

Índice

Prefacio

1. En el comienzo
2. El oscuro cielo nocturno
3. El universo en expansión
4. Conflicto cosmológico
5. En busca de antimundos
6. Un espía en el cielo
7. Un universo diferente
8. El corazón de la oscuridad
9. El universo inflacionario
10. La promesa del espacio
11. Cobe: la alternativa
12. Primera ojeada a las arrugas
13. Un lugar horrible para la ciencia
14. Hacia la pregunta definitiva

Agradecimientos

Lecturas adicionales para profundizar sobre el tema

Ilustraciones

Prefacio

"El que lee mucho y anda mucho, ve mucho y sabe mucho"

Miguel de Cervantes

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, reajustes 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 volúmenes 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

Capítulo 1

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 observaciones 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 2.500 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,

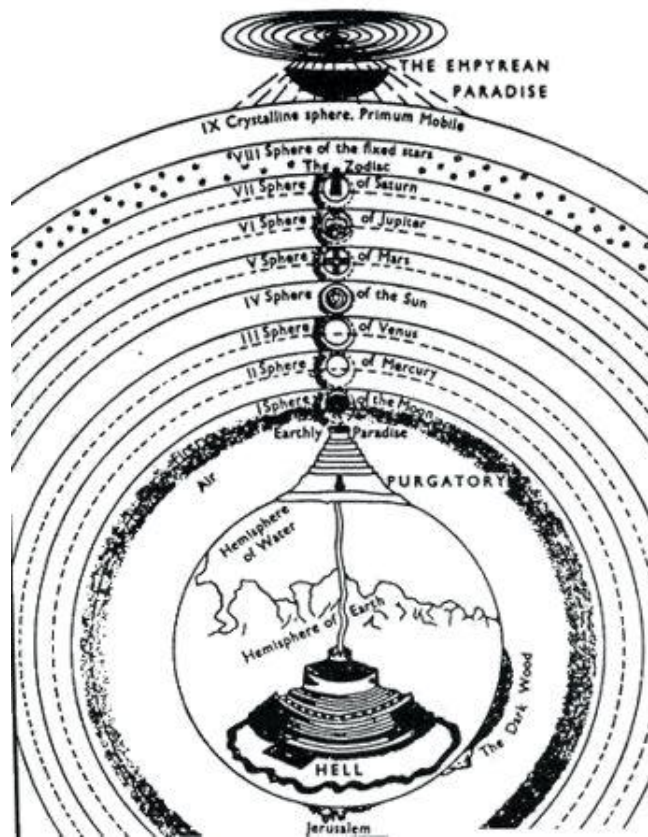
con el sol, la luna, los planetas y las estrellas fijados en el interior de ocho esferas cristalinas que rotan sobre su centro alrededor de la Tierra. No había nada semejante al vacío; todo estaba lleno de la divina presencia. Toda la materia estaba constituida por los cuatro elementos: tierra, agua, 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.



Los antiguos griegos organizaron sus observaciones del mundo en modelos cosmológicos, cuyo origen se remonta a unos 2.500 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 1.400 años. (Christopher Slye.)

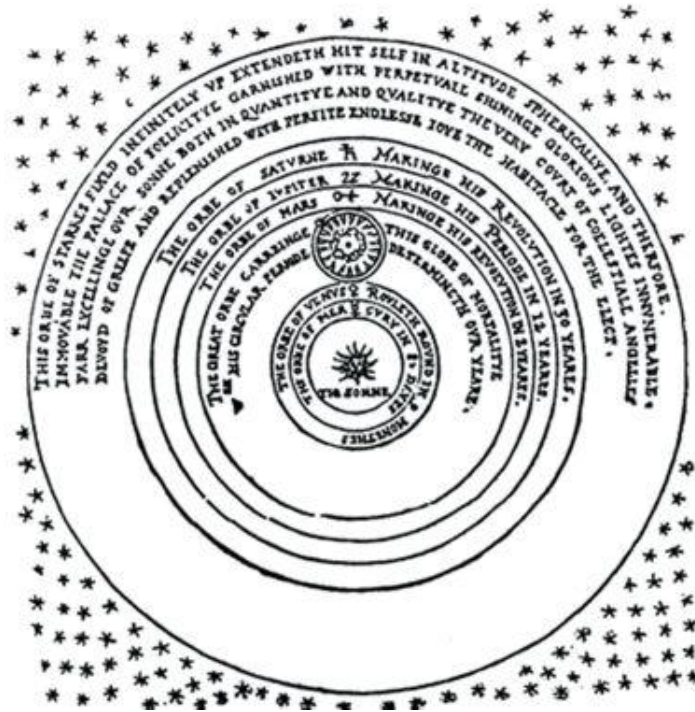
En la cosmología aristotélica el movimiento en los cielos era circular — otro signo de perfección— mientras que en la Tierra, cuando las cosas se movían lo hacían en línea recta. El estado natural de la materia era el reposo.

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.



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).

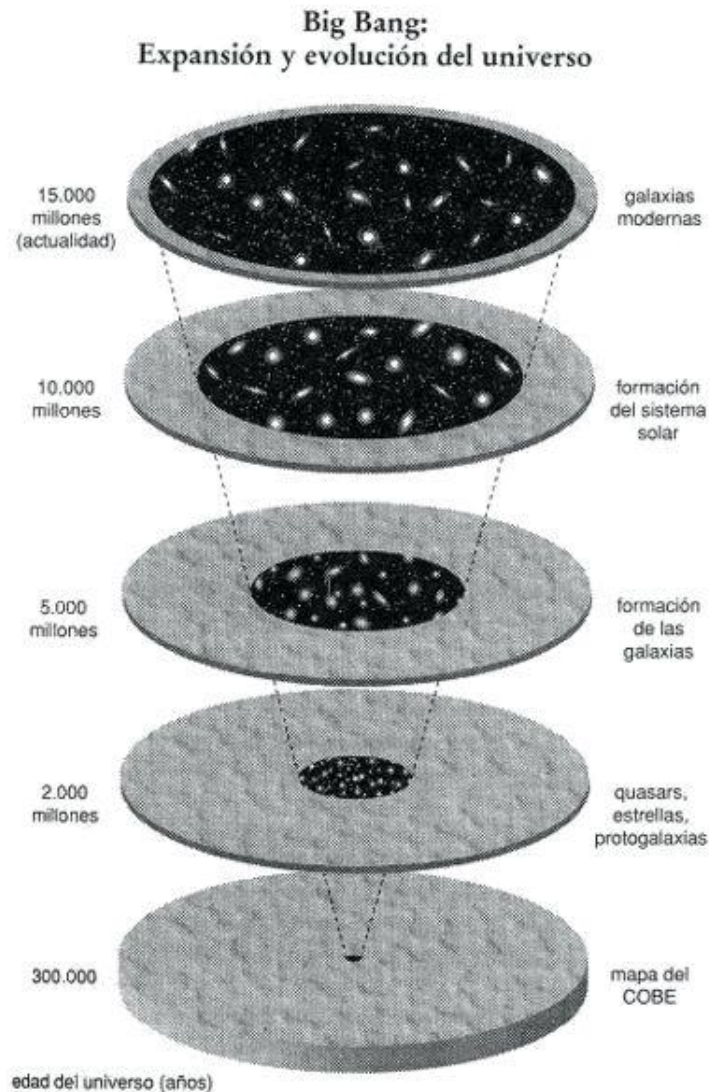
El universo infinito de Digges rodeando el sistema solar de Copérnico



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.

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.



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».

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 independiente algunos problemas fundamentales de la naturaleza. Pero en 1970 comenzó a darse una unión de esas dos disciplinas. Esta unión del estudio de lo incomprensiblemente 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.

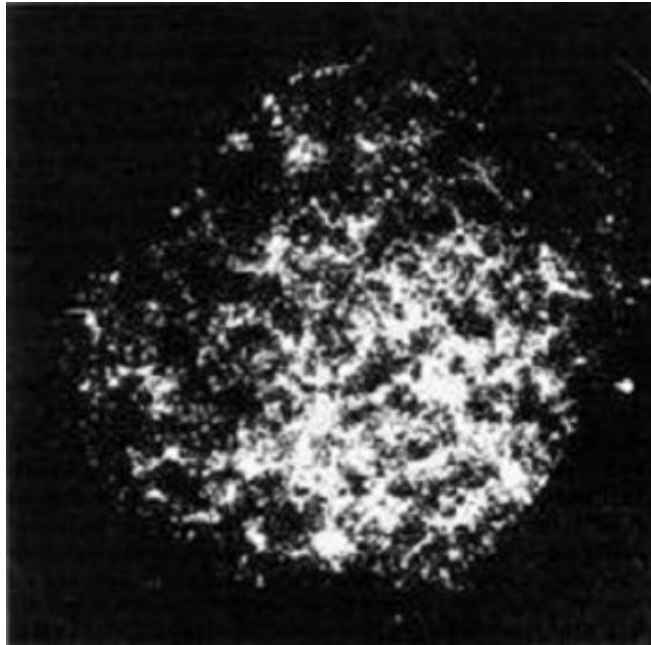


Fotografía de una galaxia en espiral, la NGC 1232, a una distancia de 65 millones de años-luz. La materia visible se agrupa en estrellas y las estrellas se organizan en sistemas gigantes llamados galaxias. Si pudiéramos ver nuestra Vía Láctea, éste sería posiblemente su aspecto.

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 como la explicación dominante de cómo el universo llegó a ser lo que es. En ese año dos radioastrónomos norteamericanos descubrieron lo que parecía ser un débil resplandor del antiguo cataclismo. Ese resplandor, un invasor de sonido de radiación con una temperatura equivalente a poco más de 3° Kelvin (tres grados sobre el cero absoluto), es conocido como radiación cósmica de fondo y nos da una

rápida imagen del universo tal como era unos 300.000 años después del Big Bang. Es a través de la radiación de fondo que mis colegas y yo esperamos descubrir nuestras arrugas en el tiempo, el Santo Grial de la cosmología.

Uno de los mayores desafíos para la teoría del Big Bang ha sido explicar cómo la materia está distribuida a través del espacio del cosmos en constante expansión.



Estudio de un millón de galaxias del observatorio Lick. Dibujo de la localización de un millón de galaxias que cubren un hemisferio celeste. Obsérvese que las galaxias no están distribuidas al azar sino organizadas, formando grupos que a su vez están agrupados (racimos). Existen esferas vacías con galaxias en su superficie y grupos en las intersecciones de las esferas vacías, en una distribución que se asemeja al jabón. La mayor materia se agrupa a gran escala desde las estrellas hasta las configuraciones de mayor tamaño observadas. (Edward Shaya, James Peebles, J. R. Brent Tully.)

