

DEL AUTOR DE *EL CAMINO DE LA REALIDAD*

# ROGER PENROSE



Moda,  
fe y  
fantasía

En la nueva física del universo

**DEBATE**

# Moda, fe y fantasía en la nueva física del universo

ROGER PENROSE

Traducción de  
Marcos Pérez Sánchez

**DEBATE**

SÍGUENOS EN  
**megustaleer**



[@megustaleerebooks](https://www.facebook.com/megustaleerebooks)



[@megustaleer](https://twitter.com/megustaleer)



[@megustaleer](https://www.instagram.com/megustaleer)

| Penguin  
Random House  
Grupo Editorial |

# Índice

## [Moda, fe y fantasía en la nueva física del universo](#)

### [Prefacio](#)

[¿Son la moda, la fe o la fantasía relevantes para la ciencia fundamental?](#)

### [1. Moda](#)

[1.1. La elegancia matemática como fuerza motriz](#)

[1.2. Algunas modas físicas del pasado](#)

[1.3. Los antecedentes de la teoría de cuerdas en la física de partículas](#)

[1.4. El principio de superposición en la QFT](#)

[1.5. El poder de los diagramas de Feynman](#)

[1.6. Las ideas clave originales de la teoría de cuerdas](#)

[1.7. El tiempo en la relatividad general de Einstein](#)

[1.8. La teoría de gauge del electromagnetismo de Weyl](#)

[1.9. Libertad funcional en modelos de Kaluza-Klein y de cuerdas](#)

[1.10. ¿Obstáculos cuánticos a la libertad funcional?](#)

[1.11. Inestabilidad clásica de la teoría de cuerdas supradimensional](#)

[1.12. El estatus de moda de la teoría de cuerdas](#)

[1.13. Teoría M](#)

[1.14. Supersimetría](#)

[1.15. AdS/CFT](#)

[1.16. Mundos de branas y el paisaje](#)

### [2. Fe](#)

[2.1. La revelación cuántica](#)

[2.2. Max Planck y  \$E = h\nu\$](#)

[2.3. La paradoja onda-partícula](#)

- [2.4. Niveles cuántico y clásico: C, U y R.](#)
- [2.5. Función de onda de una partícula puntual](#)
- [2.6. Función de onda de un fotón](#)
- [2.7. Linealidad cuántica](#)
- [2.8. La medición cuántica](#)
- [2.9. La geometría del espín cuántico](#)
- [2.10. Entrelazamiento cuántico y efectos EPR](#)
- [2.11. Libertad funcional cuántica](#)
- [2.12. Realidad cuántica](#)
- [2.13. Reducción objetiva del estado cuántico: ¿un límite para la fe cuántica?](#)
- [3. Fantasía](#)
  - [3.1. El Big Bang y las cosmologías FLRW](#)
  - [3.2. Agujeros negros e irregularidades locales](#)
  - [3.3. La segunda ley de la termodinámica](#)
  - [3.4. La paradoja del Big Bang](#)
  - [3.5. Horizontes, volúmenes comóviles y diagramas conformes](#)
  - [3.6. La fenomenal precisión del Big Bang](#)
  - [3.7. ¿Entropía cosmológica?](#)
  - [3.8. Energía del vacío](#)
  - [3.9. Cosmología inflacionaria](#)
  - [3.10. El principio antrópico](#)
  - [3.11. Otras cosmologías fantásticas](#)
- [4. ¿Una nueva física para el universo?](#)
  - [4.1. Teoría de twistores: ¿una alternativa a las cuerdas?](#)
  - [4.2. ¿Do van los cimientos cuánticos?](#)
  - [4.3. ¿Cosmología chiflada conforme?](#)
  - [4.4. Una coda personal](#)
- [Apéndice matemático](#)
  - [A.1. Exponentes reiterados](#)
  - [A.2. Libertad funcional de los campos](#)

[A.3. Espacios vectoriales](#)

[A.4. Bases vectoriales, coordenadas y duales](#)

[A.5. Matemáticas de las variedades](#)

[A.6. Variedades en física](#)

[A.7. Fibrados](#)

[A.8. Libertad funcional mediante fibrados](#)

[A.9. Números complejos](#)

[A.10. Geometría compleja](#)

[A.11. Análisis armónico](#)

[Bibliografía](#)

[Agradecimientos](#)

[Créditos de las ilustraciones](#)

[Índice alfabético](#)

[Notas](#)

[Sobre este libro](#)

[Sobre Roger Penrose](#)

[Créditos](#)

## Prefacio

¿SON LA MODA, LA FE O LA FANTASÍA RELEVANTES PARA LA CIENCIA FUNDAMENTAL?

