

BOOK REVIEWS: El Gran Diseño y los Ciclos del Tiempo

EDVCATIO PHYSICORVM



Rafael Andrés Alemañ Berenguer^{1,2}

¹*Departamento de Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnología Electrónica.*

Universidad Miguel Hernández, Avda. Universidad, s/n.

Edif. Torrevalillo - 032021 – Elche (Alicante – España).

²*Sociedad Astronómica de Alicante (Grupo de gravitación y mecánica celeste),*

Apartado de Correos 616, 03080-Alicante (España).

E-mail: agrupación.astroalicante@gmail.com

(Recibido el 1 de Junio de 2011; aceptado el 23 June 2011)

Resumen

La comparación de las últimas obras publicadas respectivamente por Stephen Hawking –junto con Leonard Mlodinow– y por Roger Penrose, permite analizar, además de los méritos literarios de ambas, la concepción de la ciencia que subyace bajo cada uno de esos textos, representativa a su vez de las opiniones epistemológicas de sus autores.

Palabras clave: Relatividad general, espacio-tiempo, cuántica, gauge, unificación.

Abstract

Comparing the last books respectively published by Stephen Hawking –with Leonard Mlodinow– and Roger Penrose, allow us to consider, not only the literary merits of both them, but also the ideas on science underlying those texts, which in turn represent the epistemologic opinions of their authors.

Keywords: General Relativity, space-time, quantum, gauge, unification.

PACS: 98.80.Bp, 98.80.Cq, 98.80.Jk, 98.80.Qc.

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Casi simultáneamente en septiembre de 2010 llegaron al mercado editorial dos fascinantes libros dedicados a la ciencia del universo, con interesantes consecuencias sobre nuestra comprensión del cosmos e incluso del papel que juega en él la conciencia humana. Ambos textos estaban escritos por dos de los más célebres especialistas británicos en el tema; Stephen Hawking en colaboración con Leonard Mlodinow, firmaba *The Great Design (El Gran Diseño)*, en tanto su compatriota Roger Penrose nos presentaba sus últimas reflexiones sobre cosmología en *The Cycles of Time (Los Ciclos del Tiempo)*. Se trata de dos obras planteadas desde muy diferentes perspectivas, pero que sin embargo conviene considerar en conjunto ya que las diferencias pueden ser tan ilustrativas como las similitudes existentes entre ellas.

Penrose ha continuado profundizado a lo largo del tiempo en su búsqueda de una modificación de la teoría cuántica que permita combinarla con la relatividad general sin merma en la objetividad del conocimiento físico. Por el contrario, Hawking ha seguido una vía opuesta, aferrándose a la convicción de que las distorsiones cuánticas de la geometría espacio-temporal, harían del espacio-tiempo relativista un concepto hasta cierto punto subjetivo, o “dependiente del observador” según sus palabras.

La evolución de sus opiniones sobre la búsqueda de una teoría final para la unificación de las fuerzas fundamentales, parece haber llevado a Hawking –para decepción de sus seguidores– a una visión francamente opuesta a la que ha inspirado toda su carrera científica, cuestionando la metodología científica que él mismo siempre defendió. Eso se desprende del libro escrito a medias con Mlodinow, donde se manifiesta favorable a la más reciente versión ampliada de las supercuerdas, y a todas las repercusiones filosóficas que de ellas cabe extraer. Lejos quedan ya las atrevidas conjeturas de este físico británico recogidas en su *Historia del Tiempo* (1988), donde nos presentaba un universo espacio-temporalmente cerrado y causalmente auto-contenido, que podía prescindir tranquilamente de la apelación a cualquier creador, pues la condición de existencia se juzgaba en sí misma previa a cualquier consideración física y por tanto atemporal.

II. COSMOLOGÍA ANTRÓPICA Y TEORÍA M

En *The Great Design*, Stephen Hawking nos relata tanto su opinión sobre la realidad física como sus expectativas acerca del los desarrollo futuros que aguardan a la física fundamental. Para ello cuenta con la ayuda del físico Leonard Mlodinow cuya agilidad expresiva es bien

conocida entre los aficionados anglosajones a la literatura de divulgación científica. Como viene siendo habitual en los últimos trabajos de Hawking, el libro cuenta con el apoyo visual de numerosos esquemas y dibujos en color, que hacen más intuitivas las explicaciones verbales.

Tras la introducción, la primera parte del libro se dedica a delinear la imagen de la realidad que se desprende de los progresos realizados por la física del siglo XX. Como consecuencia de ello se subraya el objetivo de lograr una teoría definitiva de unificación de las fuerzas fundamentales, o “Teoría del Todo”, que –según los autores– ha de tener la elegancia formal como uno de sus rasgos distintivos. Ya que la elegancia es una cualidad subjetiva, este pequeño comentario nos lleva sin apenas advertirlo a dar el primer paso en la senda que conduce al concepto subjetivo que Hawking y Mlodinow tienen del conocimiento científico inspirado en la física cuántica.

Esta circunstancia se manifiesta con más claridad todavía en el capítulo dedicado a las integrales de camino de Feynman, una sofisticada técnica de cálculo muy útil en el marco de la teoría cuántica. Hawking y Mlodinow se sirven de ella para defender la posibilidad de que una cosmología cuántica permita múltiples universos, cada uno de ellos con su propia geometría espacio-temporal y una cierta probabilidad de existencia.