Es posible imaginar que toda la materia puede haber sido distribuida uniformemente a través del espacio, haciendo del universo una nube de gas homogénea, con una densidad promedio de alrededor de un átomo de hidrógeno por cada diez metros cúbicos. (Como comparación, el aire que respiramos contiene 3×10^{25} átomos por metro cúbico, fundamentalmente de nitrógeno, oxígeno y carbono, todos ellos más

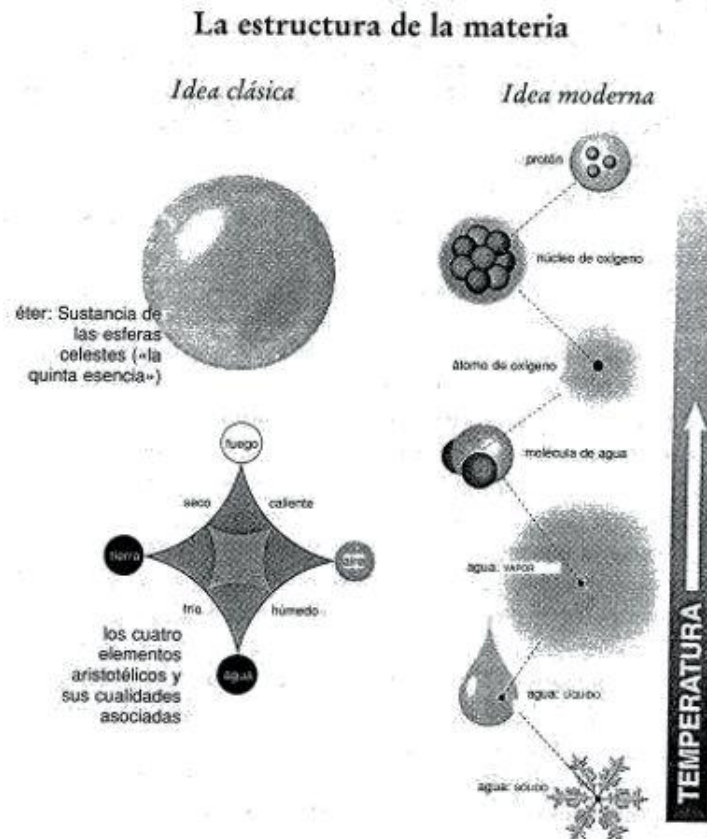
grandes que el de hidrógeno.) Si el universo actual, unos 15.000 millones de años después de formado, fuera una nube de gas virtualmente interminable, el cielo nocturno sería inexorablemente negro y nosotros no estaríamos aquí para observarlo. Sin embargo, sabemos por nuestra existencia misma que algo en la evolución del universo hizo que la materia se condensase para formar estrellas y planetas, y finalmente la vida (no exactamente la vida en la Tierra sino, con una probabilidad que se acerca al ciento por ciento, en millones de otros planetas, incluyendo algunos en nuestra Vía Láctea).

Nuevamente, es factible imaginar que las estrellas, como nuestro Sol con sus órbitas planetarias, pueden haber sido distribuidas uniformemente a través del universo, una nube uniforme de miles de millones de puntos luminosos en el firmamento nocturno. Pero nuestra experiencia nos dice que no fue así. El Sol no es sino una de los cientos de millones de estrellas similares en una enorme galaxia espiral rotatoria, con forma de disco —la Vía Láctea—, que se ve como una sutil banda en el cielo de la noche. Para todos los fines y propósitos, todas las estrellas forman parte de esas galaxias. La materia, entonces, no sólo está agrupada formando estrellas sino también como grupos de estrellas o galaxias.

De nuevo es posible imaginar que todas las galaxias, una vez que por la condensación de la materia han constituido una comunidad de estrellas, pueden haber sido distribuidas uniformemente a través del universo, una nube uniforme de espirales borrosas en el cielo de la noche. Un descubrimiento tan importante como reciente de la cosmología es que tampoco ése es el caso. A menudo las galaxias no sólo están reunidas como grupos de miles de galaxias, sino en entidades mayores conocidas como supercúmulos y estructuras mayores aun, algunas de muchos millones de años luz de extensión. En otras palabras, en el universo la materia está altamente estructurada. Una imagen útil del universo es una espuma compuesta por burbujas de jabón, en la que las paredes de éstas representan concentraciones de galaxias y su interior vastas áreas vacías del espacio.

Pero para el cosmólogo moderno la estructura y la formación de la materia visible no es más que una parte del problema. Salga el lector esta noche, y si recibe la bendición de un cielo claro y una lucecita extraña, mire detenidamente el firmamento. Si usa binoculares o un telescopio verá un cielo nocturno ardiente,

como lo vio Galileo hace cuatro siglos, con millones de estrellas y galaxias, la sustancia de la creación. Esto es lo que pensamos habitualmente cuando hablamos sobre el universo.



La visión moderna de la estructura de la materia no hace ninguna distinción entre materia celeste y terrestre, a diferencia de los antiguos griegos. El éter cristalino de las esferas celestes se ha suplantado por la noción de materia y por leyes físicas que rigen en todas partes. Nuestra idea actual de la materia es que está hecha de bloques simples que se juntan para formar estructuras cada vez más complejas. A medida que aumenta la complejidad se hace más difícil mantener la estructura. Cuando aumenta la energía de las interacciones (por ejemplo, la temperatura) la materia se presenta bajo estructuras sucesivamente más simples. Éste es el camino que ha marcado el progreso de la Física, mientras que el universo se ha construido en la dirección contraria (de lo simple a lo complejo). (Christopher Slye.)

Sin embargo, aquello que el lector *no* verá es de mayor importancia para los teóricos. Si la cosmología moderna es correcta, las estrellas que brillan en el cielo nocturno representan menos del 1 por ciento del material de la creación. La mayor parte de la materia creada durante el Big Bang puede sernos completamente extraña, invisible a nuestros ojos y mucho más allá de nuestra experiencia física.

Este rompecabezas cosmológico tan nuevo como gigantesco está relacionado con la investigación de la cosmología en las últimas tres décadas. El descubrimiento en 1964 de la radiación cósmica de fondo parece confirmar la realidad del Big Bang. Pero deja sin contestar una pregunta clave: ¿cómo dirigió el Big Bang la formación de estrellas, galaxias, cúmulos galácticos y demás, por condensación de la sustancia de la creación? Si el Big Bang tuvo lugar, las claves para la formación de las estructuras que actualmente vemos en el universo deberían ser observables en los primeros residuos de la furia de la creación. Los indicios deberían advertirse en la radiación cósmica de fondo.

Para sus descubridores, la radiación de fondo proveniente de todas las regiones del universo tiene la misma apariencia, una imagen que muestra un tejido uniforme de espacio y energía. Pero para que las estructuras se condensaran a partir de los productos del Big Bang, ese tejido uniforme tiene que haber tenido pequeñas arrugas, fluctuaciones en la temperatura causadas por las áreas de mayor densidad. De acuerdo con la teoría del Big Bang, la materia (familiar y no familiar) puede haberse condensado para más tarde formar estructuras galácticas en esas áreas a través de la gravedad. Esas arrugas —a las que podemos llamar «semillas cósmicas» de las que crecieron las galaxias— tienen que haber estado presentes, pues de otra manera la cosmología moderna, y específicamente la teoría del Big Bang, se verían en serias dificultades.

Cuando llegué al Instituto Tecnológico de Massachusetts, o MIT, tenía una amplia variedad de intereses. Estaba interesado en hacerme médico, una profesión útil y gratificante, que ayuda a la gente tanto por el tratamiento que se le puede brindar como por las investigaciones de interés. Pero los primeros cursos me llevaron a interesarme cada vez más por las matemáticas y la física, especialmente esta última, cuya belleza y cuyos conceptos me fascinaron. Ya profesional me acerqué a

la física nuclear, una fortaleza del MIT, que significó un enorme cambio comparada con la física más simple y estética que había visto hasta entonces.

La ciencia ha evolucionado desde los cuatro elementos básicos de los griegos hasta el enfoque moderno de un mundo constituido por átomos. A temperaturas bajas estos átomos se combinan para formar estructuras muy complejas. Cuando la temperatura sube, la energía calórica separa los átomos entrelazados en estructuras más simples y simétricas. Por ejemplo, un copo de nieve sólido se derrite en el agua, un líquido que se transforma en vapor, un gas compuesto de moléculas individuales de H₂O. A temperatura más alta las moléculas se separan en átomos individuales de oxígeno e hidrógeno. A temperaturas más altas aún, los electrones se separan de los átomos, los cuales, según han descubierto los científicos, son más simples de lo que parecen —fueron hechos de electrones en una nube alrededor de un pequeño núcleo más denso, compuesto a su vez de protones y neutrones—. El número de protones determinaba el de electrones en la nube atómica y, por lo tanto, las propiedades químicas del átomo. Los electrones de fuera de la nube atómica eran el elemento por el cual los átomos se podían unir para formar las sustancias. Los electrones eran simples partículas con aspecto de puntos, todos idénticos, y llevaban una sola unidad de carga eléctrica.

Esto formaba un cuadro maravillosamente simple: toda la materia se forma combinando de diferentes maneras sólo tres partículas simples: el electrón, el protón y el neutrón. A su vez esos elementos se combinan para hacer estructuras todavía más complejas. Lamentablemente los físicos nucleares descubrieron que el protón y el neutrón no son simples, como el electrón. En las colisiones de alta energía se descubrieron nuevas partículas en el conjunto. La fuerza que mantiene en el núcleo a los neutrones y los protones (la fuerza nuclear fuerte) al parecer no es tan pura y simple como la fuerza eléctrica que mantiene los electrones en el átomo, o la gravedad que nos sostiene en la Tierra. A altas energías la física parece algo confundida. La fuerza fuerte resultó mucho más compleja. Esto invirtió la pauta que hacía a la física tan hermosa y fundamental. Idealmente, la física debería reducir el número de cosas que están separadas y que deben ser recordadas y explicadas. En cambio, las interacciones eran ahora más complicadas y había una plétora de partículas de uso desconocido.

Esto también me dio un respiro sobre el modelo del Big Bang. Si los núcleos elementales eran tan difíciles de entender, ¿cómo podía alguien esperar entender el átomo primordial de George-Henri Lemaître con su núcleo tan grande como el sistema solar? En densidad nuclear el universo resultaba muy complicado. ¿De qué manera podíamos descubrir cómo empezó el universo?

Afortunadamente, en esa época el profesor David Frisch aceptó ser mi director de tesis y me reclutó para trabajar con su grupo. Éste había montado un detector en el gran acelerador del Laboratorio Nacional de Brookhaven, en Long Island. Habían reunido montones de datos que mostraban los escombros resultantes de la colisión de los protones de alta energía del acelerador con los núcleos de deuterio del detector. (Un núcleo deutérico contiene un solo protón y un neutrón y forma el hidrógeno pesado.) En estos restos había rastros de un gran número de partículas, muchas de las cuales eran tan efímeras que moviéndose casi a la velocidad de la luz sólo podían desplazarse el tiempo que dura un suspiro, o menos, antes de que su vida terminara y cayeran en otras partículas. Me pidieron que investigara algunos de los datos. Lo hice, y descubrí que alrededor de un tercio del tiempo una partícula misteriosa, la eta—cero, se disolvía en tres partículas más livianas, pi-cero, que de inmediato decaían en dos rayos gamma (cuantos de energía eléctrica) cada una. Era una tarea difícil porque tenía que identificar seis rayos gamma en todos los desechos y determinar si provenían de la cascada de escombros. Pero era muy gratificante examinar las figuras, medir los rastros, calcular las propiedades y las probabilidades y, finalmente, aprender algo sobre estas cosas tan elusivas y exóticas.

A Frisch le gustaron mis resultados y me invitó a trabajar con otro estudiante que acababa de obtener la licenciatura, Don Fox, a fin de elaborar un experimento para encontrar más partículas de vida corta que pudieran caer en las partículas K-cero. Las K-cero se comportaban de manera extraña, pues su período de vida era misteriosamente largo, lo que les permitía recorrer distancias macroscópicas antes de decaer. Enseguida pusimos manos a la obra. En un par de años me encontré trabajando en una tesis doctoral en otro experimento que mostraba cómo la caída de esas extrañas partículas seguía ciertas reglas —en especial para determinar si un

cambio en la rareza de una partícula va siempre acompañado por un cambio simultáneo de carga eléctrica.

