

GEORGE SMOOT

y KEAY DAVIDSON

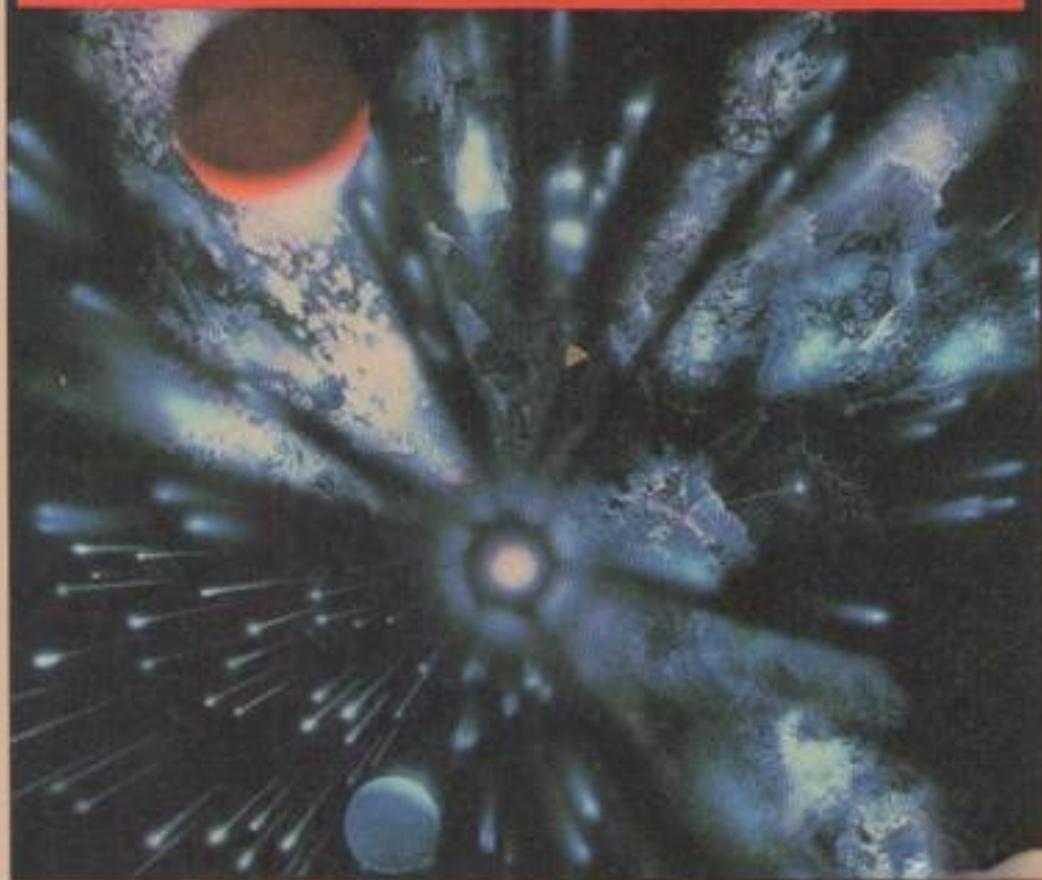


# Arrugas en el tiempo

.....

«EL MAYOR DESCUBRIMIENTO DEL SIGLO,  
SI NO DE TODOS LOS TIEMPOS.»

**(STEPHEN HAWKING)**



El 23 de abril de 1992, George Smoot anunció que había detectado el origen de las galaxias en el universo de hace quince mil millones de años. Arrugas en el tiempo narra la historia de este extraordinario descubrimiento que ha provocado un espectacular avance en la comprensión del cosmos, impensable unos años atrás. Las fluctuaciones de densidad y temperatura captadas por Smoot —con ayuda de la más sofisticada tecnología de la NASA— prueban que el universo, originariamente uniforme, se convirtió en heterogéneo al crearse las galaxias. Dichas fluctuaciones confirman irrefutablemente la teoría del segundo *Big Bang*, ocurrido inmediatamente después del primero y causante de la expansión del universo. Según Stephen Hawking, se trata del «mayor descubrimiento de la historia», dado que constituye la prueba última y definitiva sobre el origen del cosmos. Para dar respuesta a este último gran enigma, George Smoot realizó una paciente y ardua investigación a lo largo de casi dos décadas.

