vista engendrado por su propio campo profesional, como era la termodinámica física [THOMSON, 1866, pp. 512-513]. Las conclusiones de Darwin debieron parecerle absurdas, ya que la cifra de 300 millones de años se refería únicamente al proceso de erosión. Si añadimos además el tiempo necesario para depositar los sedimentos que luego se han de erosionar, y contando con el asentamiento del valle de Weald sobre la cima de su columna geológica, los números se disparan hasta el rango de miles de millones de años. La respuesta de Kelvin se concentró en las incer-

tidumbres entonces inherentes a los procedimientos de medición de las velocidades típicas de los fenómenos geológicos. Probablemente inundaciones, terremotos y otros cataclismos, digamos, habían alterado la velocidad de sedimentación y de erosión en los estratos estudiados [THOMSON, 1862, p. 290]:

What then are we to think of such geological estimates as 300,000,000 years for the «denudation of the Weald»? Whether is it more probable that the physical conditions of the sun's matter differ 1,000 times more than dynamics compel us to suppose they differ from those of matter in our laboratories; or that a stormy sea, with possibly Channel tides of extreme violence, should encroach on a chalk cliff 1,000 times more rapidly than Mr. Darwin's estimate of one inch per century?.

La brevedad de cronología proporcionada por Kelvin impedía justificar los procesos geológicos observados y, desde luego, imposibilitaba que la evolución diese cuenta de la diversidad de la vida. Pese a ello, la mayoría de los naturalistas se sentían demasiado intimidados por la reputación científica de Kelvin para criticar abiertamente su postura, especialmente por cuanto carecían de argumentos sólidos que oponerle [LEWIS, 2000, p. 35]. La física decimonónica, provista de un imponente blindaje matemático, no podía encontrar adversarios de envergadura comparable en la biología o la geología de su época. Los razonamientos de Kelvin poseían ese aroma de infalibilidad con que la matemática arropa todo argumento así formalizado. Una inexpugnable combinación de medidas repetibles, principios físicos, leyes naturales y elegantes procedimientos cuantitativos se alzaba frente a los naturalistas que pretendiesen disputar con él. Y de ahí el tono con que Kelvin se manifestaba, empleando unas palabras no exentas de ciertos ecos entre ominosos y apocalípticos [THOMSON, 1862, p. 293]:

It seems, therefore, on the whole most probable that the sun has not illuminated the earth for 100,000,000 years, and almost certain that he has not done so for 500,000,000 years. As for the future, we may say, with equal certainty, that inhabitants of the earth can not continue to enjoy the light and heat essential to their life for many million years longer unless sources now unknown to us are prepared in the great storehouse of creation.

Merece la pena señalar al respecto de la última frase de Kelvin («...unless sources now unknown to us are prepared in the great storehouse of creation») que eso era exactamente lo que sucedía, y así se saldó la disputa. No obstante, todo parece indicar que en el momento de emitir esa opinión, semejante posibilidad no pasaba por la mente del físico británico más que como un mero recurso retórico.

4. LOS CRÍTICOS GANAN TERRENO

La contienda resultaba francamente desequilibrada, puesto que la insistencia de Kelvin sobre la incertidumbre de los datos geológicos, junto con todo las circuns-

tancias ya comentadas, le proporcionaron una abrumadora fuerza persuasiva. El vigoroso temperamento del físico británico y su vehemencia expresiva, unida a la rotundidad de sus afirmaciones, provocaron una curiosa reacción entre quienes debía debatir con él en defensa de la geología uniformista y la biología evolutiva. En términos prácticos sucedió que la mayoría de los científicos buscaron conciliar sus puntos de vista con los del físico británico, en lugar de contraponerlos con él. Así ocurrió con Archibald Geikie, James Croll, Samuel Haughton, Peter Guthrie Tait, Thomas Mellard Reade, Clarence King, John Joly e incluso el mismo Charles Lyell [HALLAM, 1989, pp. 112-119].

La reacción de los críticos tardó en materializarse, pero cuando lo hizo alentó a su vez un creciente dogmatismo en las afirmaciones de Kelvin. Thomas Henry Huxley -el «bulldog de Darwin»- demostró de nuevo una gran habilidad dialéctica al concentrar sus ataques sobre la fiabilidad de las hipótesis básicas empleadas por Kelvin. Insertar datos equivocados en unas ecuaciones correctas acarrearán resultados igualmente erróneos, con independencia de cuán elegantes sean los métodos matemáticos utilizados. Por ejemplo, Osmond Fisher, uno de los primeros especialistas en geofísica, cuestionó la suposición de un núcleo sólido en el interior de nuestro planeta. Si en realidad el núcleo no fuese rígido sino plástico, las corrientes de convección producidas en tales condiciones desbaratarían por su base todo el modelo de Kelvin.