La comunidad de físicos de partículas consideró esto un experimento fundamental, y pronto Dave Frisch, Orrin Fackler, Jim Martin, Lauren Sompayrac y yo nos encontramos compitiendo con otros cuatro grupos. En el centro atómico de Brookhaven trabajábamos con imanes gigantes, contadores de partículas y detectores de pistas y en nuestro laboratorio con computadoras mediante las que analizábamos los datos. Mientras nos hallábamos profundamente concentrados en este experimento, ansiosos por hacerlo lo mejor posible, en el despacho al otro lado del vestíbulo el grupo de Jerome Friedman y Henry Kendall llevaba a cabo un experimento para medir el tamaño y la forma del protón. Utilizaban el acelerador de electrones de la Universidad de Stanford porque los electrones son, simplemente, especies de sondas con aspecto de puntos dentro de los complicados protones. El teórico del acelerador de Stanford, Bjorken, mostró que su experimento suministraba pruebas de que el protón no es fundamental sino que está hecho de piezas más pequeñas a las que llamaron partones. Encontraron que los protones y los neutrones están hechos de partículas más simples ahora llamadas quarks. La interacción de esos quarks se hace más débil y simple cuanto más unidos están y más alta es su energía. Todas las partículas adicionales que los físicos habían encontrado eran simples combinaciones inestables de quarks que rápidamente formaban combinaciones más estables.

Era estupendo. Yo sentía que la física estaba sobre la pista. A energías altas las cosas se hacen menos complicadas y más simétricas. El Big Bang parecía mucho más tratable, y a medida que uno se acercaba al principio del universo, la física se volvía mucho más simple y fácil. Ahora era más sencillo para mí imaginar todo el universo reducido a una región más pequeña que un protón. Cuando uno llega al núcleo primordial de Lemaître, puede seguir adelante. Los protones y los neutrones se disuelven en una sopa de quarks. Si estos quarks tienen aspecto de puntos, o por lo menos son muy, muy pequeños, entonces no supone problema alguno empujarlos dentro de una región del tamaño de un protón. Al estar muchos quarks apiñados resisten menos que cuando sólo son tres en un protón. Sin embargo esta compresión requiere una temperatura inimaginablemente alta.

La comprensión de estos aspectos, y el hecho de que la física experimental de partículas se estaba volviendo extremadamente multitudinaria (dejando pocas oportunidades para que un individuo solo pudiera hacer un descubrimiento impactante), me impulsaron en 1970 a dedicarme a la cosmología. Cuando me incorporé a este ámbito de la ciencia, la teoría del Big Bang ya era preponderante, pero el proceso del Big Bang, su cataclismo, la creación de toda la materia, y la formación de las galaxias, me parecían casi místicos. Recuerdo que más de una vez me ponía a contemplar el cielo nocturno y pensaba que el Big Bang parecía tan poco probable como la imagen de Atlas sosteniendo el mundo sobre sus hombros, provocando terremotos cuando cambiaba de posición para estar más cómodo. Veinte años más tarde puede seguir pareciéndome místico, pero no porque sea acientífico, sino porque representa algo sumamente importante para la psicología humana.

Otros también sienten esto, tal como lo demuestran los frecuentes artículos que la prensa dedica a la teoría —bien porque surge alguna nueva evidencia que la apoya o amenaza, bien porque la ausencia de evidencia la deja sin soporte—. El que la sociedad preste tanta atención a una teoría científica indica a las claras la fuerza mítica de esa teoría. La gente sabe que se trata de ciencia, pero quiere que sea algo más que eso. Por ejemplo, en la reunión anual de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, que tuvo lugar en Boston en 1993, una de las sesiones estuvo dedicada a tratar «El significado teológico de la cosmología del Big Bang». Los científicos y los teólogos estudiaron conexiones entre la ciencia fundamental del Big Bang, como está descrito por la teoría corriente, y la historia cristiana de la creación.

No hay duda de que existe un paralelismo entre el Big Bang como hecho y la noción cristiana de la creación a partir de la nada. (La creación a partir de la nada no aparece en la Biblia misma, pero fue formulada más tarde para excluir la enseñanza gnóstica de que la materia es perversa, el producto de un ser inferior, no el trabajo de Dios.) Al respecto es significativo que en 1951 el papa Pío XII invocara la teoría del Big Bang y la evidencia observacional que la apoya: «Los científicos están comenzando a encontrar los dedos de Dios en la creación del universo».

Al hombre siempre le ha obsesionado la búsqueda de sus propios orígenes. Los mitos de la creación son ubicuos, y en el mundo antiguo a veces eran centrales las imágenes del cosmos frente a todos los aspectos de la vida —religiosos, políticos y militares—. De modo que no debe sorprendernos que el Big Bang, aun en este moderno mundo secular, tome a menudo las dimensiones de un mito.

Como ciencia, el Big Bang es una teoría poderosa que sirve para explicar el origen y la evolución del universo. Pero nuestro deseo de entender el cosmos va mucho más allá de la historia de la ciencia y sus métodos racionales. Como dijo Joseph Campbell, el primer intérprete de la mitología en el mundo: «Lo que los humanos estamos buscando en una historia de la creación es una manera de experimentar el mundo capaz de abrirnos las puertas de lo trascendente, que nos informe al mismo tiempo que nos forma dentro de él. Eso es lo que la gente quiere. Eso es lo que pide el alma.» La sociedad está básicamente sedienta de ciencia y de mitología, y en la teoría del Big Bang ambos aspectos están íntimamente relacionados.

En las páginas que siguen relato diversos intentos por comprender por qué el universo es como es, los heroicos esfuerzos que ayudaron a desarrollar la extraordinaria historia de la creación que llamamos teoría del Big Bang. También cuento las aventuras de mis colegas y yo en nuestra larga búsqueda de las arrugas en el tiempo, esos ecos distantes de la primera formación de las galaxias.

Capítulo 2

El oscuro cielo nocturno

En el invierno de 1984 trabajé en Roma durante una semana. Asistía a un seminario científico sobre el universo primitivo y en el que presenté una ponencia en colaboración con R. Mandolesi, G. Sironi, L. Dáñese y G. Dáñese de las universidades de Boloña, Milán y Padua. Durante cuatro años habíamos trabajado juntos midiendo la intensidad de la radiación cósmica de fondo, un proyecto que había llegado a constituir una parte importante de mi carrera como cosmólogo. Anteriormente había visitado Italia un par de veces, pero aún no había visto la torre inclinada de Pisa. Esta vez estaba decidido a hacerlo.

Impaciente por que la conferencia terminase, alquilé un coche un viernes por la tarde y me dispuse a conducir los 450 kilómetros que separan Roma de Pisa, una vieja ciudad de la Toscana. A pesar de que conduje tan rápidamente como me lo permitían las carreteras italianas, llegué al atardecer y con el temor de que fuese demasiado tarde para entrar en la torre. En una gasolinera situada al sur de esta impresionante ciudad amurallada pedí instrucciones —en un italiano chapurreado— para llegar a la torre inclinada de Pisa. «¡Ah, *Piazza dei Miracoli!*», respondió el encargado, con evidente respeto. Suponiendo que ambos hablábamos de lo mismo, seguí sus instrucciones para circundar la ciudad fuera de la muralla y entrar por la puerta noroeste.

Aparqué apresuradamente y crucé las puertas, aunque en ese momento me di cuenta de que sólo podría ver la torre, pero no acceder a ella. Allí estaba la Piazza; la catedral se hallaba directamente enfrente de mí. La torre inclinada se alzaba justo detrás de la catedral, en tanto que en el ángulo formado entre ellas se elevaba la luna llena, cuya luz cristalina se reflejaba en el reluciente mármol blanco de la torre. Era uno de esos raros momentos en que la realidad supera cualquier expectativa. La arquitectura, la hierba de un verde oscuro y el mármol blanco brillando a la luz de la luna constituían una escena que literalmente cortaba la respiración. Supe entonces por qué la llamaban *Piazza dei Miracoli*.

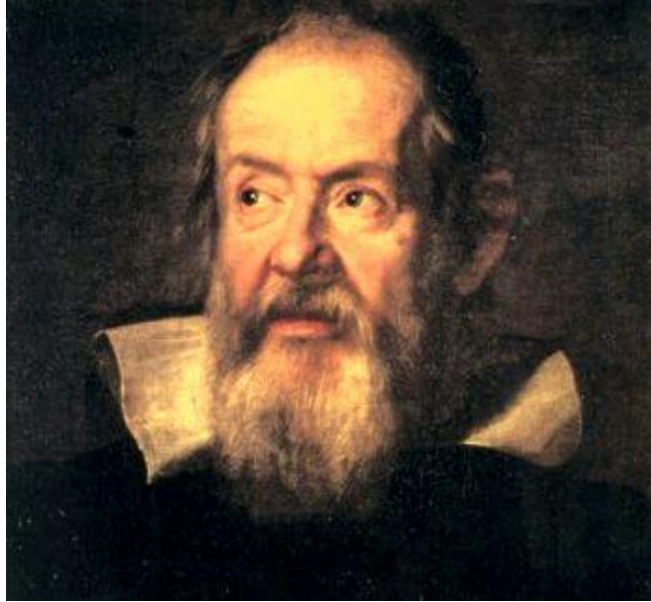
Para cualquiera, la arquitectura de Pisa es suficiente motivo para visitar la ciudad. Sin embargo, a mí me movían otras razones. Cuenta la leyenda que Galileo Galilei

(1564-1642) llevó a cabo en la torre inclinada un experimento que constituye el fundamento de la física y la cosmología modernas. Se dice que desde lo alto de la torre dejó caer dos objetos de diferentes masas, para ver si llegaban al suelo simultáneamente. Así lo hicieron, y de este modo quedó demostrado que todos los objetos en caída libre aceleran en la misma proporción, independientemente de la masa.¹

Además de ser el primer físico experimental que llevó el estudio del movimiento de la filosofía abstracta a la ciencia concreta, Galileo fue también el primer astrónomo que dirigió un telescopio al cielo. Por lo tanto, la presencia de la luna en ascenso cuando llegué a la *piazza* fue doblemente apropiada: comprendemos su movimiento gracias a la física newtoniana que evolucionó a partir de los experimentos de Galileo; y comprendemos su configuración gracias a sus observaciones pioneras con el telescopio.

Cuando de niño leí acerca del experimento de Galileo, me encantaron su simplicidad y su dramatismo. Desde aquel instante, Galileo se convirtió para mí en una figura mítica, un verdadero héroe del largo viaje de la ciencia para comprender el mundo: de ahí la necesidad que sentía yo de visitar el lugar del experimento. Comprendo que algunos historiadores consideren apócrifa la historia, pero yo creo en ella. Galileo ya sabía muy bien que tal experimento era factible, porque había sometido a prueba su principio científico haciendo rodar esferas de masas diversas por un plano inclinado. Estos objetos descendían más lentamente por el plano inclinado que las esferas lanzadas desde una torre, por lo que sus movimientos eran más fáciles de calcular. Uno no puede por menos de imaginar el talento de Galileo a la hora de montar espectáculos científicos para demostrar que lo que ya sabía era verdadero, lanzando esferas ante un público incrédulo. Debe de haber sido un poderoso argumento visual de la ley científica fundamental, y un duro golpe para sus colegas aristotélicos que enseñaban en la universidad. Más tarde, Galileo tuvo que abandonar la sofocante Pisa por la más abierta universidad de Padua.

¹ El principio de Galileo de la caída de los cuerpos fue demostrado en el transcurso de una de las misiones Apolo a la Luna, que carece de aire. Un astronauta dejó caer una pluma y un objeto pesado. Todo el mundo pudo ver por medio de la televisión cómo chocaban contra el suelo lunar al mismo tiempo.