«El que lee mucho y anda mucho, ve mucho y sabe mucho».

*Miguel de Cervantes.*

## PREFACIO

Cuando en 1992 se anunció que el satélite COBE había descubierto arrugas en la estructura del espacio-tiempo, se produjo un notable interés público por el origen y la evolución del universo. Mucha gente me hizo preguntas personalmente, y también por teléfono y por correspondencia. Aunque me habría gustado contestarlas todas, el volumen era tan grande que no pude hacerlo. En esa época Keay Davidson se puso en contacto conmigo y me propuso escribir un libro sobre el tema. Él y su agente, John Brockman hablaron con los editores potenciales. Keay comenzó a reunir material. Yo amplíé el enfoque de modo que el libro pudiera contestar muchas de esas preguntas y al mismo tiempo, proporcionar el contexto que una breve conversación no podría dar.

Cuando comencé con el libro estuve preocupado porque iba a ser un proceso difícil, ya que no tendría suficiente material interesante para usar. Tan pronto como comencé a escribirlo, descubrí exactamente lo contrario. Había demasiado material interesante, demasiadas historias, aventuras y episodios reveladores. También había muchos temas y conceptos interesantes para presentar. El libro pronto superó el medio millar de páginas y yo aún tenía muchas cosas que contar.

Mi coautor y mis editores me convencieron de que si el libro era más corto sería leído por más gente y no afectaría el sentido de la obra ni su contenido; un libro más largo tendría más información, pero era probable que fuera menos leído. Luego vino un tiempo de grandes cortes, reajus-

tes y reescritura, que fue cuando Roger Lewin y María Guarnaschelli, con comentarios de Alan Sampson, Luis Audibert y otros editores, dieron forma al manuscrito convirtiéndolo en un verdadero libro. Seis vuelos en globo se condensaron en uno y medio, y no sólo fue mi paso de recién graduado a dirigente de equipo lo que se analizó en la presentación sino también los aportes de mis colegas y nuestro trabajo de desarrollo.

Debo reconocer que con eso se consiguió un libro mucho más legible y que el lector se hiciese una idea cabal de cómo es la experimentación con el uso de globos. Lo mismo puede decirse del resto de la obra. (Un par de días antes de que escribiera este prefacio llevamos a cabo un nuevo experimento en globo: el millimeter anisotropy experiment [experimento de anisotropía milimétrica] o MAX, en Palestine, Texas. Después de un aterrizaje digno de un libro de texto, recuperamos la carga útil, pero muchos de los factores descritos en el libro estaban de nuevo en juego).

A través del esfuerzo y el estímulo de todos quienes han colaborado conmigo, el libro es relativamente corto y fácil de leer; Da una idea bastante aproximada de la cosmología y de la realización de observaciones. Para conseguirlo, tuvimos que sacrificar algunos temas, tales como el de la cadena humana de la ciencia —maestros y mentores que preparan a un estudiante que luego practica como posgraduado llegando a ser, a su vez, maestro y mentor—. También se han eliminado los detalles penosos y los grandes esfuerzos realizados. Este informe necesariamente obvia los esfuerzos de los miembros del equipo científico, por ejemplo los vuelos en globo y los veinte años que cientos de personas trabajaron en el proyecto COBE, y por supuesto de todos los otros científicos que trabajaban en la misma área. La ciencia es, por naturaleza, una actividad cultural y social que en estos tiempos generalmente ocupa equipos de personas que intercambian ideas, resultados experimentales y conceptos.

La esperanza es que esta simplificación excesiva haga que la cosmología sea más interesante y accesible.