Este libro surge a partir de la recopilación de tres conferencias que ofrecí en la Universidad de Princeton en octubre de 2003 invitado por Princeton University Press. Es muy posible que me precipitase al proponer a la editorial el título para esas tres charlas —*Moda, fe y fantasía en la nueva física del universo*—, que es también el título de este libro, pero expresaba genuinamente cierta desazón que sentía entonces en relación con determinadas tendencias que formaban parte del pensamiento de la época sobre las leyes físicas que rigen el universo en el que vivimos. Ha pasado más de una década, pero esas cuestiones, y mucho de lo que dije sobre ellas, parecen ser, en su mayor parte, al menos tan relevantes hoy como en su día. Debo confesar que di esas conferencias con cierta aprensión, pues intentaba expresar unos puntos de vista que podrían no resultar muy acordes con los de muchos de los distinguidos expertos presentes allí.

Cada uno de los nombres que dan título a este libro, «moda», «fe» y «fantasía», remite a una cualidad que podría parecer antagónica con los procedimientos que se suelen considerar apropiados para la búsqueda de los principios que subyacen al comportamiento del universo a sus niveles más básicos. De hecho, idealmente, sería muy razonable afirmar que influencias como las de la moda, la fe o la fantasía deberían estar por completo ausentes de la actitud mental de quienes dedican todos sus esfuerzos a la bús-

queda de las bases fundamentales de nuestro universo. A fin de cuentas, no cabe duda de que la propia naturaleza no tiene mucho interés en los caprichos efímeros de las modas humanas; ni tampoco la ciencia debería entenderse como una fe, pues sus dogmas están sometidos a un escrutinio continuo y sujetos a los rigores del examen experimental, y se abandonan en el mismo momento en que surge un conflicto convincente con la realidad de la naturaleza tal y como la descubrimos. A su vez, la fantasía es sin duda el territorio de ciertas zonas de la ficción y del entretenimiento, donde no se considera esencial que se preste demasiada consideración a los requisitos de coherencia con la observación, a la lógica estricta o siquiera al mero sentido común. De hecho, si se puede demostrar que una teoría científica propuesta está demasiado influida por los dictados de las modas, por el seguimiento incondicional de una fe sin base experimental o por las tentaciones románticas de la fantasía, entonces es nuestro deber poner de manifiesto dichas influencias y mantener alejado de estas a quien, quizá sin ser consciente de ello, pudiera estar expuesto a ellas.

No obstante, no pretendo mostrarme por completo negativo respecto a estas cualidades, pues se puede argumentar que cada uno de estos términos contiene algo genuinamente valioso. Al fin y al cabo, es poco probable que una teoría de moda posea tal estatus solo por motivos sociológicos. Deben existir sin duda muchas cualidades positivas para que infinidad de investigadores se congreguen en torno a un área de estudio muy a la moda, y es poco probable que sea el mero deseo de formar parte de una multitud lo que mantiene a esos investigadores tan fascinados por lo que probablemente sea un campo de estudio en extremo difícil, dificultad que a menudo radica en la naturaleza altamente competitiva de las actividades de moda.

Cabe señalar aquí una cuestión más en relación con la investigación en física teórica que pueda estar de moda pero



que dista de ser una descripción posible del mundo (de hecho, como veremos, a menudo está en flagrante contradicción con las observaciones actuales). Quienes trabajan en esos ámbitos podrían haber encontrado en ellos una enorme gratificación si los hechos observados se hubiesen revelado en mayor sintonía con sus propias visiones del mundo, pero con frecuencia parecen relativamente imperturbables cuando los hechos son menos complacientes de lo que les habría gustado. Esto no es algo descabellado pues, en buena medida, estas investigaciones son meramente *exploratorias*, y se entiende que estos trabajos pueden permitir ganar experiencia y que esto resultará a la larga en beneficio para el descubrimiento de mejores teorías que concuerden mejor con el funcionamiento real del universo que conocemos.