Geikie y Croll dejaron de contemporizar y declararon que debía haber algún error en los razonamientos de Kelvin, si bien admitieron desconocer dónde [HALLAM, 1989, p. 121]. Estos dos investigadores reprobaron abiertamente la arrogancia de su oponente, que se refugiaba en su categoría de físico matemático para situarse por encima de cualquier crítica, una acusación a la que se unieron Huxley y Fisher. John Perry, un físico matemático que había sido asistente del propio Kelvin, manifestó su convicción de que el manto terrestre poseía en parte las características de un fluido. Con ello la transferencia de calor se daría menos por conducción —la hipótesis básica de Kelvin— que por convección.

Las réplicas mencionadas no hicieron mella alguna en la excesiva confianza que mostraba Kelvin acerca de sus propios puntos de vista [THOMSON, 1868, pp. 1-28; 1869, pp. 225-240; 1879, pp. 38-49]. Nuevas medidas de los puntos de fusión de las rocas sólidas reforzaron sus convicciones previas, hasta hacerle abandonar los últimos vestigios de prudencia que aún asomaban en sus pronunciamientos públicos. A su juicio, la edad de la Tierra debía ser, con un escaso margen de error, de unos 20 millones de años. Geikie, que había tratado de acomodar el transcurso de los procesos geológicos en un periodo de 100 millones de años (la cota superior de la edad terrestre inicialmente sugerida por Kelvin), ahora respondió airadamente ante la absoluta imposibilidad de encajar los datos de la geología en semejante marco temporal. En consecuencia, un número creciente de geólogos proclamaron la independencia de su disciplina de las autocráticas prescripciones dictadas por físicos matemáticos como Kelvin o Tait.

Uno de los primeros geólogos norteamericanos distinguido geólogo, y especialista en glaciares, T. C. Chamberlin, se unió a la controversia negándose a identificar el estado inicial de la Tierra con una esfera incandescente. ¿Por qué no pensar —aducía Chamberlin— que nuestro planeta se formó por una lenta acumulación de material meteorítico? Es más, tampoco había razón para obligarnos a admitir el modelo de disipación térmica usado por Kelvin. Tal vez la estructura interna de los átomos —entonces desconocida— contuviese grandes cantidades de energía potencial no contabilizadas todavía. De un modo u otro, había motivos suficientes para dudar de las premisas fundamentales esgrimidas por Kelvin, por lo cual frases a menudo utilizadas por el físico británico, como «verdad cierta» o «ninguna otra alternativa posible», se hallaban completamente fuera de lugar [DALRYMPLE, 2004, p. 36].

La conjetura de Chamberlin sobre la energía posiblemente almacenada en la estructura interna de los átomos, resultó profética en relación con el fenómeno de la radiactividad. Una vez se reveló la relativa abundancia de isótopos radiactivos en ciertas clases de rocas, junto con la tremenda cantidad de energía liberada durante su desintegración, las bases del modelo térmico de Kelvin para la Tierra se resquebrajaron sin remedio [DALRYMPLE, 2004, p. 37; LEWIS, 2000, pp. 47-48]. La presunción de una Tierra sólida que sólo transfiere calor por conducción, también se demostró radicalmente falsa. El manto se halla en un estado semifluido, y la convección es el proceso fundamental de transferencia térmica en el interior de nuestro mundo.

Kelvin era un hombre difícil de convencer, y no debe sorprendernos que inicialmente rechazara la posibilidad de que las desintegraciones radiactivas emitiesen una cantidad tan significativa de energía como para modificar sus opiniones [BURCHFIELD, 1975, p. 281]. Su actitud a este respecto siempre fue confusa y ambivalente; si bien es cierto que durante el congreso anual de la *British Association* de 1904 reconoció la importancia térmica de la radiactividad, dos años después quedó claro en el curso de un debate que realmente nunca había acabado de asumir la decisiva influencia de los procesos radiactivos en el cálculo de la edad de la Tierra [LEWIS, 2000, pp. 47-48]. Por una parte, confesó en privado que el descubrimiento de la radiactividad había vuelto impracticables muchos de sus argumentos, y por otra evitó siempre publicar una retractación de sus opiniones tan arrogantemente sostenidas antaño [HALLAM, 1989, p. 124]. Tal vez debería añadirse en descargo de Kelvin que un hombre de 70 años, al principio del s. XX, raramente solía modificar sus opiniones de forma radical.