Finalmente, quisiera decirle al lector que este libro está pensado para que su lectura sea sencilla pero a la vez proporcione todos los conceptos e ideas esenciales de la cosmología moderna. Algunos de los conceptos de esta ciencia son nuevos y por ello el lector tendrá que modificar su forma de pensar. Si alguien tiene problemas con alguna sección, lea a través de ella; logrará captar la idea general y podrá adelantar hasta el próximo capítulo. El libro está concebido de modo que una segunda lectura permita ampliar el nivel de comprensión, después de lo cual el lector estará familiarizado con todos los grandes conceptos de la cosmología moderna. Bon voyage, pues, en este viaje a través de la excitante historia del origen y la evolución del universo y de cómo hemos llegado a tener nuestra moderna concepción de él.

GEORGE SMOOT.  
Berkeley, California,  
Junio de 1993.

## I. EN EL COMIENZO

Yo era un tesoro escondido y deseaba ser conocido:  
por lo que creé la creación para ser conocido.

*MITO SUFÍ DE LA CREACIÓN.*

Existe algo en el cielo nocturno que hace que al mirarlo uno no pueda dejar de admirarse. Cuando niño tuve la fortuna de vivir en lugares donde por la noche el cielo se veía fácilmente. Recuerdo claramente estar viajando en el asiento trasero cuando mi familia regresaba a casa después de visitar a nuestros primos. Por la ventana de atrás veía la luna a través del paisaje. Parecía seguirnos por el camino que hacía mi perro cuando yo exploraba nuestro gran jardín y los campos y los bosques que lo rodeaban. Cuando parecía que se había perdido detrás de un cerro o de un árbol, volvía a aparecer. Les pregunté a mis padres: «¿Estamos en algún lugar especial para que la luna se mantenga sobre nosotros observándonos? ¿Es a nosotros o a la dirección en que vamos? ¿Cómo puede hacer lo mismo en todo el mundo al mismo tiempo? ¿La luna es como Santa Claus?». Mis padres me explicaron que la luna es muy grande y está muy lejos, y que las montañas y los árboles que encontrábamos en el camino eran pequeños comparados con ella, como cuando uno pone los dedos delante de los ojos y luego mueve un poco la cabeza puede ver enseguida de nuevo. Entonces me hablaron acerca de la Tierra y la Luna, y también de las fases de ésta y de las mareas. Esa noche mi

mundo cambió. Nuestro jardín trasero, el bosque cercano, mi pueblo, e incluso el viaje de dos horas a la casa de mis primos no eran sino una pequeña parte de un mundo mucho mayor. Más aún, había razón y orden, hermosamente explicados por claros conceptos que se entrelazaban. No sólo pude descubrir cosas nuevas, como estanques y renacuajos, sino que también pude descubrir qué había hecho que las cosas sucedieran, cómo habían sucedido y de qué manera armonizaban. Para mí fue como caminar en un museo oscuro y salir a la luz. Había tesoros increíbles para contemplar.

Ahora, cuatro décadas más tarde, sentado en mi laboratorio, me doy cuenta de que había sido capaz de pasar mucho tiempo en ese museo buscando tesoros. Algunos habían sido bosquejados por anteriores investigadores y sabios. Unos pocos los vi con la débil luz de mi linterna. Ésta es la historia de la búsqueda y consiguiente iluminación de uno de esos tesoros, llamado por algunos «el Santo Grial de la cosmología». Es una historia que comienza con las primeras contemplaciones de las estrellas y nuestros propios orígenes, y continúa a través de siglos de observación, especulación y experimentación. Incluye objetos tan grandes como los supercúmulos galácticos y tan pequeños como las partículas subatómicas. Es una historia que me transportó a la selva tropical de Brasil y a las desérticas planicies heladas de la Antártida, al romance y a la frustración de los globos de altura, al misterio de los aviones espía U-2 y, finalmente, a la aventura del espacio. Es mi historia personal, pero también la historia de muchos otros, tanto personajes históricos como contemporáneos, que intentaron dar respuesta al más viejo y central de los misterios: ¿cómo y por qué empezó el universo y cuál es nuestro lugar en él?

La cosmología es definida como la «ciencia del universo». En la medida en que nos acercamos al fin del milenio la cosmología está experimentando un magnífico período de creatividad, una edad dorada en la que las nuevas ob-

servaciones y las nuevas teorías aumentan nuestra comprensión —y nuestro respeto— del universo de manera sorprendente. Pero esta edad dorada vigente sólo puede ser totalmente entendida a la luz de lo que ha pasado antes. El conocimiento científico siempre es provisional, siempre está en discusión. La historia de la ciencia muestra una progresión de teorías que se entrelazan en un momento dado sólo para ser cambiadas, rectificadas o modificadas cuando la observación las pone en entredicho.