Cuando de lo que se trata es de la fe extrema en ciertos dogmas científicos que suelen expresar algunos investigadores, es probable que exista una poderosa razón que la justifique, aun cuando la fe está en la aplicabilidad de dicho dogma en circunstancias alejadas de las situaciones originales donde erigieron sus cimientos gracias a un potente respaldo observacional. Podemos tener confianza en que las espléndidas teorías físicas del pasado seguirán proporcionando una enorme precisión incluso cuando, en determinadas circunstancias, han sido reemplazadas por teorías mejores que extienden su precisión o su ámbito de aplicabilidad. Así sucedió sin duda cuando la magnífica teoría de la gravitación de Newton fue sustituida por la de Einstein, o cuando la hermosa teoría electromagnética de la luz de Maxwell fue desplazada por su versión cuantizada, que permitía comprender la faceta de la luz como partículas (fotones). En cada caso, la teoría anterior conservaría su fiabilidad, siempre que sus limitaciones se tuviesen debidamente en cuenta.

¿Y la fantasía? Esta debería ser todo lo contrario de aquello a lo que aspira la ciencia. No obstante, veremos

que existen ciertos aspectos de la naturaleza del universo real que son tan excepcionalmente extraños (aunque no siempre se reconozca del todo que lo son) que si no nos permitimos lo que podría interpretarse como escandalosas fantasías no tendremos ninguna posibilidad de llegar a aceptar lo que bien podría ser una realidad en apariencia extraordinariamente fantástica.

En los tres primeros capítulos, ilustraré estas tres cualidades que dan título al libro con tres teorías —o familias de teorías— muy conocidas. No he escogido campos de la física de importancia relativamente menor, sino lo que son de hecho peces gordos en el océano de la actividad actual en física teórica. En el capítulo 1, he decidido tratar algo que está aún muy de moda: la teoría de cuerdas (o teoría de supercuerdas, o sus generalizaciones, como la teoría M, o el aspecto más de moda de toda esta línea general de trabajo, como es el orden de cosas conocido como *correspondencia AdS/CFT*). La fe que abordaré en el capítulo 2 es un pez aun más gordo: el dogma según el cual los procedimientos de la mecánica cuántica deben seguirse servilmente, con independencia de lo grandes o masivos que sean los elementos físicos sobre los que se apliquen. Y, en cierto sentido, el tema del capítulo 3 es el pez más gordo de todos, ya que en él nos interesaremos por el mismísimo origen del universo que conocemos y haremos un repaso de algunas de las propuestas de aparente pura fantasía que se han formulado para abordar determinadas peculiaridades ciertamente inquietantes que se han puesto de manifiesto gracias a observaciones bien fundamentadas de los primérisimos instantes del universo en su conjunto.

Por último, en el capítulo 4 expongo varias ideas personales, con la intención de poner de manifiesto que existen caminos alternativos que podrían muy bien transitarse. Veremos, no obstante, que seguir las sendas que sugiero no estaría exento de cierta ironía. Está, qué duda cabe, la ironía de seguir la vía que yo mismo prefiero para entender la

física fundamental, una vía que le presentaré brevemente al lector en §4.1. Es un camino jalonado por la teoría de twistores, en cuyo desarrollo he tenido una participación fundamental y a la que la comunidad física apenas había prestado atención durante cerca de cuarenta años, pero que, como veremos, ahora empieza a adquirir cierta notoriedad en relación con la teoría de cuerdas.