Galileo Galilei, cuyas intuiciones constituyeron los fundamentos de la física newtoniana. (Yerkes Observatory.)

A la mañana siguiente subí hasta lo alto de la torre y, apostándome donde seguramente se había situado Galileo, tuve la certeza de que el experimento debió de haber sido irresistible. Luego dejé la torre y me dirigía la catedral, el *Duomo* de Pisa, donde un cuidador me llevó hasta el centro de la nave, señaló hacia arriba y dijo: «*Lanterna di Galileo*». Colgando del altísimo techo desde una distancia de tres pisos, se hallaba la lámpara que Galileo había observado mientras asistía a los servicios de la catedral en la década de 1580. Se dice que era responsabilidad de Galileo controlar que la lámpara siempre estuviese encendida, y mantener un reloj cerca de ella. Pero hizo algo más que controlar la llama. A la sazón, era también estudiante de medicina y usó el latido regular de su pulso para calcular las oscilaciones de la linterna cuando era empujada por las corrientes de aire. El sentido común sugiere que cuanto mayores son las oscilaciones, más tiempo tardan. Pero Galileo observó que todas las oscilaciones, independientemente de su amplitud, tardaban exactamente el mismo tiempo: había descubierto el principio del péndulo. Pronto hizo otros experimentos y logró nuevos conocimientos sobre el movimiento y la inercia.

Hacia finales del siglo XVI la filosofía había devenido abstracta, idealizando conceptos de la naturaleza divorciados de la realidad física. Esto era insuficiente

para Galileo, quien deseaba aprender las leyes naturales por medio de experimentos y observaciones. Construyó un telescopio; vio fases del planeta Venus (que brindaron una prueba directa de la teoría copernicana); observó satélites girando alrededor de Júpiter (otra prueba, menos directa, de la astronomía copernicana, pues no todos los cuerpos celestes giran alrededor de la Tierra y el sistema joviano se asemejaba a un pequeño sistema solar); descubrió incontables estrellas en la Vía Láctea (prueba de que el universo era mucho mayor de lo que se creía); y descubrió cráteres y montañas en la Luna, además de vastas y llanas regiones que supuso (erróneamente) eran mares. Estas características terrestres entre los cuerpos celestes —además de las manchas que detectó en el Sol— probaron que los cielos no eran tan «perfectos» como la teología de su tiempo suponía. Quizá el «éter» celeste fuera un mito; quizá la Tierra y el cielo consistiesen en la misma «materia» que obedecía a idénticas leyes del movimiento. (Más tarde, estas ideas permitieron a Newton percibir el vínculo entre una manzana que cae y el movimiento lunar alrededor de la Tierra.) Así se derrumbaron las barreras medievales entre el cielo y la Tierra, entre el éter y la materia. En cierto sentido, el genio de Galileo hizo que la física y la astronomía se convirtieran en una misma disciplina. Fue la mayor fusión de dos ciencias físicas hasta finales del siglo XX, cuando la cosmología y la física cuántica de partículas empezaron a fusionarse.

Al principio, los funcionarios de la Iglesia toleraron los escritos de Galileo, pese a su desafío de establecer un dogma sobre el universo. Pero cuando sus ideas y observaciones aparecieron en libros (como *El mensajero de las estrellas*) escritos en italiano (ya no en latín, más académico) para un público de masas, los cardenales se pusieron cada vez más nerviosos. En 1633 la Inquisición lo obligó a retractarse de sus ideas de rodillas. Cuando se levantó para marcharse, se dice que murmuró: «Y sin embargo se mueve» (la Tierra). Luego sufrió arresto domiciliario, más tarde perdió la vista y por fin, en 1642, murió.²

Sin embargo, más tarde fue enterrado en la iglesia de Santa Croce, en Florencia, junto con otras figuras notables, como Maquiavelo, Miguel Ángel, Dante y Rossini.

² En 1992, tres siglos y medio más tarde, el papa Juan Pablo II promulgó una disculpa oficial por el trato que la Iglesia dio al astrónomo florentino. Ahora la Iglesia mantiene a astrónomos y otros científicos para que le aconsejen sobre el mundo físico. En la actualidad es difícil imaginar sociedades científicas que tengan teólogos y otras personas que les sirvan de consejeros sobre el mundo espiritual. Las sociedades científicas mantienen abogados y, ocasionalmente, comisiones de ética para que les aconsejen. A medida que la ciencia madure y encuentre su ámbito, es probable que hallemos más interacciones de este tipo.

Por esa razón, Santa Croce es uno de mis lugares favoritos: en ella se dan cita el arte, la escultura y la arquitectura (incluyendo la Capella dei Pazzi de Brunelleschi), pero lo más importante es que está a sólo un par de manzanas de *la gelateria* Vivoli que tiene los mejores helados del mundo.

Los experimentos de Galileo, más las observaciones del astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) y la obra teórica del astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630) prepararon el camino para la física newtoniana. Es aquí donde comienza la mayor parte de la ciencia que describimos en este libro. Las ecuaciones de Newton son utilizadas de incontables maneras, desde la creación de modelos de la formación de supercúmulos galácticos hasta el trazado de las órbitas de los satélites. Si Einstein fue el padre de la cosmología moderna, y Newton su abuelo, entonces Galileo sin duda fue su bisabuelo.

Cada uno de estos tres grandes genios encarnó, a su turno, la revolución intelectual de su tiempo, alterando de modo dramático nuestra visión del universo. El universo percibido por Galileo era finito y estático. Con las leyes newtonianas de movimiento y gravedad y las teorías de Einstein acerca de la relatividad especial y la relatividad general, el universo llegaría a ser considerado infinito y dinámico.

¿Qué impide que las estrellas fijas caigan unas sobre otras?

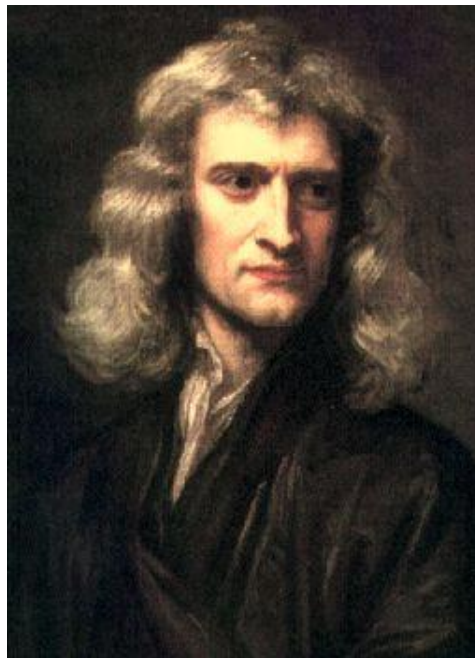
Isaac Newton, *Opticks* (1704)

La idea de un cosmos infinito era chocante para la ortodoxia establecida, sólidamente fundada en la teología. El viejo cosmos cristiano había sido diminuto y confortable; los seres humanos estaban en el centro de toda la creación, literalmente vigilada por Dios y los ángeles. Pero a finales del siglo XVII la posibilidad de un universo infinito atrajo la atención de los círculos intelectuales. La cosmología de Copérnico proporcionó una sólida razón científica para sospechar que el cosmos era mucho mayor de lo que nunca se había soñado, si no infinito.

La posibilidad de un vasto universo, quizá infinito, había sido discutida en 1576 por el autor inglés Thomas Digges, quien describió la «órbita de las estrellas fijas infinitamente arriba... brillando eternamente con gloriosas luces innumerables que superan a nuestro sol en cantidad y calidad». Más recordado es el valiente y fogoso

monje italiano Giordano Bruno, quien insistía en la existencia de «innumerables soles y un número infinito de tierras que giraban alrededor de esos soles». Bruno también expresó ideas políticas radicales, actitud poco prudente en aquellos días de Reforma y Contrarreforma. En el año 1600 fue condenado a morir en la hoguera.

Si Bruno tenía razón, entonces la Tierra sólo era un planeta que giraba alrededor de una entre innumerables estrellas. Todos hemos oído leyendas de isleños del Pacífico que se desorientaban al enterarse de que había tierras más allá de sus propias costas, que la Tierra no es plana sino redonda y que gira alrededor de su eje y rota en torno al Sol. Muchos europeos sintieron lo mismo a finales del siglo XVII mientras contemplaban la Vía Láctea, el mar de soles recién descubierto, e imaginaban incontables mundos girando alrededor de esos soles. El matemático francés Blas Pascal expresó los sentimientos de muchos cuando escribió: «El silencio eterno de esos espacios infinitos me llena de terror».



Isaac Newton, que sin saberlo «descubrió» la posibilidad de un universo en expansión al proponer sus leyes del movimiento y su teoría sobre la gravedad.

(Yerkes Observatory.)

La culminación de la revolución copernicana, y con ella la eventual aceptación de un universo infinito, llegó con la publicación de los *Principia* de Newton. Isaac Newton

(1642-1727), nacido el año en que murió Galileo, ha sido el científico más influyente desde Copérnico, y sólo ha sido igualado por Einstein. Sus leyes sobre el movimiento y la gravitación universal han tenido un profundo impacto sobre la ciencia y constituyen las generalizaciones de mayor alcance formuladas por la mente humana. En sus *Principia*, Newton demostró que la nueva cosmología tenía sentido físico en términos de las leyes del movimiento. En base a los datos experimentales de Galileo y la obra teórica de Kepler sobre los movimientos planetarios, formuló tres leyes del movimiento, que son las siguientes:

1. el principio de inercia, según el cual un cuerpo en movimiento continuará en movimiento uniforme hasta que algo actúe para desviarlo;
2. todo cambio en el movimiento de un objeto depende de la fuerza aplicada sobre ese objeto dividida por la masa del objeto mismo; y
3. a cada acción corresponde una reacción igual y opuesta. La ley de la gravitación de Newton sostiene que la fuerza de la gravedad entre dos cuerpos es proporcional al producto de sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.

Por ejemplo, la atracción gravitacional entre dos masas se reduce a la cuarta parte de su intensidad cuando se duplica su distancia de separación, y a la novena parte si se triplica, etcétera.

Estas leyes pueden ser aplicadas tanto a los cuerpos terrestres como a los celestes; explican por qué la Luna es literalmente como una manzana que cae, ya que, en efecto, cae «alrededor» de la Tierra. Con estas leyes Newton ofreció la primera explicación correcta de las órbitas planetarias. Con el tiempo, los astrónomos demostraron que las leyes newtonianas pueden ser aplicadas al universo en su totalidad. Cometas como el Halley viajan alrededor del Sol en órbitas elípticas que pueden ser predichas mediante las ecuaciones de Newton, y es de acuerdo a las leyes de éste que las estrellas binarias giran una alrededor de la otra. También mediante estas leyes fue posible descubrir planetas nuevos (como Urano), ya que fueron utilizadas para detectar su atracción gravitacional sobre planetas conocidos.³

³ En 1705 el astrónomo inglés Halley usó el nuevo método de su amigo Newton y observó que los cometas de 1531, 1607 y 1682 tenían aproximadamente la misma órbita, y predijo que un cometa retornaría en 1758. No descubrió el cometa pero predijo su retorno. Reapareció dieciséis años después de su muerte y ahora lleva su nombre.

