



Juan Carlos
Sanabria, Ph.D.

EL ENIGMA DE LOS CIELOS

Una breve
historia
de la
cosmología

DEBATE

Juan Carlos Sanabria

El enigma de los cielos

Una breve historia de la cosmología

Debate

SÍGUENOS EN



Me Gusta Leer Colombia



@megustaleerco



@megustaleerco

| Penguin
Random House
Grupo Editorial |



PREFACIO

El objetivo de este libro es presentar el desarrollo de la cosmología a través de la historia, y con este propósito comprende hasta los descubrimientos de las últimas décadas, que nos han entregado una visión muy detallada y sorprendente de la estructura y de la evolución de nuestro universo. Como profesor he querido explicar los conceptos con la mayor claridad posible.

Este no es un libro escrito para especialistas de la Física o de la Historia de la ciencia. Veinte años en las aulas de clase me han permitido identificar tres problemas básicos al enseñar ciencias, en especial Física, a personas que no tienen una formación científica. El primero es la ausencia de un contexto humano al presentar los conocimientos, algo difícil de remediar debido a la gran cantidad de temas incluidos en los currículos modernos. Es en ese aspecto donde libros como este pueden desempeñar un papel importante, pues presentan temas complejos en su contexto histórico, es decir como parte de un proceso más amplio. Cada enunciado o fórmula es el resultado de un gran esfuerzo colectivo transmitido desde la Antigüedad, un esfuerzo que en muchos casos se condujo en contextos muy adversos. Incluyo esta dimensión porque estoy convencido de que ayuda a comprender los conceptos científicos, aun a los especialistas. El segundo problema de la enseñanza de la Física es justamente la exigencia de entender el lenguaje ma-

temático. Las Matemáticas son apropiadas y fabulosas para describir los fenómenos de la naturaleza, en especial los de la Física, pero lamentablemente solo una minoría domina suficientemente ese lenguaje. Es por esto que he tratado de reducir su uso al mínimo, sin sacrificar el contenido y profundidad de los temas. Finalmente, con el propósito de introducir discusiones determinantes para la cosmología, me tomo el tiempo para ilustrar ciertos temas cruciales, verdaderas puertas que debemos saber abrir para entrar en dominios cada vez más profundos de la ciencia. Advierto que la historia de la cosmología es un hermoso ejemplo de los logros más altruistas del intelecto humano, que merece ser apreciado en toda su magnitud.

A este trabajo han contribuido miles de estudiantes, con sus ideas y especulaciones, con sus preguntas, con sus éxitos y sus fracasos, con sus críticas y sus comentarios positivos sobre mi labor. Después de cada clase siempre he buscado el tiempo para meditar sobre lo sucedido en el salón. Trato de identificar qué salió bien y qué no, qué tipo de explicaciones fueron claras y cuáles no, qué tópicos son fundamentales y cuáles son superfluos, qué emociona a los estudiantes. De todo ello me he nutrido, como de innumerables textos de divulgación científica, que referencio al final de cada capítulo.

Este libro no habría sido posible sin la colaboración y el apoyo de Lina Duarte, quien además de hacer múltiples correcciones de estilo al manuscrito me ayudó a mejorarlo a través de largas discusiones sobre ciencia, docencia y literatura. Debo decir que disfruté cada instante en el que trabajé con ella, por lo cual estoy enormemente agradecido. También debo expresar mi gratitud al profesor Andrés Re-

yes, a quien siempre interesó este proyecto y quien me entusiasmó a terminarlo cuando, por diversas circunstancias, perdía el ánimo. Sus consejos y comentarios sobre la Física fueron muy valiosos para mí. Otras personas que contribuyeron a este trabajo, y con las cuales estoy muy agradecido, son Camilo Casallas y Natalia Torres. Por último, debo expresar mis agradecimientos por su apoyo al Departamento de Física de la Universidad de los Andes y a las personas que en su momento fueron sus directores, los profesores Carlos Ávila y Gabriel Téllez.