Con ello se nos está diciendo que la teoría cuántica en alguna de sus formas actuales, ha de conservar su validez en todos los ámbitos de la naturaleza, convirtiéndose incluso en el instrumento adecuado para describir las características fundamentales de la realidad física. Esta es una afirmación de tanta envergadura que pocos de sus colegas la suscribirían sin vacilaciones. Entre las reticencias que Einstein sentía hacia la teoría cuántica, la principal estribaba en la subjetividad de las imágenes del mundo físico a que dicha teoría conducía. Sobre este punto Hawking y Mlodinow responden con una nueva doctrina metafísica que ellos denominan “realismo dependiente del modelo”, quizás por el temor de llamarla lisa y llanamente instrumentalismo o alguna otra denominación ya conocida. Se trata de una posición a medio camino entre la aceptación de un realismo plenamente objetivo, y la caída en el más explícito subjetivismo. La realidad objetiva no se abandona del todo –al menos eso se nos dice– pero adopta diferentes formas dependiendo de la perspectiva teórica particular desde la cual se contempla.

Un ejemplo muy ilustrativo proporcionado por estos autores toma el caso de un hipotético pez que tratase de formular una teoría sobre el espacio físico situado más allá de las paredes esféricas de su pecera. A este pez le parecería que la habitación exterior posee paredes curvadas, a pesar de que tales paredes apareciesen rectas ante sus habitantes humanos. Sin embargo, el punto de vista del pez y el de los humanos son igualmente coherentes, ya que pueden suministrar predicciones idénticas en todos los sucesos físicos perceptibles por ambas clases de seres. Ninguna perspectiva es más real que la otra, puesto que las dos resultan equivalentes a la hora de efectuar predicciones.

Un lector imparcial encontraría difícil discernir qué aportan de novedoso Hawking y Mlodinow sobre esta

cuestión. La teoría general de la relatividad de Einstein, por ejemplo, ya se ocupa de situaciones semejantes de un modo completamente satisfactorio. Así ocurre que distintos observadores pueden elegir diferentes sistemas de coordenadas en la descripción local de un único espacio-tiempo objetivo subyacente.

Por otro lado, es cierto que la teoría cuántica, en su estado actual, plantea serias amenazas a la objetividad de la física clásica, incluyendo la relatividad einsteiniana. Y tampoco nos ha proporcionado hasta ahora una imagen de la realidad que sea objetiva y universalmente aceptada. A juicio de Penrose, esto se debe a que la física cuántica permanece incompleta en algún sentido aún por descubrir. Parece seguro que solucionar este problema exigirá nuevas ideas matemáticas de una sutileza y una sofisticación que sobrepasan nuestros actuales conocimientos sobre el espacio-tiempo. Pero en todo caso este desafío se dirige hacia la agudeza intelectual de los teóricos del futuro, sin que involucre amenaza alguna contra la existencia de un universo objetivo. Lo mismo podría decirse de la teoría M, aunque a diferencia de la física cuántica, aquella no cuenta con respaldo experimental alguno.

Al final del primer capítulo en la obra de Hawking y Mlodinow, se puede leer un párrafo sumamente interesante [1]:

“Describiremos cómo la teoría M puede ofrecer respuestas a la cuestión de la creación. De acuerdo con la teoría M, el nuestro no es el único universo. En su lugar, la teoría M predice que una gran cantidad de universos fueron creados de la nada. Su creación no requirió la intervención de algún ser sobrenatural o dios. Más bien, esos múltiples universos surgieron naturalmente de la ley física. Son una predicción de la ciencia. Cada universo tiene muchas historias posibles y muchos posibles estados en tiempos posteriores, es decir, en tiempo como el presente, mucho después de su creación. La mayoría de estos estados serán muy diferentes del universo que observamos e inadecuados para la existencia de cualquier forma de vida. Solo unos pocos permitirían existir a criaturas como nosotros. Así, nuestra presencia selecciona en este vasto repertorio solo aquellos universos que sean compatibles con nuestra existencia. Aunque somos endebletes e insignificantes en la escala del cosmos, esto nos hace en cierto sentido los señores de la creación”.

Además de la confusa mezcla de hipótesis físicas y premisas metafísicas oculta en estas líneas, el fragmento anterior revela dos puntos capitales que han levantado las reticencias de una parte considerable de los colegas de estos dos autores. En primer lugar, es obvio que las esperanzas de Hawking sobre una posible unificación de las fuerzas fundamentales de la naturaleza –empresa a la que él se dedicó con optimismo durante muchos años– se han depositado en la teoría M. Esta teoría es en realidad una familia de modelos que contiene una cantidad abrumadora (entre 10^{100} y 10^{1000}) de versiones distintas. Aunque dispusiésemos de los medios técnicos para comprobarlas todas –y no los tenemos a causa de las exorbitantes energías necesarias– sería prácticamente imposible decidir si alguno de ellos, o ninguno, se corresponde con el cosmos real.

Por esos motivos, los defensores de la teoría M arguyen que la ciencia debe abandonar su método, basado en la corroboración experimental de las especulaciones teóricas, y aceptar simplemente sus propias afirmaciones –la teoría M– por razones tan difusas y discutibles como la estética formal, la belleza matemática o la versatilidad explicativa. Afortunadamente la mayoría de la comunidad científica no admite –de momento– que se ofrezca una completa destrucción de la racionalidad científica a cambio de apuntalar una teoría que cada vez más parece sustentarse únicamente sobre las aspiraciones profesionales de quienes trabajan en ella.