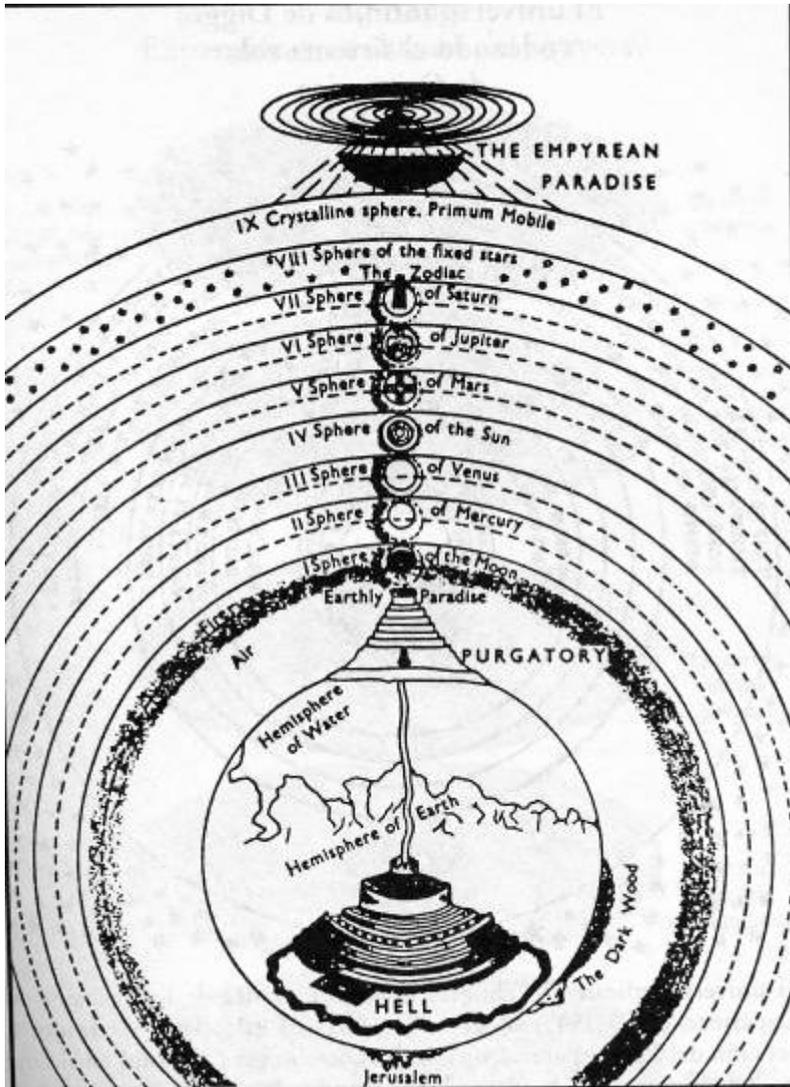
La cosmología occidental comienza con los griegos, quienes hace 2500 años comenzaron a hacer observaciones sistemáticas del cosmos. En su día apareció la visión del cosmos de Aristóteles, enfoque que prevalecería, a pesar de algunas modificaciones menores, a lo largo de toda la Edad Media hasta el Renacimiento. La de Aristóteles era una visión estética del universo que fue formalizada por la teología. Según Aristóteles, en el instante de la creación el Primer Hacedor (versión aristotélica del creador) estableció los cielos con un movimiento eterno y perfecto, con el sol, la luna, los planetas y las estrellas fijados en el interior de ocho esferas cristalinas que rotan sobre su centro alrededor de la Tierra. No había nada semejante al vacío; todo estaba lleno de la divina presencia. Toda la materia estaba constituida por los cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. Una quinta esencia formó las esferas, una sustancia perfecta que no podía ser destruida ni convertida en ninguna otra cosa; esta quintaesencia era llamada «éter». Los cielos eran perfectos e inmutables, en tanto que la Tierra era imperfecta y sujeta a la decadencia.