CAPÍTULO 1

LA MÚSICA DE LAS ESFERAS CELESTES

Cuando observamos desprevenidamente a nuestro alrededor, identificamos cielo y tierra, día y noche, Sol y Luna, luz y oscuridad. En la noche, vemos puntos luminosos en el cielo, a los que llamamos estrellas. Pronto nos damos cuenta de que existe una cierta regularidad en el movimiento de estos cuerpos celestes. Cuando observamos en detalle, identificamos la presencia de un tipo especial de estrellas que tienen un brillo característico y que se desplazan con respecto a las demás a medida que transcurren los meses. Toda cultura con un conocimiento astronómico suficientemente complejo ha identificado este tipo especial de estrellas, a las que los griegos denominaron *planétes*, palabra que traduce vagabundos. En noches muy claras también podemos distinguir cuerpos celestes nebulosos como la Vía Láctea y Andrómeda.

Pensadores de épocas y civilizaciones diversas han indagado sobre el porqué de todo esto. ¿Cuál es la naturaleza de los astros celestes? ¿Qué origen tienen las armonías que identificamos en sus movimientos? ¿Por qué estos cuerpos son luminosos? ¿Qué son los planetas? ¿Cuál es la estructura del cosmos? ¿Cuál es su origen? ¿Cuál es su destino? La búsqueda de respuestas a estos interrogantes forjó, a través de los siglos, la historia de la astronomía y, con ella, el

surgimiento del método científico y de tres de las más importantes revoluciones de la ciencia: la mecánica, el electromagnetismo y la teoría de la relatividad. A comienzos del siglo XXI se ha consolidado una nueva visión del universo, de su evolución y de su estructura, basada en detalladas observaciones astronómicas y sofisticados cálculos matemáticos, que reúnen todos los conocimientos de la Física actual y constituyen la Cosmología moderna que, a pesar de todos sus logros, aún entraña enigmas tan profundos e intrigantes como los que enfrentaron los primeros astrónomos.

Por mucho tiempo pensamos que la Tierra era una especie de disco plano muy grande que flotaba en el mar y que estaba rodeado por una bóveda celeste. La incapacidad del ser humano de volar, de acceder a esta bóveda inmensa y de entender su naturaleza condujo a otorgarle un carácter divino. Los astros fueron identificados con dioses, en especial los planetas, ya que vagan por los cielos, ¿y quién más que un dios puede hacerlo?

En la noche, las estrellas forman figuras —las *constelaciones*— que los antiguos asociaban con criaturas mitológicas. El establecimiento de un conjunto de constelaciones que llena los cielos nocturnos permite orientarse en la noche y pone en evidencia la rotación de la bóveda celeste. Las constelaciones ecuatoriales se desplazan de oriente a occidente cada noche, siguiendo trayectorias similares a la que sigue el Sol durante el día. La aparición de una de estas constelaciones en el horizonte sucede cada noche, un poco más temprano que la noche anterior. Como resultado, hay una época del año en que la constelación no es visible, ya que está presente en la bóveda celeste durante el día y el

Sol la eclipsa por completo. Al cabo de 365 días, la constelación vuelve a emerger en el horizonte a la misma hora, estableciendo un ciclo en los cielos. La coincidencia entre este ciclo y el ciclo climático de las estaciones permitió a las culturas antiguas determinar con gran precisión la duración del año, algo crucial para las sociedades agrícolas. Sin embargo, a pesar de la importancia práctica de este descubrimiento, los astrónomos y astrólogos estaban aún insatisfechos. Les intrigaban estas armonías celestes y recurrieron a diversas explicaciones para intentar entenderlas. Los babilonios, por ejemplo, definieron una banda centrada en la trayectoria que sigue el Sol en la bóveda celeste y a esta banda la dividieron en doce sectores identificados por doce constelaciones: las constelaciones del Zodíaco. La época del año en la cual una de estas constelaciones está completamente eclipsada detrás del Sol se asocia al signo zodiacal de la constelación. Desde la época de Babilonia a las constelaciones del Zodíaco se les ha dado un carácter mágico, relacionado con la fortuna y el destino de los hombres. La fascinación que ejercen los cielos sobre el ser humano condujo a griegos y romanos a adoptar estas creencias, que han sobrevivido hasta nuestros días en la cultura occidental.

La adopción de un conjunto de constelaciones es posible porque las posiciones relativas entre las estrellas de una constelación no cambian, o cambian muy poco con el paso de los siglos, haciendo que la figura que forman permanezca en el cielo. Este hecho llevó a algunos astrónomos griegos a concebir la existencia de una bóveda celeste en la cual las estrellas se encontraban incrustadas e inmóviles: la bóveda de las «estrellas fijas».