Por otra parte, la cita apenas disimula un aire de solemne trascendencia fundada en la presunta aptitud que tiene el género humano para seleccionar con su presencia un tipo de universo capaz de albergar vida. Por ello, en opinión de Hawking y Mlodinow, somos “los señores de la creación”. Desde luego tan dañina puede ser la humildad excesiva como una vanidad sin freno. Desde Copérnico en adelante la historia de los descubrimientos científicos ha tenido como nota común el derrocamiento de todos los burdos sitiales donde la humanidad se había encaramado para persuadirse a sí misma de su posición de supremacía sobre el mundo material al que pertenece. Ya sabemos que la Tierra no se halla en el centro del universo, nuestro sistema solar es uno entre muchos y lo mismo podría decirse de nuestra galaxia, el ser humano comparte su origen animal con el resto de especies vivas que han evolucionado en este planeta, etc. Sin embargo, Hawking y Mlodinow no dicen justamente lo contrario, trocando el orgullo de la racionalidad humana en la convicción arrogante de ser de algún modo “los elegidos” (o los “electores”, según se mire).

Al final el “gran diseño” que da título al libro, se queda en una nueva versión del principio antrópico fuerte, por el cual es la presencia humana en el universo la que da sentido a la existencia de éste. Nuestro papel como observadores en el marco de la teoría cuántica determina que la actuación de la conciencia humana seleccione, de entre todos los múltiples universos posibles permitidos por la teoría M, uno de ellos para ser el agraciado con la existencia. Ese universo es justamente aquel que posee las condiciones necesarias para el surgimiento y desarrollo de seres inteligentes y autoconscientes, como los humanos. Con ello el bucle se cierra; salimos en busca de la explicación definitiva del cosmos y acabamos volviendo sobre nuestros propios pasos, pues la explicación parece residir finalmente en nosotros mismos.

III. REALISMO DEPENDIENTE DEL MODELO

La filosofía que late tras el libro de Hawking se manifestó con mucha mayor caridad en un artículo publicado posteriormente, también por ambos autores, titulado “La (escurridiza) teoría del todo” [2]. Comienza el escrito confrontando la creencia en un mundo exterior a nuestra conciencia con propiedades bien definidas independientemente del observador –el realismo– con la

opinión de que el mundo percibido tan solo es una interpretación que nuestro cerebro hace de los datos sensoriales que recibe. La realidad, según lo que Hawking llama “instrumentalismo”, no sería más que un constructo mental.

Aquí comienzan las confusiones, pues parece que, en un sentido psicológico obvio, nadie negaría que el cerebro interpreta los datos sensoriales y construye con ellos representaciones mentales de su entorno. Esa no es la cuestión, sino más bien preguntarse si esos datos sensoriales y los constructos de ellos derivados se corresponden con la existencia de algo objetivamente exterior a nuestras mentes o no. Todas nuestras creencias cotidianas, y aun la práctica científica más rigurosa, se basan en una respuesta positiva a este interrogante. Desde luego, podemos escoger la opción contraria y sostener que tanto nosotros como todo cuanto nos rodea no somos más que sueños en la cabeza de un Shiva durmiente, según sostienen algunas ramas del hinduismo. Pero resulta dudoso que podamos llegar mucho más allá con semejantes opiniones.

A continuación los autores abogan de nuevo por el realismo dependiente del modelo, según el cual la ciencia no debe aspirar más que a proporcionarnos modelos matemáticos que conecten de modo preciso sus predicciones con observaciones. Carece de sentido si un modelo es más real que otro, con tal de que ambos concuerden con los resultados de sus respectivos ámbitos experimentales. La aberración que supone renunciar a la búsqueda de la realidad como impulso intelectual de la empresa científica, ya ha sido abordada en numerosas ocasiones con notable amplitud [3] aunque parece que con escaso éxito, a juzgar por las palabras de Hawking y Mlodinow.

No contentos con ello, estos autores dan un paso más y afirman: “...Aunque suele decirse que Copérnico invalidó el modelo de Ptolomeo, semejante conclusión es falsa (...) uno puede usar cualquiera de las dos descripciones como modelo del universo (...). A pesar de su importancia en los debates filosóficos sobre la naturaleza del universo, la única ventaja del sistema copernicano reside en que las ecuaciones e tornan mucho más sencillas si elegimos como sistema de referencia aquel en el que el Sol, se encuentra en reposo”.

Nadie diría que unas declaraciones tan imprudentes pudiesen surgir de la pluma de físicos tan reputados. En primer lugar la falsedad corresponde, no a la superioridad del sistema heliocéntrico sobre el geocéntrico, sino a la idea de que ambas descripciones resultan físicamente equivalentes. La equiparación puede hacerse, como máximo, en un sentido geométrico (toda trayectoria descrita en uno de los referenciales puede transformarse en una trayectoria relativa al otro), pero la física es mucho más que pura geometría. Las leyes de la mecánica celeste y la gravitación arrojarían conclusiones absurdas si decretamos que la Tierra es el centro de gravedad del sistema solar [4]. Además, numerosos fenómenos (fases, paralaje, efectos Doppler, aberración, irregularidades orbitales) perderían su

sentido en una interpretación física tan demencial de la realidad astronómica.

Habiendo preparado el camino, Hawking y Mlodinow proceden acto seguido a desvelar el nudo central de su argumentación. Como las diversas teorías de supercuerdas actualmente desarrolladas no parecen subsumibles en una teoría global, o teoría M, se nos dice que "...para explicar el universo hemos de emplear una teoría u otra en función de la situación que deseemos describir (...). Es posible que para describir el universo hayamos de emplear teorías diferentes en situaciones diferentes, y puede que cada teoría implique su propia versión de la realidad. Pero, de acuerdo con el realismo dependiente del modelo, tal diversidad es aceptable y ninguna de las versiones puede arrogarse la cualidad de ser más real que las restantes. (...)"



FIGURA 1. Stephen Hawking.