Pero la teoría de Newton planteó una paradoja, cuya naturaleza fue señalada en 1692, en una carta que recibió del reverendo Richard Bentley, un brillante y tempestuoso sabio de la universidad de Cambridge. La correspondencia entre ambos versaba sobre los efectos de la gravedad en un universo infinito y marcaba el comienzo de lo que puede ser llamado «cosmología dinámica», esto es, el estudio del universo como una entidad en evolución. Sus cambios fueron los primeros y vacilantes pasos en el largo camino hacia la teoría del Big Bang. Bentley arguyó: si el cosmos es infinito y, como sostiene la teoría de Newton, la gravedad se extiende por la totalidad de él (disminuyendo según el cuadrado de la distancia, pero sin desaparecer nunca del todo), entonces un simple cálculo muestra que cualquier parte del universo debe estar sujeta a una atracción gravitacional infinita. Por consiguiente, todas las estrellas deben colapsarse en una gigantesca bola de fuego. En su respuesta inicial a Bentley, fechada el 10 de diciembre de 1692, Newton reconoció la posibilidad de que «si la materia de nuestro Sol y nuestros planetas y la materia del universo fuese repartida de forma pareja a través de todo el cielo, y toda partícula tuviese una gravedad intrínseca hacia todo el resto y la totalidad del espacio a través del que esta materia se dispersara fuese finito, entonces la materia exterior a este espacio tendería, a causa de su gravedad, hacia toda la materia del interior y, por consiguiente, caería en medio de todo el espacio y allí formaría una gran masa esférica».

El universo podría salvarse, agregó Newton, si las estrellas se encontrasen uniformemente distribuidas a través del espacio infinito. Cada estrella estaría separada precisamente por la misma distancia, tan pulcramente espaciadas como los escaques de un tablero de ajedrez infinito.

En tal caso, cada estrella sentiría la atracción gravitacional de las otras, en todas las direcciones por igual, hasta el infinito. Cualquier tendencia a caer en una dirección sería contrarrestada por una tendencia igual a caer en la dirección opuesta. Como resultado de ello no habría ningún movimiento de estrellas ni colapsos cósmicos.

Pero Newton pronto se percató de que esta «solución» era extremadamente inestable. Un mes más tarde le escribió nuevamente a Bentley señalando que el más ligero movimiento de una sola estrella desencadenaría perturbaciones gravitatorias a través de todo el sistema. Éste se hundiría gravitacionalmente de un

solo salto o, alternativamente, diferentes partes de él se acomodarían mediante incontables saltos particulares. Sin embargo, añadió Newton, el esquema podría dar resultado si un «poder divino» interviniese para asegurar que las estrellas «continuarían en su posición, espaciadas a distancias iguales siempre sin movimiento alguno». Evidentemente, Newton se sentía desesperado. Ya en esos lejanos días estaba pasado de moda invocar el poder divino para tapar agujeros embarazosos en las teorías científicas.

Newton y Bentley habían supuesto un universo estático; no se les ocurrió pensar que con el tiempo las estrellas podían cambiar de posición. Si hubiesen supuesto un universo no estático, habrían comprobado que el movimiento de las estrellas podía contrarrestar el colapso estelar. Pero el fracaso de ambos científicos es perfectamente comprensible, porque en esa época nadie había detectado tal movimiento. Gracias a la perspicacia de Newton y otros, el concepto de un universo finito había sido abandonado a favor de uno infinito. El concepto de un cosmos estático, sin embargo, persistiría hasta los comienzos del siglo XX.

El concepto de un universo infinito no explica el hecho, obvio para todos, de que por la noche el cielo es oscuro. Esto puede parecer una observación trivial, pero no lo es. Kepler, el astrónomo del siglo XVII, fue uno de los primeros en reconocer que la oscuridad de la noche constituía un misterio. Si el número de estrellas es infinito y están distribuidas de manera uniforme, entonces cubrirían cada parte del cielo nocturno, sin ninguna grieta entre ellas. En tal caso, los cielos brillarían como una bola de fuego y cocerían la Tierra haciendo que la vida en ella resultase imposible. Por lo tanto, argumentó Kepler, el universo no es infinito sino finito.

La oscuridad nocturna también intrigó al físico y astrónomo alemán Heinrich W. M. Olbers en la década de 1820. De día ejercía la oftalmología y combatía las epidemias; por la noche observaba cometas y asteroides desde el piso más alto de su casa, en Bremen. A diferencia de Kepler, Olbers creía que el cosmos era infinito, y propuso un modo de reconciliar esta creencia con la oscuridad del cielo nocturno: el espacio, decía, está lleno de nubes de materia interestelar que intercepta mucha luz de las estrellas, oscureciéndola del modo que un paraguas oscurece el sol. Tan interesante sugerencia fue hecha *antes* de que se estableciera firmemente la existencia de nubes interestelares. Sin embargo, su invocación de tales nubes para

explicar la paradoja no es válida, pues en un cosmos infinito la luz estelar calentaría las nubes hasta ponerlas al rojo vivo, haciendo que el cielo nocturno ardiese con tanto brillo como Kepler había conjeturado. Con todo, el enigma del cielo nocturno es conocido desde entonces (un poco injustamente para Kepler y otros predecesores) como «la paradoja de Olbers».

La verdadera explicación fue descubierta hace más de un siglo, y no por un científico sino por un poeta: Edgar Allan Poe (1809-1849). Mucha gente conoce los relatos de Poe, sus bellos cuentos de terror gótico, su desordenada vida personal, y sabe que murió a causa de la bebida a la edad de 40 años. Pero pocos saben que estaba seriamente interesado por la ciencia, en particular por la astronomía, y que le fascinaba la hipótesis nebular del astrónomo francés Pierre Simón de Laplace, según la cual el sistema solar evolucionó a partir de una nube primordial de polvo y gas. La hipótesis «es demasiado bella para *no* ser esencialmente verdadera», escribió Poe. Esta teoría inspiró al poeta un ensayo cosmológico, *Eureka: Un poema en prosa*. Según Poe, la paradoja de Olbers se resuelve porque «[la] distancia del fondo invisible [es] tan inmensa que ningún rayo salido de ella ha podido todavía llegar hasta nosotros». Poe tropezó con el hecho de que el universo no es infinitamente viejo, sino que tuvo un comienzo en el tiempo (lo que hoy consideramos como el Big Bang). De hecho, el universo es tan joven que la luz de las estrellas más distantes está acercándose a nosotros a toda velocidad, pero todavía no nos ha alcanzado. Cuando contemplamos el oscuro cielo nocturno, miramos hacia atrás, en dirección a una época primitiva, antes de que las primeras estrellas se formasen.

Eureka tuvo críticas dispares. «Tonterías sin sentido», se mofó un periódico. Sin embargo, Poe siguió casi frenéticamente convencido de la importancia de sus ideas y mostró el manuscrito de *Eureka* al editor George Putnam en la ciudad de Nueva York. Más tarde, Putnam recordó que «Poe temblaba de excitación... [Sostenía que *Eureka*] era de un interés trascendental. El descubrimiento de la gravedad hecho por Newton era un mero incidente comparado con los hallazgos revelados en ese libro. Despertaría de inmediato una atención tan intensa y universal que el editor podría abandonar toda otra empresa y hacer de esa obra el negocio de toda su vida. Una edición de 50.000 ejemplares sería suficiente para empezar...». Putnam quedó

«realmente impresionado, pero no convencido», e imprimió en cambio 500 ejemplares. Seis meses más tarde, Poe murió.

Oscura noche del cielo
(*Paradoja de Olber*)

SI el universo es
estático, infinito
y uniforme...

ENTONCES
cualquier dirección
debe finalizar
en una estrella.

¿POR QUÉ no nos
abrasamos?

Soluciones:

- Universo no eterno
- Universo en expansión



El cielo nocturno es oscuro porque el universo no es infinitamente antiguo; la luz de las estrellas más alejadas todavía no nos ha alcanzado. (Christopher Slye.)

La historiadora Barbara Tuchman ha escrito que la Primera Guerra Mundial (1914-1918) fue el abismo que separó para siempre el Viejo Mundo del Nuevo. Muchos aspectos de la civilización —la era eduardiana de los imperios y las colonias, las monarquías y las aristocracias— se transformaron durante ese conflicto. Lo mismo ocurrió con gran parte del mundo intelectual, artístico, literario y científico. La cosmología no fue una excepción.

Hasta finales de 1910, los seres humanos eran tan ignorantes en lo referente a los orígenes cósmicos como lo habían sido siempre. Aquellos que no se tomaban el *Génesis* al pie de la letra no tenían ninguna razón para creer que había existido un comienzo. El origen del sistema solar era un tema discutible, pero el origen del cosmos era un asunto muy diferente: raramente se discutía acerca de él en círculos científicos, si es que alguna vez era tema de discusión. En las publicaciones de

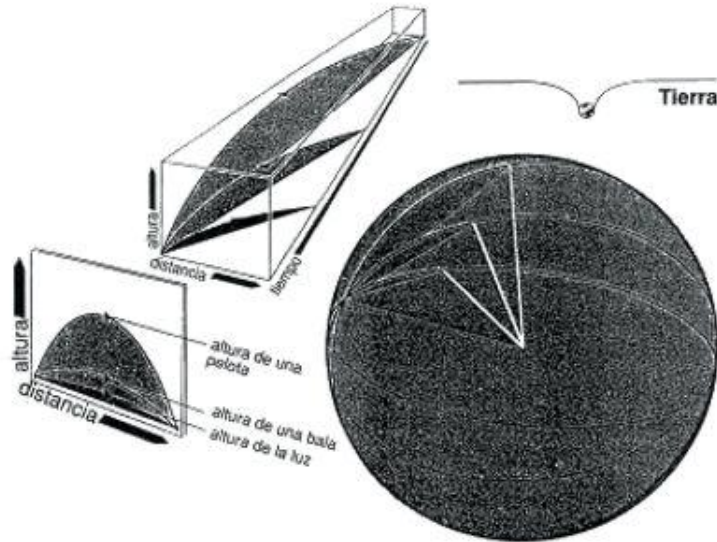
astronomía de la época se publicaban muchas polémicas sobre la naturaleza de las nebulosas, el retorno en 1910 del cometa Halley, la evolución de las estrellas, los «canales» marcianos, la serie de Balmer en los espectros estelares, la búsqueda de un noveno planeta, pero raramente se dedicaba alguna palabra a los orígenes del cosmos.

Tal como ocurría en otros ámbitos de la civilización, había indicios de que se acercaba una gran revolución. La mayoría no advirtió estos indicios, de modo que cuando las nuevas ideas explotaron, sobrevino una conmoción.

Entre 1905 y mediados de la década siguiente, Albert Einstein presentó sus teorías «especial» y «general» de la relatividad. La relatividad especial demostró que el espacio y el tiempo, la masa y la energía eran, respectivamente, lados opuestos de las mismas monedas. La relatividad general revisó la gravitación newtoniana demostrando que existe una conexión entre lo que Einstein llamaba «masa-energía y el «espacio-tiempo».