Hoy sabemos que el modelo de Kelvin se fundaba sobre suposiciones fatalmente equivocadas, esto es: el calor terrestre proviene exclusivamente de la época de su formación, la Tierra es completamente sólida, uniformemente caliente en su interior y compuesta toda ella del mismo material interno. Para infortunio del físico británico, ninguna de estas hipótesis coincide con la realidad. Cierto es que por sí sola la radiactividad no justifica completamente el calor interno de la Tierra, pero sí basta

para rebatir el modelo de Kelvin y sus conclusiones sobre la antigüedad de nuestro planeta. De hecho, con independencia de los fenómenos radiactivos, la distribución volumétrica de las temperaturas en la Tierra, su generación y su disipación, son asuntos considerablemente complejos cuya explicación no cabe atribuir a un único factor [DALRYMPLE, 2004, p. 37].

5. CONCLUSIONES DE UNA DISPUTA HISTÓRICA

De toda controversia pueden extraerse enseñanzas de mucho más alcance que la mera constatación sobre quién salió triunfador en la pugna. La disputa que nos ocupa sí puede decirse que se saldó con el triunfo de uno de los dos bandos; la Tierra tiene una antigüedad de unos 4.500 y 5.000 (con una incertidumbre menor del 1% [DALRYMPLE, 1991]), muy superior al intervalo de entre 20 y 400 millones estipulado por Kelvin. La geología y la biología evolutiva se vieron reivindicadas, las expectativas de Darwin se confirmaron, y las diversas ciencias de la naturaleza volvieron a marchar en armonía. Ahora podríamos reprobar la altanería del físico británico, alabar a sus oponentes y finalizar ahí nuestras consideraciones. Pero eso también sería, sino un error, sí al menos un análisis precipitado y superficial de una cuestión con múltiples e interesantes facetas.

Situándonos en el contexto histórico de la discusión, en términos puramente científicos, no cabe duda de que a favor de Kelvin se encontraban los mejores argumentos. La termodinámica constituía —y todavía lo hace— uno de los pilares fundamentales de la física como ciencia del mundo natural, y eran consideraciones termodinámicas las que respaldaban la idea de una Tierra «joven». La conductividad térmica de las rocas era una magnitud física perfectamente medible, y los estudios sobre la velocidad de enfriamiento de los sólidos podían remontarse hasta el propio Newton. Todo ello componía un cuadro difícilmente rebatible por quienes se mostraban favorables a la posibilidad de una Tierra «vieja», con miles de millones de años de antigüedad.

Otra cosa es que un cierto exceso en la consciencia de su propia valía, o la prepotencia exhibida en el tono dialéctico, irritasen a sus contrincantes. Sin embargo, ninguna censura moral sobre la actitud de Kelvin podía en sí misma desmerecer la solidez de sus razonamientos. Por ello, contextualmente hablando, fue Kelvin quien tuvo razón al exigir un asentimiento general para sus conclusiones mientras no se probaran erróneas. La ciencia avanza —un tanto a tumbos, cierto es— construyendo modelos parciales, provisionales y siempre mejorables de la naturaleza. Y es ese carácter provisional el que retrospectivamente confiere legitimidad a las afirmaciones de Kelvin, no así a la inflexibilidad con que las exponía.

¿Qué decir, pues, de Darwin? El peso de su prestigio actual en biología iguala cuando menos al de Kelvin en la física, y resultaría muy fácil unirse al coro de quienes aplauden sin reservas al vencedor. Porque fue Darwin quien tuvo razón al final

con su adjudicación de una edad muy elevada para nuestro planeta, a la vez que estuvo justificado también —aunque parezca paradójico— en la defensa de sus puntos de vista frente a Kelvin en la misma época de la controversia. Existían datos geológicos tan diversos y abundantes militando contra las afirmaciones de Kelvin, que hubiese sido una temeridad despreciarlos sin más, aun a pesar del rigor y la solidez de quienes los cuestionaba. Además —como poco después quedó patente— era muy posible que la existencia de insospechados procesos físicos alterase las conclusiones esgrimidas por Kelvin y sus seguidores.

Con todo y ello, tal vez la conclusión que más nos debería hacer reflexionar es el hecho de que la polémica entre biólogos y geólogos por un lado frente los físicos termodinámicos por otro, se mantuvo durante casi medio siglo sin que ninguna de los dos bandos dejase por ello de avanzar en sus propias líneas de investigación con independencia de las opiniones del contrario. Fueron muchos los años en los que se dio un auténtico conflicto de paradigmas que en absoluto paralizó a los naturalistas, quienes —aparentemente— llevaban la peor parte en esta polémica.