En cuanto a la fe suprema e incuestionable en la mecánica cuántica que parece profesar la mayor parte de la comunidad física, esta se ha visto reafirmada por experimentos notables como los de Serge Haroche y David Wineland, que recibieron un merecido reconocimiento al ser galardonados con el Premio Nobel de Física en 2012. Asimismo, el Nobel de 2013 para Peter Higgs y François Englert, por su contribución a la predicción de lo que se ha dado en conocer como el *bosón de Higgs*, es una asombrosa confirmación no solo de las ideas particulares que (junto con otros cuantos más, en particular Tom Kibble, Gerald Guralnik, Carl R. Hagen y Robert Brout) habían propuesto sobre el origen de las masas de las partículas, sino también de muchos de los aspectos fundamentales de la propia teoría cuántica (de campos). Pero, como señalo en §4.2, todos los experimentos de elevada sofisticación que se han llevado a cabo hasta ahora distan considerablemente del nivel de desplazamiento de masa (tal y como se propone en §2.13) que sería necesario para que se pueda prever con visos de realidad el cuestionamiento de nuestra fe cuántica. Sin embargo, hoy en día se están preparando otros experimentos pensados para detectar dicho nivel de desplazamiento de masa, que en mi opinión podrían contribuir a resolver algunos de los conflictos profundos que existen entre la mecánica cuántica actual y determinados principios físicos también aceptados, como los de la relatividad general de Einstein. En §4.2 señalo un grave conflicto entre la mecánica cuántica actual y el principio, fundamental para Einstein, de equivalencia entre campos gravitatorios y aceleraciones.

Quizá los resultados de esos experimentos debiliten la inquebrantable fe mecanocuántica que tan extendida parece estar. Por otra parte, cabe preguntarse por qué debería alguien depositar más fe en el principio de equivalencia de Einstein que en los procedimientos fundamentales de la mecánica cuántica, que han sido sometidos a muchísimas más pruebas. Esta es desde luego una buena pregunta. Y se podría argumentar sin duda que es necesaria tanta fe para aceptar el principio de Einstein como los propios de la mecánica cuántica. Se trata de un asunto que bien podría zanjarse experimentalmente (como ironía final) en un futuro no muy lejano.

Por lo que se refiere a los niveles de fantasía que ha alcanzado la cosmología actual, en §4.3 sugiero que existe un sistema denominado cosmología cíclica conforme (CCC), que yo mismo propuse en 2005, que es, en ciertos aspectos, aún más fantástico que las extraordinarias propuestas que veremos en el capítulo 3, algunas de las cuales han pasado a formar parte de casi todos los debates contemporáneos sobre los primerísimos instantes del universo. Pero los análisis observacionales actuales parecen comenzar a poner de manifiesto que la CCC tiene cierta base en los hechos físicos reales. Cabe sin duda confiar en que pronto se disponga de evidencia experimental inequívoca susceptible de convertir lo que podría ser mera fantasía, de un tipo u otro, en una imagen convincente de la naturaleza factual del universo real. De hecho, puede señalarse que, a diferencia de las modas de la teoría de cuerdas o de la mayoría de los sistemas teóricos que buscan minar nuestra fe absoluta en los principios de la mecánica cuántica, esas fantásticas propuestas que se plantean para describir el origen mismo del universo ya se han sometido a detallados exámenes observacionales, como el de la exhaustiva información que proporcionan los satélites COBE, WMAP y Planck, o el de los resultados de las observaciones BICEP2 en el Polo Sur publicados en marzo de 2014. Mientras escribo esto,

existen importantes dificultades para la interpretación de estos últimos, pero no debería tardarse mucho en resolverlas. Quizá tengamos pronto pruebas mucho más claras que permitan escoger definitivamente entre varias de estas teorías fantásticas rivales o alguna otra teoría que aún está por ser planteada.

Al tratar de abordar estos asuntos de manera satisfactoria (pero no demasiado técnica), he debido hacer frente a un obstáculo muy concreto y fundamental: el problema de las matemáticas y su papel central en cualquier teoría física que pretenda describir seriamente la naturaleza con una mínima profundidad. Los argumentos críticos que expondré en este libro, que buscan establecer que las modas, la fe y la fantasía están en efecto ejerciendo una influencia indebida sobre el progreso de la ciencia fundamental, deben basarse, en una medida significativa, en verdaderas objeciones técnicas y no en meras preferencias emocionales, lo cual nos obligará a utilizar cierta cantidad de matemáticas. Pero este texto no pretende ser un discurso técnico, accesible solo para expertos en matemáticas o física, ya que la intención inequívoca es que puedan leerlo con provecho personas legas. Así pues, trataré de limitar el contenido técnico a un mínimo razonable. No obstante, hay una serie de conceptos matemáticos que resultarán muy útiles para la plena comprensión de varios asuntos esenciales que pretendo tratar. Por ese motivo, he incluido once apartados matemáticos bastante básicos en un apéndice, cuyo contenido no es muy técnico pero que podrían, si fuera necesario, ayudar a los no expertos a alcanzar una comprensión más profunda de muchos de los asuntos principales.