Ahí donde Newton concebía la gravedad como una fuerza que actúa entre objetos diferentes, Einstein veía esto como el efecto de la masa en la geometría del espacio. La diferencia entre ambas concepciones es fácilmente ilustrable. Considérese la situación de una nave espacial que vuela cerca de un planeta. La física newtoniana dice que la trayectoria de dicha nave es desviada del movimiento rectilíneo por la fuerza gravitacional del planeta. Según Einstein la experiencia de la nave espacial no se somete a ninguna fuerza y avanza por lo que «contempla» como un camino recto; pero puesto que el espacio es deformado por la masa del planeta, lo que observamos es un camino curvo. Einstein decía que la nave espacial no experimenta ninguna fuerza, sino que continúa en movimiento uniforme obedeciendo la primera ley de Newton, la de la inercia, pero en un espacio-tiempo curvo. El lector puede relacionar esto con su propia experiencia. Imagínese que va conduciendo lentamente por una carretera y de pronto llega a una curva. Si la carretera está adecuadamente construida el coche seguirá automáticamente la curva sin que usted toque el volante y sin que el vehículo cambie de velocidad. El coche continúa en movimiento uniforme. Muchos juguetes de niños y juegos de parques de atracciones muestran esto. Las modernas montañas rusas arrastran al cliente por una pista curva a través del espacio-tiempo. El diseño del artilugio hace que el pasajero

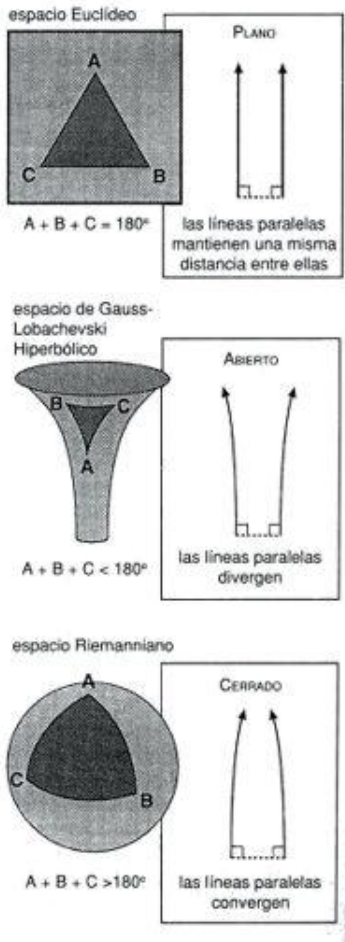
permanezca sentado en su lugar a pesar de las caídas, sacudidas y contoneos que encuentre en su recorrido.



Arco gravitatorio. La masa de la Tierra curva el espacio-tiempo al igual que el sol. Una esfera con un radio de un año-luz tiene aproximadamente la misma curvatura que el espacio — tiempo en la superficie de la Tierra. Todas las cosas mantienen su movimiento inalterado, según el principio de inercia; sus trayectorias son arcos de círculos máximos, en la superficie local de la esfera correspondiente del espacio — tiempo. Algunas cosas como la luz o una bala tienen gran velocidad, recorriendo una cierta distancia en el espacio en un tiempo pequeño; otras, como una pelota, tardan más tiempo para recorrer la misma distancia. Por ello sus círculos tienen distintos ángulos en el espacio — tiempo y sus trayectorias en el espacio — tiempo difieren de manera análoga. Al reproducirlas en el laboratorio, estas trayectorias tienen un aspecto distinto pues forman arcos parabólicos, pero desde la perspectiva del espacio — tiempo son arcos simples de distinta longitud. (Christopher Slye.)

La atracción gravitatoria, decía Einstein, no es una fuerza misteriosa entre objetos sino el resultado de la curvatura del espacio.

Geometría del espacio



El concepto de espacio curvado fue propuesto por el matemático Cari Friedrich Gauss (1777-1855) unos 2.000 años después de que Euclides formulara los elementos de una geometría correspondiente a un espacio plano. Los fundamentos de esta geometría, que sintetizó los conocimientos de su época, son los cinco postulados —los líneas paralelas mantienen siempre una misma distancia; la suma de los ángulos interiores de un triángulo es 180° —. Gauss propuso y organizó la medida de los ángulos del triángulo formado por los picos Inselsberg, Brocken y Hoher Hagen, en el monte Harz. La suma de ángulos resultó de 180° , de acuerdo con la precisión de los topógrafos de su época. En 1826, Nikolai Ivanovich Lobachevski (1792-1856) desarrolló una geometría abierta, o de curvatura negativa. La misma geometría fue desarrollada de manera independiente por Gauss y János Bolyai (1802-1860), un oficial austríaco. El 10 de junio de 1854, el gran matemático Georg Riemann (1826-1866) a la edad de 28 años, dio a conocer las herramientas matemáticas necesarias para definir y calcular la curvatura positiva y dedicó el resto de su vida a tratar de unificar la gravedad, la electricidad y el magnetismo a partir de la idea de curvatura del espacio. Sus intentos fracasaron al tomar en consideración las relaciones entre gravedad, espacio y espacio curvado, en lugar de gravedad, espacio-tiempo y espacio-tiempo curvado.

Y decía, también, que así como la masa puede ser desviada por la curvatura del espacio, lo mismo ocurre con la luz. Reemplazar el campo gravitacional por la curvatura del espacio habría complacido a Newton, quien no se sentía satisfecho con

sus leyes aunque resultaron ser tan poderosas como para dominar la ciencia en los tres siglos siguientes.

En una carta a Bentley escribió: «Que un cuerpo pueda actuar sobre otro a una distancia a través del vacío, y que sin la intervención de nada puedan transferir el uno al otro su acción y su fuerza, es para mí tan absurdo que no creo que ningún hombre, que sea un pensador competente en asuntos filosóficos, pueda creérselo.»

La física dio otro gran paso hacia adelante cuando Einstein combinó las leyes newtonianas de la inercia y la gravedad con su concepto del espacio— tiempo curvo. Este logro abrió el camino hacia nuestro moderno concepto de universo no estático. Imaginemos un universo con partículas uniformemente diseminadas por todas partes. Con el tiempo, en aquellas regiones donde el espacio-tiempo es positivamente curvo, las partículas tenderían a juntarse. Por el contrario, cuando el espacio-tiempo es negativamente curvo, las partículas se separarán formando huecos. Sólo donde el espacio-tiempo es plano se mantendrán las partículas en una separación constante.

Muy pocas personas fuera del ámbito de la ciencia habían oído hablar de Einstein antes de que su nueva teoría ocupara los titulares de la prensa de todo el mundo. Fue cada vez más conocido por los físicos, que respetaban sus contribuciones, en especial en lo referente al efecto fotoeléctrico, que explicó en términos de la teoría cuántica elemental (y por el que ganó el premio Nobel en 1922). También estaban intrigados por sus teorías de la relatividad. A la edad de cuarenta años, con su período de mayor brillantez detrás de él, era un hombre desaliñado y excéntrico, que no usaba calcetines ni alternaba con presidentes, primeros ministros ni personalidades como Charles Chaplin. Sin embargo, con el tiempo llegaría a frecuentarlos, y todo porque una predicción devino verdad.

Sólo unos pocos años después de que Einstein publicara su teoría de la relatividad general, la naturaleza le ofreció una oportunidad para someter a prueba sus ideas. Einstein señaló que la luz que viaja hasta nosotros desde las estrellas debe curvarse cuando pasa cerca de un cuerpo masivo, como el Sol.

La luz es desviada por la curvatura del espacio-tiempo por la presencia de un cuerpo masivo. Obsérvese un campo de estrellas en ausencia del Sol y luego compárese el mismo campo cuando el Sol tapa parte de él, sugirió Einstein. Si la

teoría es correcta, la posición de las estrellas cercanas al borde del Sol parecerá desplazarse. Por supuesto, normalmente no es posible ver estrellas cerca del Sol, pues su luz nos ciega. Lo que se necesitaba, dijo Einstein, era un eclipse total que permitiera un breve momento de observación del campo estelar alrededor del Sol. El 29 de mayo de 1919, tal eclipse debía verse en el golfo de Guinea, en el hemisferio sur, y el astrónomo británico Arthur Eddington organizó una expedición para hacer las observaciones requeridas. Las observaciones de eclipses totales se cuentan entre las más exasperantes de la astronomía porque todo debe hacerse en un lapso muy breve: raramente más de un minuto o dos. «Yo no vi el eclipse — escribió Eddington más tarde— pues estaba ocupado cambiando placas; sólo eché una ojeada para asegurarme de que había empezado y otra por la mitad, para ver cuántas nubes había.»

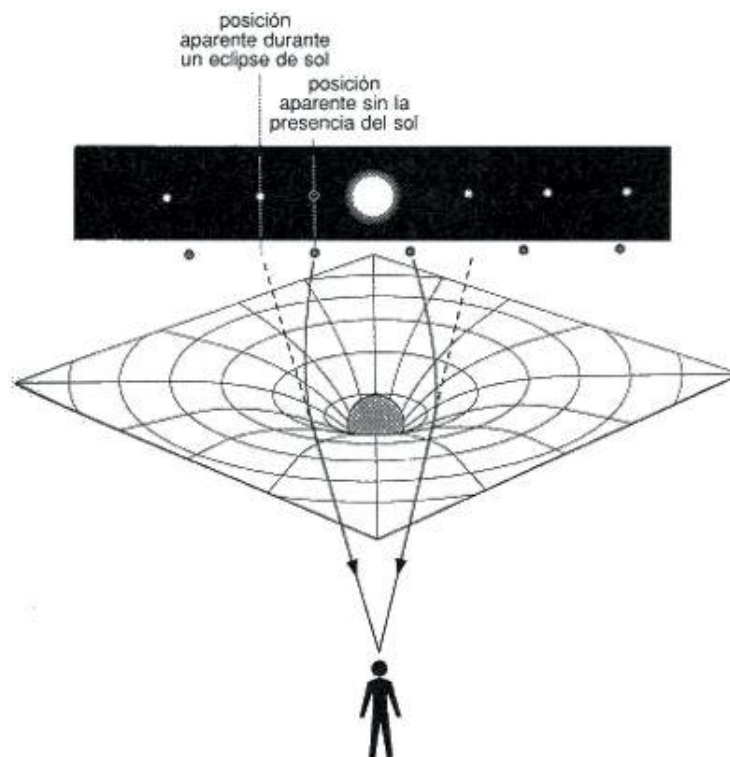
A los tres días, Eddington reveló las placas fotográficas del campo estelar en el momento del eclipse, las comparó con el campo en ausencia del sol y confirmó la predicción de Einstein. Cuatro meses pasaron antes de que éste se enterase de su triunfo teórico una vez que se completó el análisis detallado de las placas fotográficas. Los resultados fueron anunciados con bombo y platillo el 6 de noviembre de 1919, en la reunión conjunta de la Royal Society y la Royal Astronomical Society.

El matemático y filósofo británico Alfred North Whitehead, presente en el momento del anuncio, recordó más tarde: «El clima era dramático; la misma puesta en escena, el ceremonial tradicional y, al fondo, el cuadro de Newton, nos recordaban que, después de más de dos siglos, las mayores generalizaciones científicas iban a ser modificadas por primera vez... una gran aventura del pensamiento finalmente había llegado sana y salva a la costa.» La prensa recibió el descubrimiento con titulares como: «Las ideas newtonianas se derrumban», o «El Espacio Deformado». La hazaña «destruiría la certidumbre de los tiempos», declaró el *Times* de Londres. El *New York Times* dijo que el suceso «inauguraba una época». Einstein respondió con aplomo. Si el experimento no hubiese corroborado sus ideas, habría sentido «pena por el buen Dios; la teoría es correcta».

Las consecuencias de la teoría de la relatividad de Einstein son varias y espectaculares, y no es la menor de ellas la existencia predicha de las lentes

gravitacionales. Éstas son enormes objetos astronómicos, como las galaxias, tan masivos (contienen miles de millones de estrellas) que desvían la luz de estrellas y cuásares de una manera mucho más espectacular que el sutil efecto detectado durante el eclipse de sol por el equipo de Eddington. Las lentes gravitacionales crean versiones celestes de fenómenos atmosféricos como los espejismos, y las imágenes múltiples. A modo de ejemplo, una lente gravitacional ha hecho que la luz de un solo cuásar se dividiese en cinco imágenes separadas. A causa de su forma, esta visión sorprendente es llamada la «cruz de Einstein».