Epistemológicamente es verdad que el conjunto de ciencia debe constituirse como un cuerpo de conocimientos coherentes y armoniosamente engarzados. Pero no es menos cierto que históricamente las colisiones frontales entre paradigmas se dan con notable frecuencia sin que ello inquiete a los representantes de las escuelas en conflicto. Y esto es así porque la ciencia, como un organismo vivo, no desarrolla todas sus partes a un mismo ritmo; más bien se progresa como y cuando se puede en la confianza de ulteriores indagaciones resolverán las posibles incongruencias con otros campos de investigación. No es ese el cuadro que ofrece la mayoría de los manuales sobre el método científico, pero sí es la imagen que más se aproxima a la realidad. Y la experiencia histórica nos enseña que no nos ha ido tan mal con ella.

NOTAS

1. Kelvin sólo tuvo en cuenta la energía radiada dentro del espectro electromagnético visible, cuando la cifra de $4 \cdot 10^{26}$ watts incluye también la radiación no visible. En la juventud de Kelvin la parte ultravioleta e infrarroja del espectro eran muy poco conocidas, lo que explica que las ignorase en sus razonamientos. De haber considerado todo tipo de radiación, obviamente el tiempo de vida estimado hubiese sido menor.
2. En aquellos años era un tema candente la conversión entre distintas formas de energía, como la mecánica y la térmica. Poco tiempo atrás Joule había establecido la equivalencia mecánica entre trabajo y calor (1843). En su memorable experimento, el descenso de un peso movía una rueda de palas sumergida en un líquido. El aumento de la temperatura aumentaba según cabía esperar de la transformación de la energía mecánica (giro de la rueda) en calor absorbido por el líquido. Véase HARMAN [1990, pp. 27-92].
3. La famosa «precesión del perihelio de Mercurio», sería explicada definitivamente a partir de 1915 con una nueva teoría gravitatoria, la Relatividad General de Einstein.
4. La «luz zodiacal» es una luz tenue y blanquecina que a veces se observa un poco por encima del horizonte antes del amanecer o después del ocaso, en los puntos de puesta o salida del Sol, debida a la difusión de la luz solar por el polvo interplanetario. Se llama zodiacal porque el fenómeno se manifiesta a lo largo de la franja del zodiaco, o eclíptica.

5. Aunque ese no es mecanismo por el cual se genera el calor y la radiación estelar, ciertamente se acepta en la actualidad que el nacimiento de una estrella viene precedido por una fase denominada «contracción de Kelvin-Helmholtz» (en recuerdo del científico alemán Herman von Helmholtz, quien propuso esa misma idea independientemente del su colega británico).
6. Ya Descartes y Leibniz habían especulado con la posibilidad de que la Tierra iniciase su existencia como una esfera de material incandescente [HALLAM, 1989, p. 110]

BIBLIOGRAFÍA

- BADASH, L. (1989) «The Age of the Earth Debate». *Scientific American*, 261(2), 78-92.
- BURCHFIELD, J.D. (1975) *Lord Kelvin and the age of the Earth*. New York, Science History Publications.
- DALRYMPLE, G.B. (1991) *The Age of the Earth*. Stanford (California), Stanford University Press.
- DALRYMPLE, G.B. (2004) *Ancient Earth, ancient skies: The age of the Earth and its cosmic surroundings*. Stanford (California), Stanford University Press.
- HALLAM, A. (1989) *Great geological controversies*. New York, Oxford University Press.
- HARMAN, P.M. (1990) *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*. Madrid, Alianza Editorial.
- LEWIS, Ch. (2000) *The dating game: One man's Search for the age of the Earth*. Cambridge (U.K.), Cambridge University Press.
- LINDLEY, D. (2004) *Degrees Kelvin*. Arlington (Virginia – U.S.A.), Joseph Henry Press.
- THOMSON (Lord Kelvin), W. (1862) «On the Age of the Sun's Heat». *Macmillan's Magazine*, 5, 288-293.
- THOMSON (Lord Kelvin), W. (1864) «On the Secular Cooling of the Earth». *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 13, 167-169.
- THOMSON (Lord Kelvin), W. (1866) «The «Doctrine of Uniformity» in Geology Briefly Refuted». *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 5, 512-513.
- THOMSON (Lord Kelvin), W. (1868) «On Geological Time». *Transactions of the Geological Society of Glasgow*, 3(1), 1-28.
- THOMSON (Lord Kelvin), W. (1869) «On Geological Dynamics». *Transactions of the Geological Society of Glasgow*, 3(2), 215-240.
- THOMSON (Lord Kelvin), W. (1879) «The Internal Condition of the Earth —as to Temperature, Fluidity, and Rigidity». *Transactions of the Geological Society of Glasgow*, 6(1), 38-49.