Es evidente que desde hace mucho tiempo los científicos emplean teorías diferentes en situaciones diferentes. La biología molecular hace uso de teorías y métodos distintos de, por ejemplo, la termodinámica de los procesos nucleares en el corazón de las estrellas. Pero Hawking y Mlodinow, naturalmente, no se refieren a eso; bien al contrario, quieren decir que la multiplicidad de teorías explicativas ha de mantenerse en un nivel fundamental. En otras palabras, la realidad es irreductiblemente diversa y debemos renunciar a la búsqueda de una teoría de unificación de las fuerzas fundamentales.

El hecho de que quienes han fracasado en la persecución de la teoría final –los especialistas en supercuerdas y en cierto modo Hawking, que les brindó su respaldo– sugieran a los demás que abandonen esa misma búsqueda por cualquier otro método, debería despertarnos alguna sospecha. Porque esa es la sustancia de la tesis propugnada por estos dos autores: una limitación metodológica (las actuales teorías de cuerdas no convergen a la presunta teoría M, más general) se convierte en una prescripción ontológica (no existe una teoría de unificación, sea la teoría M o cualquier otra). Nada hay, desde luego, que justifique una decisión tal.

La metáfora escogida en las líneas posteriores para ilustrar su postura, no puede ser menos afortunada y se

vuelve fácilmente contra sus proponentes: "Ocurre [con la teoría M] algo parecido a lo que sucede con los mapas; para representar de manera fidedigna la superficie de la Tierra sobre un plano, hemos de usar una colección de mapas, cada uno de los cuales cubre una región limitada. (...). De manera similar, los miembros de la familia de la teoría M quizá parezcan muy diferentes, pero todos ellos pueden entenderse como versiones de una misma teoría subyacente. (...)"

De haber expuesto semejante argumento en una remota antigüedad, Hawking y Mlodinow hubiesen recibido la gratitud de cuantos pensaron en algún momento que la Tierra era plana. Con la misma lógica que los dos físicos actuales, los antiguos cartógrafos "planistas" hubiesen afirmado que, teniendo mapas planos de las diferentes partes del mundo, de nada servía interrogarse por la verdadera forma de nuestro planeta. Es más, la propia pregunta carecería de sentido y sería condenada como anticientífica. Y sin embargo, pese a Hawking y Mlodinow, la Tierra sí tiene una forma redondeada, y las insuficiencias de los mapas planos para representarla no reflejan una limitación de la geometría terrestre sino de los cartógrafos. El ejemplo propuesto no deja de ser sorprendente, en tanto sabemos que hay un planeta Tierra del cual los mapas son representaciones parciales, pero nadie ha probado jamás que exista una teoría M de la cual las teorías de cuerdas en boga sean versiones aproximadas.

IV. CICLOS CÓSMICOS

Roger Penrose, uno de los más conocidos críticos de la interpretación usual de la física cuántica, así como de la efectividad última de las teorías de supercuerdas, nos ofrece una nueva visión de la evolución cósmica en *Los Ciclos del Tiempo*, gracias a su modelo denominado "cosmología cíclica conforme" [5]. Este libro es la versión semipopular de una exposición que se ha extendido a lo largo de diferentes artículos publicados en revistas especializadas [6], en solitario o en colaboración con otros investigadores, donde se defiende la hipótesis de que acaso la radiación cósmica de fondo (en adelante RCF) contenga evidencias sobre un estado del universo previo al *Big Bang*, o "Gran Explosión", inicio de la existencia del cosmos según los modelos convencionales.

Penrose sugiere que el universo se compone de una interminable cadena de eones, periodos en los que el cosmos se expande para volver a renacer en el siguiente ciclo. Se supone, de acuerdo con este modelo, que cada eón comienza y termina con toda la materia del cosmos convertida en una abigarrada mezcla de partículas carentes de masa, algo así como una sopa de fotones. Y puesto que las partículas sin masa no permiten definir físicamente las distancias y las duraciones, el estado extraordinariamente denso y caliente en que comenzó nuestro universo puede identificarse con el estado frío y tenue que marcó el final del eón anterior.

Se trata sin duda de un modelo cosmológico tan original como ingenioso, que su autor ha venido desarrollando

Rafael Andrés Alemañ Berenguer

durante largo tiempo, cuya primera presentación extensa apareció en la obra colectiva *Sobre el Espacio y Tiempo* [7]. La cosmología cíclica conforme es en realidad una aplicación particular de los trabajos de Penrose sobre la compactificación conforme, un método que partiendo de un espacio-tiempo cualquiera (con singularidades o sin ellas, finito o infinito) permite construir un nuevo espacio-tiempo finito –compactificado, diríamos– y con una fronteras definida, equipado con una métrica que se relaciona con la métrica del espacio-tiempo original mediante un factor de escala localmente variable, Ω , llamado el factor conforme.

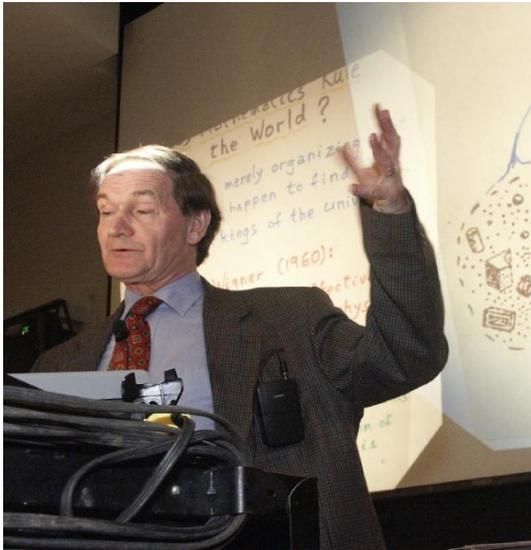


FIGURA 2. Roger Penrose.