La masa curva el espacio-tiempo



Las observaciones realizadas por sir Arthur Eddington durante un eclipse de sol permitieron verificar las predicciones de Albert Einstein en el sentido de que la curvatura del espacio debida al sol «altera» la posición aparente de las estrellas.

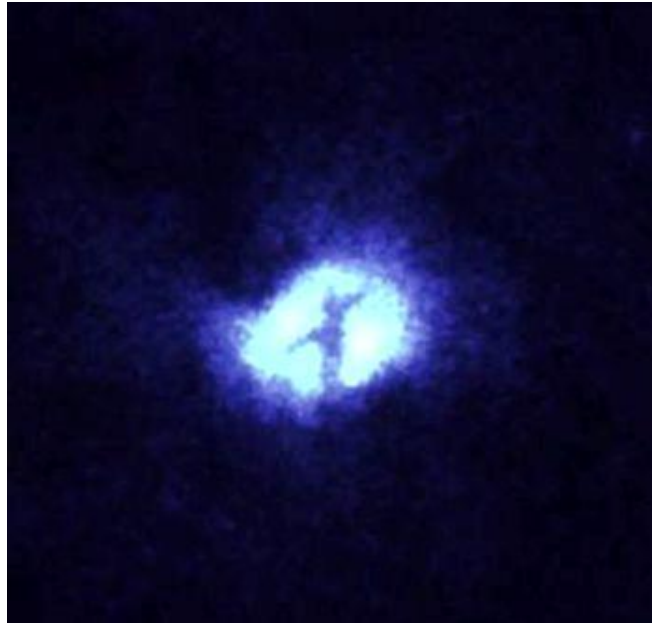
Los agujeros negros son una consecuencia aún más célebre de la teoría de Einstein. Estos hipotéticos objetos son estrellas colapsadas con una atracción gravitatoria tan enorme —es decir, deforman el espacio tan radicalmente— que nada puede escapar

de ellos, ni siquiera la luz. De ahí el nombre de «negros» que se les adjudica. Algunos científicos han especulado que los agujeros negros son vías de paso a otros universos. Nadie ha identificado categóricamente un agujero negro, aunque hay algunos firmes competidores. Por ejemplo, una intensa fuente de rayos X en la constelación del Cisne y una fuente de aniquilación de positrones en el corazón de nuestra galaxia pueden revelar lugares donde la materia está sumergiéndose en esos agujeros negros.

Pero la consecuencia de mayor alcance de la relatividad general fue que el universo no es estático, como sostenía la corriente ortodoxa, sino dinámico, bien contrayéndose, o bien expandiéndose. Einstein, como visionario que era, rechazaba la idea de un universo dinámico. A menudo, muchos científicos revolucionarios siguen siendo, en el fondo de sus corazones, conservadores. Copérnico nunca abandonó ciertas características del cosmos medieval, por ejemplo, las órbitas circulares (no elípticas) y los epiciclos. De igual modo, Einstein estaba tan atrincherado en las ideas prevalecientes que rechazó la noción radical de un universo dinámico.

Una razón de que Einstein rechazase inicialmente la implicación de teoría general de la relatividad fue que, si el universo se halla ahora en expansión, tiene que haber partido, hace mucho tiempo, de un solo punto. Todo el espacio y el tiempo deben de haber estado unidos en este «punto», una «singularidad» infinitamente densa y pequeña. Por consiguiente, sería imposible calcular lo que ocurrió «antes» de tal singularidad, pues cualquier cálculo daría resultados carentes de sentido. A Einstein se le antojaba absurdo que la singularidad fuese la última barrera al conocimiento humano. Por ello trató de eludir la lógica de sus ecuaciones y las modificó añadiendo un término arbitrario llamado «constante cosmológica». Este término definía una fuerza de naturaleza desconocida que supuestamente contrarrestaría la atracción gravitatoria de la masa en el universo. Es decir, las dos fuerzas se anularían mutuamente, resultando de ello un cosmos estático, que no se expande ni se contrae. Einstein no tenía ninguna prueba de la existencia de una constante cosmológica: es el tipo de idea que, como conejo sacado de una chistera, la mayoría de los científicos rotularían de *ad hoc*. Y en el caso de Einstein representaba su filosofía encarnada en sus ecuaciones matemáticas.

Irónicamente, el enfoque de Einstein contenía un error absurdamente simple: su universo no sería estable. La menor disminución de la distancia entre objetos haría que su mutua atracción gravitatoria fuese mayor que el rechazo de la constante cosmológica; por consiguiente, empezarían a moverse juntos (o, a la inversa, se alejarían si su distancia aumentase ligeramente). Su universo era intrínsecamente inestable, como un lápiz sostenido sobre su punta.



La estructura en forma de X dentro de la cercana galaxia espiral M 51, podría corresponder a un agujero negro, con una masa equivalente a un millón de estrellas del tamaño del sol. (H. Ford, IHU/Space Telescope Science Institute, y NASA,)

Existía una segunda razón filosófica que influyó sobre Einstein hasta obligarlo a rechazar la conclusión de sus ecuaciones, la misma razón, por cierto, que lo había llevado a crearlas. Al elaborar la teoría de la relatividad, Einstein tuvo que rechazar el concepto de Newton del espacio y el tiempo absolutos. Newton era un revolucionario que esgrimía pruebas empíricas y rechazaba los argumentos filosóficos. Por entonces, su gran rival, Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) sostenía que no hay ninguna necesidad filosófica de una concepción del espacio aparte de las relaciones entre objetos materiales. Newton defendía la ciencia, pero los filósofos continuaron el debate con Immanuel Kant (1724-1804), defensor del

universo-isla y el espacio absoluto, y Leonhard Euler (1707-1783), contra el obispo George Berkeley (1685-1753).



El cielo nocturno visto por una fotografía en exposición que muestra las trazas de las estrellas debido a la rotación de la Tierra. (David Nunut/ Sky and Telescope.)

En 1721 Berkeley publicó *El movimiento*, un retorno a la creencia aristotélica de que el espacio existía por la materia que hay en él. Aristóteles había argumentado que el espacio estaba cubierto de sustancia que le confería realidad y moderaba el movimiento de los objetos. El espacio en sí mismo no podía existir, de modo que no había ningún vacío (por lo tanto, los atomistas griegos estaban equivocados al decir que no hay nada excepto «átomos y vacío»). Berkeley desarrolló el argumento de Aristóteles de que el espacio en sí mismo era vacío, y por ende no era nada, al sostener que un solo cuerpo en un universo por lo demás vacío carece de cualquier movimiento medible. Dos cuerpos podrían definir el movimiento relativo sobre el eje formado por la línea entre ellos. Cuatro cuerpos pueden definir el movimiento en tres dimensiones, pero se necesitarían más de cuatro cuerpos para definir la rotación. Las propiedades de lo que los newtonianos llamaban «espacio absoluto» eran el resultado del contenido material del universo.

El filósofo austríaco Ernst Mach (1836-1916) expresó ideas similares a las del obispo Berkeley. Fue un poco más allá al afirmar que añadir unas pocas y diminutas motas de polvo al espacio podría brindar puntos de referencia para el movimiento, pero llenar el universo de materia sin duda crearía un marco más sustancial. Una

distribución uniforme de materia crearía un espacio uniforme. En 1893 Mach expresó la hipótesis según la cual la influencia de toda la masa del universo determina qué es el movimiento natural y cuán difícil es cambiarlo. ¿Significa esto que movimiento natural e inercia son lo mismo? Sin duda.

Podemos examinar la hipótesis de Mach por nuestra cuenta si desde la superficie de la Tierra contemplamos las estrellas y sus primas en las galaxias distantes, observaremos que parecen rotar sobre nuestras cabezas una vez cada 24 horas. Sin embargo, comparada con el plano del sistema solar la rotación observada de las galaxias es menor que un segundo de arco por siglo.

Si en los polos de la Tierra colgamos un péndulo de una larga cuerda y lo dejarnos oscilar libremente veremos que el plano de sus oscilaciones no rota con la Tierra sino que permanece fijo con respecto a las galaxias distantes. El curso del movimiento natural se alinea con las estrellas distantes. Teniendo en cuenta esta observación, o bien el espacio-tiempo newtoniano absoluto define la referencia natural para el movimiento y entretanto la Tierra rota y da vueltas en él, o bien la hipótesis de Mach es correcta y el promedio de toda la materia define nuestro marco de referencia inercial.

Einstein fue profundamente influido por Mach, con quien mantenía correspondencia. Einstein llamó a la hipótesis «el principio de Mach» y se valió de ella como guía cuando desarrolló la relatividad general. En 1916, Kart Schwarzschild halló la primera solución a las ecuaciones de la relatividad general de Einstein, en particular la solución para una sola masa estática en un espacio llano y vacío. Es la solución que se utiliza para calcular la desviación de la luz por el sol, mostrada esquemáticamente en la ilustración, y otros efectos en el sistema solar. La solución de Schwarzschild no sólo no impresionó a Einstein sino que más bien lo desilusionó; como se adhería al principio de Mach, pensó que una masa en el espacio no tenía por sí sola ningún sentido. Sostuvo que la solución de Schwarzschild daba la respuesta correcta para el sistema solar, pero sólo porque el resto de la materia del universo proporcionaba el fondo uniforme del espacio-tiempo.

Esto motivó a Einstein a concebir, en 1917, el primer modelo cosmológico de la relatividad general. Su meta: un universo estático que obedeciese al principio de Mach. Sus ecuaciones de la relatividad general no lo permitían, por lo que añadió la

constante cosmológica. En su modelo, el espacio tenía la geometría de una esfera de tres dimensiones, finita pero sin bordes. Las galaxias de esta esfera mantenían una ubicación espacial fija y sólo viajaban en el tiempo. Einstein se convenció de que su solución era el único modelo posible sin la temida singularidad. No obstante, en 1919 el holandés Willem de Sitter apareció con una solución que incluía la constante cosmológica, según la cual un universo sin materia podía expandirse.

Einstein detestaba el modelo de De Sitter porque no contenía materia y sin ésta era imposible que el espacio tuviese sentido. La materia definía al espacio. Einstein había pensado que la relatividad general contenía el principio de Mach. Tanto él como el mundo aprendieron que este principio no figura en las ecuaciones de la relatividad general, sino que requiere condiciones adicionales para ser válido.

En la década siguiente la controversia cosmológica se centró en cuál de los dos modelos, el de Einstein o el de De Sitter, era el correcto, pero en 1922 el ruso Alexander Friedmann demostró que las soluciones planteadas por las ecuaciones de Einstein representan una distribución uniforme de la materia en expansión. Friedmann, que tenía una visión más clara al advertir que la expansión era un aspecto clave de un universo relativista, murió en 1925, antes de que su idea fuera plenamente aceptada.

En 1932, Einstein y De Sitter colaboraron para hallar una solución de Friedmann específica, en la que el espacio es plano (con constante cosmológica cero) pero en expansión. Esta solución, conocida como «el espacio de Einstein y de De Sitter», parece ser una representación muy exacta de lo que podemos ver de nuestro universo.

Cuando en 1917 Einstein describió su revolucionario modelo cosmológico ante una reunión de la Academia de Ciencias de Berlín, explicó su razón fundamental para añadir la constante cosmológica a las ecuaciones: «Este término sólo es necesario para hacer posible una distribución casi estática de la materia, requerida por el hecho de las pequeñas velocidades de las estrellas».