EL MOVIMIENTO PLANETARIO

Al viajar por las constelaciones del cinturón zodiacal, los planetas describen trayectorias con respecto a las estrellas fijas. En ocasiones un planeta parece detenerse y regresar durante un corto período de tiempo, para después retomar su camino, fenómeno al que se le denomina *movimiento retrógrado*. Dado el cambio constante de posición de los planetas con respecto a las constelaciones, en la Antigüedad fue evidente que aquellos no podían pertenecer a la bóveda de las estrellas fijas. Nuevas bóvedas celestes, transparentes, probablemente bóvedas de cristal en las cuales se encontraban incrustados los diferentes planetas, se hicieron necesarias para justificar los cambios de posición. Bóvedas similares debían existir para el Sol y para la Luna. Todas ellas giraban en forma concéntrica alrededor de la Tierra, con períodos diferentes. Este modelo del cosmos permitía entender los movimientos de los cielos y por qué todos los astros parecían dar vueltas alrededor de la Tierra sin caer sobre ella.

En Grecia, durante el siglo VI a. C., Pitágoras y sus discípulos establecieron un modelo cosmológico inspirado en parte en observaciones y en parte en su fascinación por la Geometría. Para formular este modelo recurrieron a figuras perfectas como el *círculo* y la *esfera*. La sombra circular que aparece en la Luna durante un eclipse, interpretada como la sombra que proyecta la Tierra sobre la Luna, y observaciones como la de que los mástiles de los barcos son lo primero en aparecer y lo último en desaparecer en el horizonte, llevaron a Pitágoras a la conclusión de que la Tierra debería tener forma esférica, algo sobre lo cual otros filósofos

jonios ya habían especulado. Todos los demás cuerpos celestes deberían también ser esferas y moverse en trayectorias circulares. Para Pitágoras el centro del universo estaría conformado por una masa de fuego, alrededor de la cual orbitaban las esferas celestes asociadas a la Tierra: el Sol, la Luna y los cinco planetas conocidos en ese entonces: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. En el exterior estaba la bóveda de las estrellas fijas. Las distancias entre las esferas celestes y sus movimientos debían seguir los intervalos propios de las notas musicales. El comportamiento de los cielos era armonioso; los astros se movían al compás de una *música de las esferas celestes*.

A pesar de su origen jonio y del carácter empírico de sus estudios de los fenómenos naturales, Pitágoras no era indiferente a la religión y la mística. En Crotona creó una comunidad dedicada al ascetismo y al estudio riguroso de las Matemáticas, conocida históricamente como «los pitagóricos». Esta comunidad fue la que tuvo por primera vez una actitud religiosa hacia las Matemáticas. Su universo estaba hecho de números y sus miembros creían que el camino hacia el entendimiento de la naturaleza eran las Matemáticas. Esta Filosofía natural¹, basada en los números, se distinguía de la de los jonios, basada en la observación y la experimentación. Era una nueva forma de pensar que se apartaba de lo práctico y que se adaptaba mejor al cambio de los tiempos en una Grecia que, después de las victorias militares sobre los persas en las Guerras Médicas, se consolidaba como una sociedad esclavista, caracterizada por un total desprecio hacia el trabajo físico, más artesanal, y hacia el pensamiento práctico. De este modo, en los años siguientes, se originó una hostilidad por los métodos empíricos de

los filósofos naturalistas jonios. El principal exponente de esta posición radical fue Parménides, cuyos libros *El camino a la verdad* y *El camino a la opinión* presentan a la razón como el medio para llegar a la verdad.

Algunos años después de la muerte de Pitágoras, en Atenas, en la época de Pericles, Anaxágoras estudió cuidadosamente las fases de la Luna y sus eclipses. Dado que Anaxágoras estaba convencido de que la Tierra era una esfera de gran tamaño, la sombra que esta proyectaba sobre la Luna durante un eclipse le indicaba que la distancia de la Tierra a la Luna debería ser enorme y que la luz de esta no era más que luz solar reflejada. Por tanto, concluyó Anaxágoras, el Sol debería estar mucho más lejos y ser muy grande y luminoso: una piedra incandescente gigante y lejana. En un período en el cual la religiosidad se había apoderado de la cultura griega y en el que, bajo la influencia de la escuela de pensamiento pitagórico, se les había dado un carácter divino a los cielos, la afirmación de Anaxágoras fue considerada impía y le costó el destierro de Atenas. Se sabe que regresó a morir a su tierra natal, en Asia Menor.