Esta transformación preserva la estructura causal del espacio-tiempo originario (es decir, las relaciones causa-efecto se mantienen) aunque las longitudes y las duraciones no se conserven. Sobre la frontera de dicha compactificación conforme pueden representarse sin problemas las singularidades del espacio-tiempo de partida, así como el infinito espacial y el temporal. Por ello la frontera conforme en el futuro de uno de estos universos podría identificarse con la frontera conforme en el pasado de otro de ellos para componer finalmente un cosmos cíclico.

El hecho de que el universo fuese muy pequeño y caliente en sus inicios no supone obstáculo alguno para Penrose, ya que en su propuesta tanto el universo temprano como el de un distante futuro no contendrán más que partículas sin masa, que por ello son invariantes frente a transformaciones conformes. Privados de partículas con masa, resulta imposible definir las longitudes y duraciones de los fenómenos físicos, de manera que nos quedamos tan solo con la estructura conforme del espacio-tiempo, suficiente para garantizar la causalidad física. Así pues, reduciendo en el futuro el factor conforme (que como factor de escala comporta una recalibración de las magnitudes) y aumentando su valor en el pasado, la geometría de la frontera conforme en el futuro encaja suavemente con la frontera conforme inicial en el nacimiento del universo.

Dicho de otro modo, el factor conforme Ω debe tender a cero según el tiempo se hace infinito, para comprimir un futuro interminable en un tiempo conforme finito, a la vez que recíprocamente Ω se hace infinito según nos acercamos al instante inicial del cosmos. Con ello la métrica conforme coincide en las dos partes de la frontera hasta tal punto que pueden identificarse entre sí. Una magnitud característica de la irregularidad del espacio-tiempo, la curvatura de Weyl, es cero en ambas fronteras, en el futuro y en el pasado, de forma que el *Big Bang* sigue bien definido en la cosmología cíclica conforme como el único estado en el que se anula dicha curvatura de Weyl.

Esa es la razón de que Penrose sugiera que la inflación cósmica no se produjo después del *Big Bang*, como suponen los modelos actuales, sino antes. El ritmo acelerado de la expansión cosmológica que indican las más recientes observaciones, se interpreta así como el inicio del periodo inflacionario previo al siguiente eón. Y es justamente esta inflación –a juicio de Penrose– la responsable de generar la distribución de perturbaciones de densidad, invariantes bajo cambios de escala, característica del periodo post-*Big Bang*.

En este marco de ideas, nuestro universo en un futuro lejanísimo contendrá únicamente radiaciones de tipo electromagnético junto con las gravitatorias. La radiación electromagnética provendrá de la radiación de fondo cosmológica, y de la evaporación de los agujeros negros en los que previamente toda la materia habrá desaparecido. Por su parte, la radiación gravitatoria se deberá a la coalescencia de esos mismos agujeros negros. Las partículas masivas (ejemplificadas por Penrose con el electrón, como partícula más ligera entre las dotadas de masa) o bien se aniquilarían reaccionando con antipartículas de carga opuesta, o bien desaparecerían a través de procesos de decaimiento espontáneo aún por esclarecer.

El ciclo cosmológico descrito en el modelo de Penrose se caracteriza por una curvatura de Weyl que es nula en su inicio, pero su derivada no lo es, circunstancia que parece desencadenar la aparición de partículas masivas. La materia se aglomera entonces formando estrellas y galaxias, lo que aumenta el valor de la curvatura de Weyl a la vez que disminuye la curvatura de Ricci. Recordemos que en la teoría relativista de Einstein la curvatura de Ricci, $R_{\mu\nu}$, viene directamente determinada por las fuentes de la gravedad a través del tensor de energía momento asociado a la materia (análogo al vector de carga-corriente J_α en la teoría electromagnética de Maxwell), y la parte restante de la curvatura espacio-temporal de Riemann, la denominada curvatura de Weyl, $C_{\mu\nu\eta\epsilon}$, describe los grados de libertad gravitatorios (análogamente al tensor de campo $F_{\mu\nu}$ en la teoría de Maxwell).

De algún modo se admite que una gran cantidad de la materia creada en el inicio del universo será engullida por los agujeros negros, donde la curvatura de Weyl diverge aunque la curvatura de Ricci es allí nula. La materia que no acaba en los agujeros negros, o decae espontáneamente en forma de radiación o se aniquila con antimateria, como ya se ha dicho. La curvatura de Weyl vuelve de nuevo a tomar

un valor nulo, todas las partículas restantes carecen de masa, y la invariancia conforme recupera su dominio sobre la realidad física. Sin embargo, la radiación gravitatoria nunca se termaliza, a lo cual se atribuye la existencia de derivadas para la curvatura de Weyl, cosa que asimismo justificaría supuestamente la generación de materia masiva en el siguiente ciclo cosmológico.

Penrose comenta en su libro que la más adecuada versión conformemente invariante de la relatividad general es el campo cuántico de espín 2, el popularmente conocido como “gravitón”. Las teorías de sustrato plano (*flat background*) como la del gravitón, sustituyen la curvatura espacio-temporal por un espacio-tiempo plano de Minkowski sobre el que se sitúa un campo cuantizado como el del gravitón. Se trata de una apuesta arriesgada, pues ninguna de ellas ha conseguido ser renormalizables y librarse con ello de los indomables infinitos ligados a la cuantización de la gravedad.

Tan atractiva como es, la propuesta de Penrose no deja de tener graves inconvenientes que el mismo autor reconoce en ciertos momentos. Uno de ellos se relaciona con la elección que Penrose hace del espacio-tiempo de De Sitter como una mejor descripción de la evolución del cosmos, frente a la geometría espacio-temporal de Friedman-Robertson-Walker (FRW), más sencilla y preferida en los modelos usuales. Ocurre que los espacios de De Sitter contienen una constante cosmológica que provoca en ellos la existencia una temperatura mínima. A partir del valor estimado por las observaciones de la constante cosmológica en nuestro universo, esa temperatura habría de estar en torno a los 10-30K.