En la cosmología aristotélica el movimiento en los cielos era circular —otro signo de perfección— mientras que en la Tierra, cuando las cosas se movían lo hacían en línea recta. El estado natural de la materia era el reposo.

Diversas observaciones tanto del cielo como de la Tierra permitieron detectar anomalías en la cosmología de Aristóteles. Por ejemplo, los planetas parecían cambiar su curso;

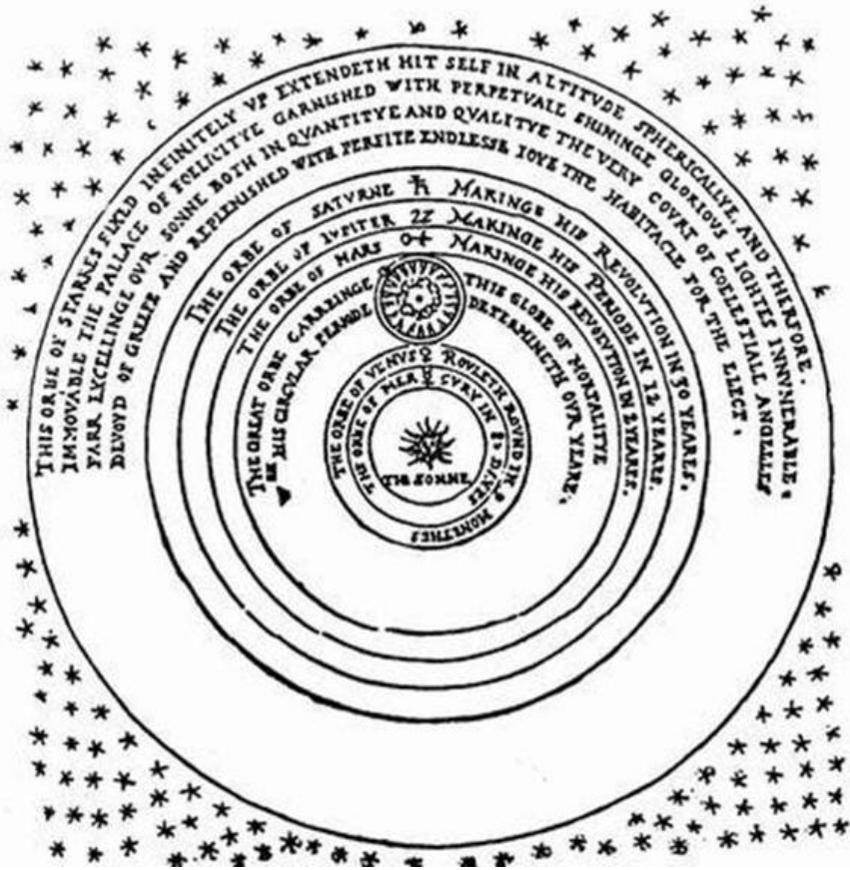
Marte de vez en cuando se detenía y luego invertía la dirección de su trayectoria. No obstante, tras las modificaciones realizadas por el astrónomo alejandrino Claudio Ptolomeo para dar cuenta de ciertas anomalías, la cosmología aristotélica persistió durante dos mil años y fue adoptada y adaptada por la teología cristiana.

*Los antiguos griegos organizaron sus observaciones del mundo en modelos cosmológicos, cuyo origen se remonta a unos 2500 años. Un modelo permanecía por encima de otros de acuerdo con su belleza. El astrónomo egipcio Ptolomeo (siglo II d. C.) trató de adaptar el modelo cosmológico para que concordara con las observaciones astronómicas de su época; su modelo tuvo una vigencia de 1400 años. (Christopher Slye).*