Durante el Siglo de Oro de Pericles, Atenas se convirtió en el centro de la cultura griega y desplazó a las ciudades jonias. La figura de Sócrates cambió radicalmente el rumbo del pensamiento griego; al enfocar su atención en la ética y el ser humano, dejó de lado cualquier especulación sobre los cielos o sobre la naturaleza. Como respuesta, su discípulo, Platón, formó una escuela filosófica que reunía la influencia de los pitagóricos y la de Sócrates. La visión empírica y atea de los cielos, propia de los filósofos jonios, fue reemplazada por una en la cual lo sobrenatural volvió a ser parte de la astronomía. Todo lo asociado con los cielos era

divino, no así lo asociado con la tierra. Esta separación entre cielo y tierra, ratificada posteriormente por la cosmología de Aristóteles, se constituiría en un pilar de la Filosofía natural griega que perduraría en el pensamiento de Occidente hasta que Kepler, Galileo y Newton demostraron que las leyes de los cielos son las mismas que las de la tierra, unas leyes de carácter universal.

Uno de los discípulos de Platón en la Academia, Eudoxo, asumió una posición más rigurosa al tratar de entender la estructura de los cielos y se propuso formular un modelo matemático que reprodujera los movimientos de los astros en detalle. El modelo cosmológico que había emergido en Grecia con el paso de los siglos era muy atractivo y describía a grandes rasgos los movimientos planetarios. Sin embargo, había detalles que no encajaban. El movimiento retrógrado que en ocasiones realizan los planetas con respecto a las estrellas fijas, sumado a cambios en la velocidad de sus desplazamientos y a sus aparentes acercamientos y alejamientos, no se podían entender a partir del modelo sencillo de unos cielos compuestos por esferas celestes que rotaban armoniosamente alrededor de la Tierra. La naturaleza se comportaba de forma más complicada y Eudoxo se propuso buscar un mecanismo para entenderla. En su versión de los cielos, cada cuerpo celeste estaba incrustado en el ecuador de una esfera que rotaba alrededor de sus polos. Estos polos no eran inmóviles, sino que se encontraban incrustados en otra esfera que también rotaba alrededor de sus propios polos. Para reproducir los complejos movimientos planetarios, Eudoxo se vio en la necesidad de introducir una tercera e incluso una cuarta esfera, en las cuales se encontraban incrustados los polos de la esfera anterior. En su

modelo final recurrió a tres esferas celestes para describir los movimientos del Sol y de la Luna, y a cuatro esferas por cada planeta. Si sumamos a esto la bóveda de las estrellas fijas, obtenemos 27 esferas celestes.

Por la misma época, Aristóteles concibió un modelo de los cielos que mezclaba las ideas pitagóricas de las esferas celestes con la complicada matemática de las esferas concéntricas de Eudoxo, las ideas jonias de la existencia de cuatro elementos fundamentales y la concepción platónica de unos cielos de carácter divino. Este modelo comprendía 59 esferas concéntricas, con la Tierra ubicada en el centro. Para la Tierra había cuatro esferas, una por cada elemento terrenal: tierra, aire, agua y fuego. Enseguida estaba la esfera celeste, en la cual reposaba la Luna. De ahí en adelante, todo estaba compuesto por un quinto elemento o *quintaesencia*, el elemento constituyente de los cielos: un elemento puro. Las esferas celestes giraban alrededor de la Tierra. Con sus movimientos, los astros describían círculos perfectos. Por lo demás, los cielos eran inmutables, a excepción de la región sublunar, en la que, dada la naturaleza impura de los cuatro elementos terrenales, podían suceder cambios. Cualquier fenómeno novedoso en el firmamento, como la aparición de cometas y de estrellas nuevas, debería suceder en la región sublunar y, por tanto, se consideraba un fenómeno «meteorológico». El movimiento natural en la Tierra era la caída libre, mientras que en los cielos el movimiento natural era circular y uniforme. El modelo aristotélico del cosmos, tan sofisticado, estaba apartado de los hechos empíricos. En el afán por preservar los argumentos estéticos asociados con la divinidad de los cielos y con la perfección de las esferas y de los círculos, así como, al mis-