Pero un agujero negro, según los trabajos de Hawking, solo se evaporará si la temperatura de su horizonte de sucesos supera la del entorno sideral. La temperatura de un agujero negro es inversamente proporcional a su masa, y uno de estos objetos que crezca mucho capturando la masa circundante hasta que su temperatura caiga por debajo de ese intervalo, jamás se evaporará. Ahora bien, un agujero negro tal poseería una masa equivalente a la de todo el universo observable, circunstancia que bien podría impedir en la práctica su formación en un cosmos dominado por la constante cosmológica, donde su contenido material se diluye a causa de la expansión acelerada.

Otra dificultad surge si pensamos que en un futuro muy lejano nuestro universo puede considerarse como un conjunto de campos cuánticos en equilibrio térmico dentro de un espacio-tiempo de De Sitter. En ese caso las fluctuaciones cuánticas nos aseguran la aparición de casi cualquier objeto físico aceptable, a un ritmo constante, desde partículas elementales a micro-agujeros negros. Con ello se perdería sin remedio la invariancia conforme, un ingrediente indispensable del modelo de Penrose. Aun así, no es menos cierto que la radiación gravitatoria jamás alcanza el equilibrio térmico, abriendo la puerta al argumento de que en un futuro muy lejano en nuestro universo los campos cuánticos no podrían considerarse en verdadero equilibrio térmico.

V. EL PROBLEMA DE LA ENTROPÍA

La cosmología cíclica conforme brotó en el abonado terreno de los intentos llevados a cabo desde hace más de medio siglo por extender la validez de la segunda ley termodinámica a la totalidad del universo, buscando a la vez entender su origen y su significado. Penrose señala que hay una contradicción en la imagen que nos describe un estado inicial –el *Big Bang*– a partir del cual la entropía aumenta progresivamente, dado el equilibrio térmico en que se halla la radiación de fondo en el universo. Ese equilibrio térmico es precisamente uno de los estados con mayor entropía que podemos imaginar para cualquier sistema físico. Casi cualquier otra distribución de energías, diferente de la uniformidad, implicará una menor entropía.

Así, la imagen del *Big Bang* requiere una restricción sobre el volumen del espacio de fases ocupado por el universo en su nacimiento, de modo que la entropía tuviese un valor pequeño durante la Gran Explosión. Penrose se pregunta cómo podría resolverse semejante contradicción, y su respuesta consiste en separar la entropía del universo en aquella porción debida a la materia (materia representada mediante el tensor de energía-momento en relatividad general) y la entropía inscrita en los grados de libertad gravitatorios (representados por la curvatura de Weyl). Esta idea en sí misma no es tan nueva, pues la hipótesis de curvatura de Weyl, mediante la cual pretendía justificar el origen físico del incremento de entropía, ya fue apuntada por Penrose en 1979. En esencia, esta hipótesis sugiere que la curvatura de Weyl es nula en el *Big Bang*, pero aumenta gradualmente con la edad del universo.

Como consecuencia de ello, la curvatura de Weyl en los agujeros negros no será cero, gracias a lo cual podemos emplear esta magnitud para diferenciar la singularidad cosmológica típica del *Big Bang*, de las singularidades en el interior de los agujeros negros. Con el transcurso del tiempo la curvatura de Weyl aumenta, las masas se atraen mutuamente formando aglomeraciones, dando lugar a un universo menos homogéneo con una mayor entropía asociada con el denso empaquetamiento que van sufriendo las masas.

En conjunto, la descripción de Penrose no carece de encanto, pero cuál es la causa que ocasiona realmente el cambio de la curvatura de Weyl, es algo que permanece en la penumbra. Ciertamente, merced al tensor de Weyl podemos describir el incremento de la entropía gravitatoria mediante un campo tensorial y asociar a este campo una “flecha del tiempo” (una distinción intrínseca entre el futuro y el pasado). Asimismo, esta hipótesis ofrece una alternativa al rápido periodo de inflación situado por Alan Guth en los primeros instantes del cosmos [8], un fenómeno que muchos autores encuentran tan arbitrario como la variación de la curvatura de Weyl.

Penrose adoptó como punto de partida el artículo del físico Paul Tod donde se demostraba que incluso en la singularidad cosmológica inicial del *Big Bang*, la curvatura de Weyl permanecía finita. Siendo esto así, la gravitación se convierte en una teoría conforme haciendo posible

cambiar la escala de la métrica, incluso infinitamente, hasta eliminar la propia singularidad del *Big Bang*.

Todo esto podría ser plenamente aceptable si la única propiedad fundamental de la materia fuese su masa-energía, fuente de la interacción gravitatoria. Sabemos, no obstante, que hay otras fuerzas fundamentales y las cargas asociadas a ellas, digamos, la carga eléctrica. Si la conservación de la carga eléctrica ha de respetarse también en el lejano futuro del cosmos, entonces no todas las partículas masivas habrán de convertirse en radiación (los fotones carecen de carga eléctrica) y uno de los requisitos básicos para la invariancia conforme demandada por Penrose se torna imposible.

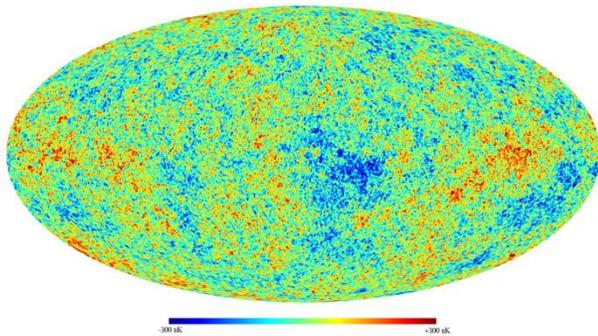


FIGURA 3. Mapa de anisotropías del fondo cósmico de microondas a partir de las mediciones de satélite WMAP.