Los dos primeros de estos apartados (§§A.1 y A.2) solo contienen ideas muy sencillas, aunque relativamente poco conocidas, y no emplean notación difícil. No obstante, desempeñan un papel especial en relación con muchas de las argumentaciones que aparecen en el libro, en particular en lo tocante a las propuestas de moda que se discuten en el

capítulo 1. Cualquier lector que desee comprender el asunto crítico que allí se analiza debería, en algún momento, ahondar en el material de §§A.1 y A.2, pues contiene la clave de mi argumento contra la idea de que existen de verdad dimensiones adicionales en nuestro universo. Esta supradimensionalidad es una de las afirmaciones fundamentales de casi toda la teoría de cuerdas moderna y sus variantes principales. Mis argumentos críticos se centran en la creencia actual, debida a la teoría de cuerdas, de que el número de dimensiones del espacio físico debe ser superior a las tres que experimentamos directamente. El asunto clave que planteo aquí es el de la libertad funcional, y en §A.8 esbozo un argumento algo más completo para clarificar la idea básica. El concepto matemático en cuestión hunde sus raíces en la obra del gran matemático francés Élie Cartan, que data de principios del siglo xx, pero no goza de mucho aprecio entre los físicos teóricos de hoy en día a pesar de su gran relevancia en relación con la verosimilitud de las ideas físicas sobre dimensiones adicionales.

La teoría de cuerdas y sus variantes modernas han progresado en muchos aspectos en los años transcurridos desde estas conferencias en Princeton, y ha aumentado considerablemente su grado de precisión técnica. En modo alguno pretendo arrogarme ninguna erudición sobre dichos avances, aunque he revisado buena parte de ese material. Lo que más me interesa no son esos detalles sino esclarecer si ese trabajo nos permite de verdad avanzar hacia la comprensión del mundo físico real en el que vivimos. Muy en particular, veo pocos intentos (por no decir ninguno) de abordar la cuestión de la excesiva libertad funcional que surge de la supradimensionalidad espacial que se presupone. De hecho, ninguno de los trabajos sobre teoría de cuerdas que haya leído menciona siquiera este problema. Esto me resulta en cierta medida sorprendente, y no solo porque esta cuestión fuese esencial en una de mis conferencias en Princeton, hace ya más de una década. Ya lo había

destacado en una charla que di en el congreso que se celebró en la Universidad de Cambridge en conmemoración del sexagésimo cumpleaños de Stephen Hawking, en enero de 2002, ante un público entre el que se encontraban varios eminentes teóricos de cuerdas, y de la que posteriormente se escribieron reseñas.

Debo señalar aquí algo importante. A menudo, los físicos cuánticos rechazan el problema de la libertad funcional al afirmar que solo tiene validez en la física clásica, y las dificultades que presenta para las teorías supradimensionales suelen desdeñarse sumariamente con un argumento que busca demostrar la irrelevancia de estos aspectos en situaciones mecanocuánticas. En §1.10 expongo mi razonamiento principal contra este argumento básico, y animo encarecidamente a que lo lean los defensores de la supradimensionalidad. Confío en que, al repetir dichos argumentos aquí y al desarrollarlos en determinados contextos físicos (§§1.10, 1.11, 2.11 y A.11), consiga que se tengan en cuenta en obras futuras.

Los demás apartados del apéndice presentan brevemente los espacios vectoriales, las variedades, el análisis armónico, los números complejos y su geometría. Estos temas serán con toda seguridad conocidos para los expertos, pero es posible que a quienes los desconozcan este material introductorio y mesurado les resulte útil para comprender por completo los aspectos más técnicos de este libro. En todas mis descripciones, he optado por no incluir una introducción en profundidad a las ideas del cálculo diferencial (o integral), pues opino que, aun cuando entender correctamente el cálculo sería beneficioso para los lectores, quienes carezcan de antemano de este conocimiento ganarían poco con un apresurado apartado sobre el tema. No obstante lo cual, en §A.11 he considerado apropiado incluir un somero repaso de los operadores y las ecuaciones diferenciales, para así poder explicar algunos asuntos de relevancia, en varios sentidos, para el hilo argumental que recorre el libro.