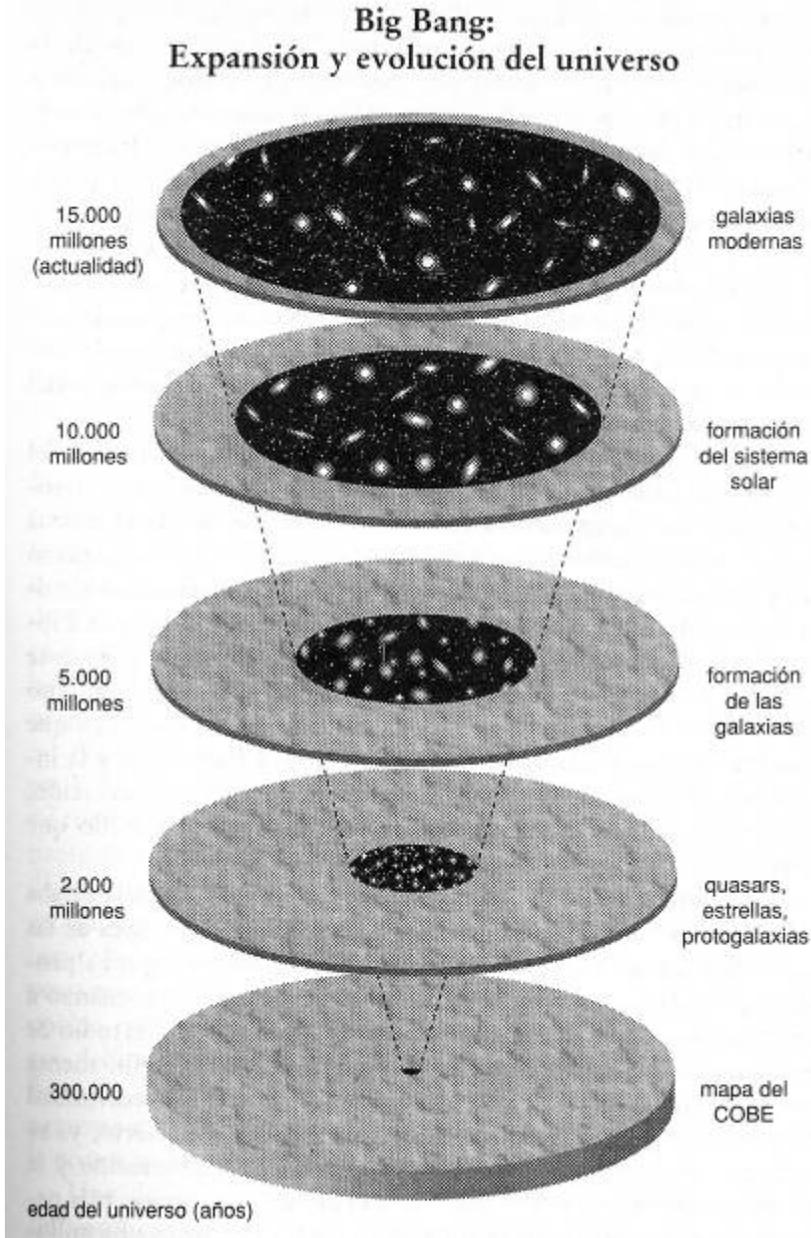


El universo medieval. La cosmología no era el reino exclusivo de la ciencia y la filosofía sino que incorporaba al hombre y su panteón. Este dibujo de la Divina Comedia de Dante (1256-1321) muestra el concepto medieval de universo, incluyendo la conexión entre la teología de la religión católica con la cosmología griega (ptolemaica).

## El universo infinito de Digges rodeando el sistema solar de Copérnico



El universo infinito de Thomas Digges. Después de los trabajos de Copérnico (1473-1543) sobre la reforma del calendario, realizados a petición del Papa, apareció una nueva cosmología con el sol en el centro del universo. Fue la época de los grandes descubrimientos tanto en la Tierra (expediciones de los navegantes españoles y portugueses) como en los cielos. El tamaño del sistema solar se multiplicó por 10 000 en un siglo. La idea de un universo pequeño dio paso a un sistema mucho mayor en 1576, cuando Thomas Digges (1543-1595) publicó su representación del sistema copernicano combinada con un espacio exterior de estrellas infinitamente extenso.