Este es, quizás, uno de los flancos más fácilmente expuestos a la crítica en la cosmología cíclica conforme. Porque deberíamos postular, o descubrir algún mecanismo que alterase a muy largo plazo las propiedades fundamentales de la materia, como la relación carga/masa del electrón. Ello sin olvidar que si deseamos una explicación física de la recalibración de la métrica, esos cambios de escala han de estar motivados por la presencia de algún campo de "inflaton" semejante a los empleados en los modelos de la cosmología inflacionaria.

Sin embargo, tal vez la debilidad crucial de este modelo reside en el mismo asunto que amenaza la total consistencia interna de cualquier modelo cosmológico moderno, como es nuestra total ignorancia sobre las singularidades de los agujeros negros. Dejando a un lado la singularidad cosmológica (precisamente uno de los problemas que Penrose trata de evadir con su modelo), la estructura interna de las singularidades en los agujeros negros sigue siendo un tema fuera del alcance de nuestras mejores teorías. Parece indudable que a falta de una combinación satisfactoria entre la física cuántica y la relatividad, poco es lo que podemos avanzar por este camino.

Pero resulta que uno de los detalles cruciales de la cosmología cíclica conforme depende de la evaporación de la materia en los agujeros negros, lo cual implica a su vez que la información contenida en los estados cuánticos de esa materia desaparecerá en la singularidad central de agujero. Ese es el llamado "problema de la información" en los agujeros negros planteado por Stephen Hawking a finales del siglo XX. En un principio Hawking defendió la

idea de que la información entrañada en los estados físicos de la materia que caía en un agujero negro, se perdía para siempre. Años más tarde, y en el marco de un intenso debate sostenido con colega suyos como Kip Thorne, Hawking cambió de idea arguyendo que dicha información no se perdía realmente si no que era reenviada al exterior por el agujero negro entretrejida en la radiación que éste emitiría.

En cualquier caso, ni Penrose ni Hawking dudan de que haya una singularidad dentro de un agujero negro, lo que supone una osadía más que notable. La singularidad implica valores infinitos para los parámetros físicos usuales (densidad, temperatura, etc.), lo que es otro modo de decir que nuestras teorías fallan en ese ámbito. El empeño en aceptar la realidad que esa clase de singularidades equivale a sostener que la materia puede comprimirse infinitamente, con total independencia de cualquier consideración cuántica, y que en el propio espacio-tiempo hay "perforaciones" o puntos faltantes (como demuestran los propios teoremas de Hawking-Penrose).

En efecto, de acuerdo con el teorema de Hawking y Penrose, presentado en 1969 para tratar a la vez las singularidades del origen cósmico y de los agujeros negros, en el interior de la singularidad hay un punto –al menos– que no pertenece al espacio-tiempo [9]. Esto se suele explicar visualizando el espacio-tiempo como un tejido, la singularidad como una zona infinitamente arrugada del mismo, y afirmando que en ella falta una puntada de hilo (o más de una).

A poco que nos detengamos a pensarlo, para una postura un tanto extremada, especialmente dado que carecemos de una teoría cuántica de la gravedad que nos indique cuáles de nuestros razonamientos aproximados conservan su validez en ese rango de fenómenos y en qué grado merecen nuestra confianza. Demasiados cabos sueltos, y demasiado gruesos todos, para confiar en un amarre firme de la cosmología

VI. PREDICCIONES Y OBSERVACIONES

La cosmología cíclica conforme tendrá cuantos defectos quieran buscarse en ella, pero indiscutiblemente cuenta con la principal virtud de una teoría que se pretende científica, la contrastabilidad. Parecería razonable pensar que todo rastro del ciclo previo se borra en cada una de estas transiciones, pero tal vez no suceda así. Penrose especula con la posibilidad de que la radiación gravitatoria emitida por la colisión de agujeros negros supermasivos hacia el final de un eón deje su huella en la RCF del eón inmediatamente posterior.

La radiación de fondo que baña todo el universo suele caracterizarse gráficamente por medio de una distribución de temperatura sobre una superficie esférica fija. Por ello podríamos suponer que los pulsos de radiación gravitatoria emitidos por los choques entre agujeros negros se manifestasen como una corteza esférica en expansión que intersectaría la superficie de la RCF formando una circunferencia. La variación en la temperatura de la RCF a

lo largo de dicha circunferencia estaría por debajo de la esperada si no hubiese más que una distribución aleatoria. Y esas distribuciones circulares de baja temperatura son las que Penrose, junto con Vahe Gurzadyan, dice haber encontrado.

Las predicciones de Penrose y sus colegas sobre las huellas detectables en la RCF son susceptibles de rastrearse en los mapas de anisotropías del fondo cósmico de microondas, cada vez más detallados gracias a los esfuerzos investigadores y a las inversiones en alta tecnología dedicados a su análisis. Como consecuencia de un profundo examen de la distribución de temperaturas asociada a estas anisotropías Roger Penrose y su colaborador V.G. Gurzadyan declararon haber descubierto indicios de una fase previa del universo antes de la Gran Explosión relacionados con la presencia de círculos concéntricos en los datos de la radiación cosmológica obtenidos por el satélite WMAP en sus primeros 7 años de actividad [10].

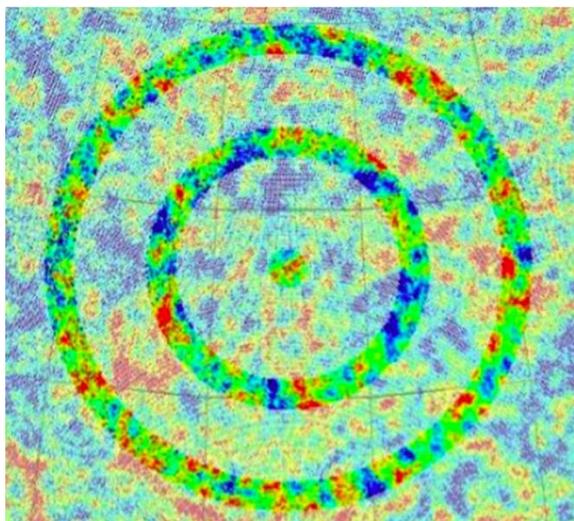


FIGURA 4. Los presuntos “círculos” de Penrose en la radiación cósmica de fondo.

A continuación los canadienses Adam Moss, Douglas Scott, James P. Zibin de la Universidad de la Columbia Británica en Vancouver (Canadá) repitieron el análisis y confirmaron la existencia de dichos círculos, pero no solo los que detectó Penrose sino muchos más. Moss y sus colegas hallaron los polémicos círculos también en simulaciones por ordenador de la RCF generadas aleatoriamente mediante las denominadas fluctuaciones primordiales de tipo gaussiano. Esta técnica es tan potente que si se buscan triángulos en lugar de círculos, es esa figura la que se encuentra en la RCF. La conclusión del equipo de Moss señala que los círculos de Penrose y Gurzadyan tan solo son resultado fortuito del carácter puramente aleatorio de la RCF [11]. Es decir, la radiación cósmica no es más que ruido de fondo, sin estructuras internas, en el rango de las microondas.

VII. CONCLUSIONES

Como siempre, la seductora pluma de Penrose transmite al lector el mágico atractivo que envuelve uno de los problemas fundamentales de la ciencia moderna. El único escollo para el disfrute de este magnífico libro es la impresión de que Penrose espera de su público una pericia matemática que buena parte de sus seguidores no tendrán fácil alcanzar.

Un lector no especializado en la materia, con un poco de perspicacia, logrará deducir el significado de muchas afirmaciones simplemente por su contexto, aunque también es cierto que se discuten algunos puntos cuyo sentido se escapará a quienes no posean una familiaridad previa con los rudimentos básicos de la relatividad y la cosmología. Por otro lado, el libro de Hawking y Mlodinow se lee con gran facilidad, es mucho más sencillo de digerir que el de Penrose al verse despojados de utillaje matemático, y los dibujos realizados con programas informáticos son de una notable exquisitez.

La diferencia entre ambas obras, sin embargo, no puede ser más profunda. Si Penrose busca exponer una reflexión muy cuidada sobre el nacimiento y destino del universo que explique a la vez el origen de la ley de la entropía, Hawking y Mlodinow no pueden evitar un aire de permanente autojustificación en sus argumentos, ya que su finalidad parece ser la de reforzar sus posiciones personales y dar sentido a su propio fracaso en la búsqueda de una teoría de unificación definitiva. Nada de eso pretende Penrose, cuyas elucubraciones marchan siempre en pos de un contacto con los datos experimentales que permitan la contrastación de los mismos.

Hawking y Mlodinow sustituyendo la verdad por la comodidad, se contentan con lo que ni siquiera es una teoría, sino un abigarrado conjunto de modelos aproximados que nadie sabe resolver por completo ni si tiene su raíz en alguna teoría subyacente, pero se parapetan de las críticas tras un dique filosófico de instrumentalismo y convencionalismo. Penrose, por el contrario, lanza una conjetura a la escena y queda a la expectativa del veredicto de los hechos (que por el momento no le es favorable). El lector de ambos libros podrá juzgar qué proceder le parece más ajustado al canon científico.

REFERENCIAS

- [1] Hawking, S., Mlodinow, L., *The Great Design*, (Bantam, New York, 2010).
- [2] Hawking, S., Mlodinow, L., *La (escurridiza) teoría del todo*, *Investigación y Ciencia* **411**, 42-45 (2010).
- [3] Bunge, M., *A la caza de la realidad. La controversia sobre el realismo*, (Gedisa, Barcelona, 2006).
- [4] Bunge, M., *Controversias en física*, (Tecnos, Madrid, 1983).
- [5] Penrose, R., *The Cycles of Time*, (Bodley Head, London, 2010).

Rafael Andrés Alemañ Berenguer

[6] Penrose, R., *Before the big bang: An outrageous new perspective and its implications for particle physics* (2006) descargable como documento PDF en

<http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/e06/PAPERS/THESPA01.PDF>.

[7] Majid, S., (ed.) *On Space and Time*, (Cam. Univ. Press, Cambridge, U.K., 2008).

[8] Guth, A.H., *The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems*, Phys. Rev. D **23**, 347-356 (1981).

[9] Hawking, S. W., Penrose, R., *The Singularities of Gravitational Collapse and Cosmology*, Proceedings of the

Royal Society of London (Series A, Mathematical and Physical Sciences) **314**, (1519), 529-548 (1970).

[10] Gurzadyan, V. G., Penrose, R., *Concentric circles in WMAP data may provide evidence of violent pre-Big-Bang activity*, (noviembre de 2010), descargable en <http://arxiv.org/abs/1011.3706v1>.

[11] Moss, A., Scott, D., Zibin, J. P., *No evidence for anomalously low variance circles on the sky*, (2010). http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/1012/1012.1305v2.pdf.