*La cosmología del Big Bang sostiene que el universo está en expansión y evolución. Si se mira atrás en el tiempo, el universo es más denso y caliente, y su contenido más joven. En los comienzos sólo había «semillas».*

En 1514 el papa encargó al matemático polaco Nicolás Copérnico la reforma del calendario. Copérnico aceptó el encargo, pero creyó que las relaciones entre los cuerpos celestes y sus movimientos debían reconsiderarse. Así lo hizo y en 1543, año de su muerte, publicó el trabajo titulado «Sobre la revolución de las esferas celestes», un documento que ataca los fundamentos de la cosmología aristotélica y por ello también a la teología cristiana que la había incorporado. Este trabajo fue el resultado de la emergente visión del mundo renacentista, en la que la lógica, las matemáticas y la observación ocupaban un lugar destacado. La Tierra ya no se encontraba en el centro del universo; el Sol estaba en el centro y la Tierra orbitaba a su alrededor como los demás planetas. Esta cosmología sitúa al Hombre fuera de la posición central, desde la cual había sido objeto de una constante vigilancia por parte de Dios, y al mismo tiempo mezcla lo perfecto con lo imperfecto, al colocar la Tierra en los cielos. Éste fue el principio del fin para el cosmos aristotélico.

Durante los últimos cuatro siglos el enfoque geocéntrico del cosmos fue cambiando gradualmente por las observaciones astronómicas y los experimentos realizados en la Tierra. De la misma forma como el universo geocéntrico de Aristóteles se reemplazó por el universo heliocéntrico de Copérnico, éste fue pronto sustituido por el de Newton y más tarde el de Newton por el de Einstein. Actualmente vivimos en el universo de Einstein, pero este enfoque del mundo también puede ser inadecuado algún día. Uno de los planteos de este libro, y de la historia de la ciencia, es que ninguna teoría es sacrosanta. A medida que la tecnología y la inventiva experimental amplían nuestros poderes de observación, debemos modificar nuestras teorías para incorporar aquello que observamos.

Cuando en 1970 me dediqué a la cosmología, la ciencia estaba sufriendo un cambio. En el pasado la astronomía y la física de las partículas habían encarado en forma inde-

pendiente algunos problemas fundamentales de la naturaleza. Pero en 1970 comenzó a darse una unión de esas dos disciplinas. Esta unión del estudio de lo increíblemente grande (astronomía) y lo increíblemente pequeño (física de las partículas) promete acercar la curiosidad humana a la respuesta de las últimas preguntas. Por cierto, ya se está moviendo en esa dirección, ya que la experimentación y la teoría nos permiten retroceder hacia el espacio de tiempo más pequeño imaginable, algo como  $10^{-42}$  segundos (es decir, una millonésima de una billonésima de una billonésima de una billonésima de segundo) después de lo cual creemos estar ante el origen del universo. La finalidad de la cosmología comienza en ese momento y acompaña la evolución consecuente de nuestro cosmos, que pasó de ser la menor fracción del tamaño de un protón (una de las partículas elementales de la que está hecha toda la materia conocida) a una interminable extensión esencial. Esta teoría de un cosmos en expansión es conocida popularmente como *Big Bang*. Para los cosmólogos, el *Big Bang* es una poderosa teoría que ha dominado la ciencia en las últimas tres décadas. Como lo indican las palabras, la teoría encara el comienzo del universo con una probable erupción. Pero a diferencia de una explosión convencional, el *Big Bang* no tuvo lugar *dentro* del espacio existente, sino que creó el espacio mientras se expandía (y continúa haciéndolo). El *Big Bang* fue la creación cataclísmica de la materia y el espacio.

Para entender las condiciones que permitieron que el *Big Bang* ocurriera, debemos abandonar nuestra noción racional de la materia, la energía, el tiempo y el espacio como separados. En el momento de la creación el universo existía en condiciones muy distintas, y probablemente actuaba de acuerdo a leyes diferentes de las de hoy. A veces la realidad de la cosmología supera nuestra comprensión.

A pesar de que la idea original del *Big Bang* es desarrollada entre 1927 y 1933 por George-Henri Lemaître, un sacerdote belga, no fue hasta 1964 que la teoría emergió