El recurso matemático suprime las implicaciones de un universo en expansión surgidas de las ecuaciones de la relatividad general, y deja intacta la vieja noción de un universo estático. En la época no existía ninguna prueba observacional sólida de un universo en expansión, y había cierto consuelo filosófico en la creencia de un

universo estático, a saber, que no era necesario plantear la cuestión de qué había ocurrido «en el comienzo». Por lo tanto, Einstein, a pesar de su genio, se aferraba a la teoría de un universo estático, aun cuando sus ecuaciones predecían uno dinámico, como las evidencias empíricas se encargarían de demostrar. Cosa poco común en él, no fue persuadido por la lógica de sus ecuaciones, algo que más tarde describiría como «la mayor pifia de mi vida».

Capítulo 3

El universo en expansión

Edwin Powell Hubble es uno de los grandes héroes científicos del largo viaje que llevó a descifrar los ecos distantes del Big Bang. Nacido en Marshfield, Missouri, en 1889, obtuvo una beca Rhodes de la Universidad de Oxford y fue un atleta consumado. Luchó en la Primera Guerra Mundial y enseñó en la escuela superior (y fue tan querido por sus alumnos que le dedicaron un anuario). También estudió derecho y durante algún tiempo ejerció como abogado en Kentucky, aunque esta profesión pronto dejó de interesarle. Su pasión era la astronomía. A pesar de su poco ortodoxa formación académica, logró tener acceso al que por entonces era el mayor telescopio del mundo, el observatorio Monte Wilson, en el sur de California. Antes de que la iluminación eléctrica a gran escala y la caótica ampliación de los suburbios de Los Ángeles obnubilase su visión, Monte Wilson, con su telescopio de 250 centímetros, disfrutó de cielos claros y cielos oscuros y fue una incomparable ventana a los cielos.

La dedicación y la labor extraordinarias de Hubble hicieron de él uno de los más famosos astrónomos de su época, y en 1948 fue portada de la revista *Time*, en la que su rostro aparecía apropiadamente sombrío mientras, en el fondo, un dedo gigantesco apuntaba hacia las estrellas.

Hubble ha sido descrito como un «científico extraordinariamente exacto y cuidadoso que normalmente se abstenía de hacer afirmaciones que no estuviesen bien apoyadas en evidencias». Sin embargo, su ciencia estaba llena de pasión: se vio obligado a pasar centenares de horas en la cabina del observador del telescopio de Monte Wilson. Todo el que ha pasado algún tiempo en ella sabe cuán extraordinaria fuerza de voluntad demanda: concentración total y habilidad para no tiritar a pesar del frío constante a fin de que el telescopio no vibre. Si Hubble se sometió tan servilmente a esta molestia se debió a que quería transformar la ciencia de la astronomía. En su tesis de graduación instó a los astrónomos a investigar si las nebulosas espirales se situaban dentro de la Vía Láctea o fuera de ella, en otras galaxias.

El saber convencional sostenía que las nebulosas eran objetos que estaban dentro de nuestra galaxia, incluso que la galaxia constituía, de hecho, todo el universo. Si, tal como Hubble sospechaba, las nebulosas eran extra-galácticas, sería posible hacer descubrimientos de proporciones míticas.

Sé cómo debía de sentirse Hubble. A principios de los años setenta decidí trabajar en la medición de la radiación cósmica de fondo, en parte porque sabía que, fuera lo que fuere aquello que aprendiésemos, sería fundamental independientemente de lo que se tratase, porque nos diría algo acerca del universo primitivo.



Edwin Hubble mostrando una fotografía de la galaxia de Andrómeda

Noche tras noche, Hubble fotografiaba las nebulosas, dedicándose tan por completo a esta labor que fue considerado (tal vez con justicia) como una persona arrogante y elitista. Estaba absorto en el estudio de las imágenes de las placas fotográficas y se esforzaba por percibir estrellas dentro de las nebulosas, y en ocasiones lo conseguía, según «qué tuviera para desayunar». Se benefició, sobre todo, de la ayuda de Milton Humasen, un ex conductor de muías que se convirtió en auxiliar del observatorio y tomó muchas de las fotografías más importantes de las nebulosas.

En 1924 Hubble descubrió algo importante: se trataba de un tipo especial de estrella en la nebulosa de Andrómeda, un brillo vagamente oblongo cerca de la constelación de Casiopea (la única con forma de W torcida). Es fácilmente visible con prismáticos, y si uno vive, como yo, cerca de la latitud de 40° N, entonces la nebulosa está directamente sobre su cabeza a medianoche de mediados de enero.

Andrómeda es muy grande (alrededor de 6° de un lado a otro, lo que equivale, aproximadamente, a diez veces el tamaño de la Luna). La estrella especial que Hubble vio en Andrómeda era una variable Cefeida, que son raras porque su luminosidad oscila con un período regular. En la placa fotográfica donde la encontró, escribió con excitación: «¡VAR!» La presencia de la estrella permitiría a Hubble hacer lo que los astrónomos habían intentado durante años: medir de manera segura la distancia a una nebulosa. La respuesta revelaría si las nebulosas espirales eran verdaderamente extragalácticas o sólo se trataba de viajeros dentro de nuestra galaxia.

La medición de las distancias astronómicas era desde hacía tiempo motivo de frustración para los astrónomos. La única técnica fiable involucraba el fenómeno de la paralaje. He aquí un ejemplo sencillo de paralaje: mantenga el lector un dedo a la altura de los ojos y cierre uno de ellos, luego ábralo y cierre el otro ojo. Observe cómo su dedo parece moverse hacia atrás y hacia adelante con respecto al fondo (la pared, por ejemplo); la magnitud del desplazamiento del dedo es su paralaje. Cuanto más cerca del ojo está el dedo, mayor es el desplazamiento, o paralaje; cuanto más alejado esté el ojo, tanto menor será la paralaje. El efecto de paralaje se crea mirando el dedo desde las diferentes posiciones de ambos ojos. Se puede calcular la distancia de aquél con respecto a éstos mediante la sencilla geometría del triángulo que forman. De igual modo, los astrónomos pueden determinar la distancia de cuerpos celestes. El cuerpo es observado desde dos lugares diferentes (dos observatorios muy separados), y la paralaje del cuerpo se determina contra el fondo de estrellas. Aquí el triángulo está formado por los dos observatorios y el cuerpo celeste. Nuevamente, una sencilla geometría establece la distancia.

Cuando se trata de objetos cercanos —como los planetas dentro del sistema solar— esto funciona bien, pero para estrellas remotas la distancia entre dos observatorios con base en la Tierra es insuficiente a la hora de dar una paralaje medible. En este caso, los astrónomos utilizan el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Se hace una observación de la estrella estudiada, digamos, en enero, y luego una segunda seis meses más tarde, cuando la Tierra se ha desplazado en su órbita al lado opuesto del Sol. La distancia entre las dos observaciones es de unos 300 millones de kilómetros, el diámetro de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. El triángulo se

forma ahora con los dos extremos de la órbita de la Tierra y la estrella, y nuevamente basta con una geometría simple. Por desgracia, la técnica de la paralaje requiere observaciones sumamente precisas y sólo es aplicable a las estrellas más cercanas. Para las lejanas, 300 millones de kilómetros es una distancia demasiado corta para obtener la base del triángulo.

A comienzos de la década de 1910, Henrietta Leavitt, una mujer sorda que trabajaba en el observatorio del Harvard College, descubrió un modo radicalmente nuevo de medir distancias cósmicas. Comprendió que el brillo absoluto de las estrellas variables Cefeidas está relacionado con el período de tiempo durante el cual brillan y luego se oscurecen. Cuanto más brillante es la estrella, tanto más largo es el ciclo. Valiéndose de un cálculo sencillo basado en el supuesto de que la intensidad de la luz disminuye con el cuadrado de la distancia, es posible calcular cuán lejos debe estar la estrella para explicar su brillo aparente.

Hubble utilizó la técnica de Leavitt a fin de medir la distancia a que se halla Andrómeda, basándose en los períodos y brillos aparentes de su población de Cefeidas. Llegó a la conclusión de que la distancia era de 800.000 años luz, que es diez veces la distancia media de las estrellas dentro de nuestra galaxia.⁴ Evidentemente, Andrómeda estaba más allá del ámbito de la Vía Láctea y era por sí misma una galaxia distante. Hubble había alcanzado su meta: los astrónomos pueden estar ahora seguros de que las nebulosas son realmente galaxias separadas. Y puesto que había incontables galaxias más allá de la nuestra, esto significaba que el cosmos debía de ser mucho mayor de lo que se sospechaba hasta entonces. El descubrimiento de Hubble inauguró una nueva era para la astronomía. El descubrimiento de que el universo es enormemente vasto —efectivamente infinito— fue en sí mismo revolucionario. El concepto cosmológico de un universo confortable, no mucho mayor en extensión que nuestra galaxia visible, fue desterrado a los libros de historia. Pero Hubble fue más allá. Basándose en su descubrimiento mediante la utilización de una técnica ya desarrollada antes por el estadounidense Vesto Melvin Slipher, Hubble atacó entonces la secular creencia de

⁴ Tal estimación ha sido aumentada desde entonces a alrededor de dos millones de años luz. Esto significa que la luz que vemos ahora abandonó la galaxia de Andrómeda hace dos millones de años, la misma época aproximadamente en que el género Homo, al que pertenecen los seres humanos, iniciaba su evolución en África.

que el universo es estático, idea a la que Einstein se aferró tenazmente a pesar de la lógica de sus propias ecuaciones.

En la década de 1910, Slipher estaba trabajando intensamente en el desierto estadounidense, usando el observatorio Lowell para hallar nebulosas.

El observatorio se hallaba instalado en Mars Hill, a las afueras de Flagstaff, Arizona, a poca distancia de vaqueros y tabernas. Ahí, en vísperas de la Primera Guerra Mundial, Slipher descubrió la primera prueba directa de la expansión del universo, pero no se percató de ello.

Slipher, oriundo de Mulberry, Indiana, tenía casi 40 años cuando en 1901 llegó al observatorio contratado por su fundador, Percival Lowell, una de las figuras más discutibles en la historia de la astronomía. Lowell pertenecía a una rica familia de Boston que contaba con industriales famosos, académicos, políticos y literatos. Había asistido a Harvard, donde estudió matemáticas, y prestado servicios como diplomático de Estados Unidos en el Lejano Oriente.

Quizá es más conocido por su interpretación de las enigmáticas líneas que surcaban la superficie de Marte. Lowell hizo estremecer al mundo finisecular con su afirmación de que tales líneas eran canales construidos por marcianos para conducir agua de los casquetes polares a través de su mundo desértico. Por ese tiempo se estaban construyendo grandes canales en Suez y Panamá, y ambas obras eran consideradas grandes hazañas de ingeniería propias de una civilización refinada. Imagine el lector la proeza tecnológica que habría supuesto una civilización capaz de construir canales que rodeasen todo un planeta.

Al igual que el astrónomo francés del siglo XVIII Charles Messier y el astrónomo inglés del XIX William Herschel, Lowell también se interesaba por la naturaleza de las nebulosas que, según sospechaba, eran nubes de polvo y gas que, con el correr del tiempo, se condensaban en nuevos sistemas planetarios (posiblemente habitables). Para saber si esto era así, en 1909 instruyó a Slipher para que hiciese observaciones espectrales de nebulosas.

Slipher empezó por fotografiar el espectro de la nebulosa de Andrómeda, que proporciona una especie de «firma» ocular de la galaxia. Cuando pasa a través de un prisma, la luz blanca se descompone formando el espectro clásico de rojo, anaranjado, amarillo, índigo y violeta. La luz de las galaxias contiene algunas de

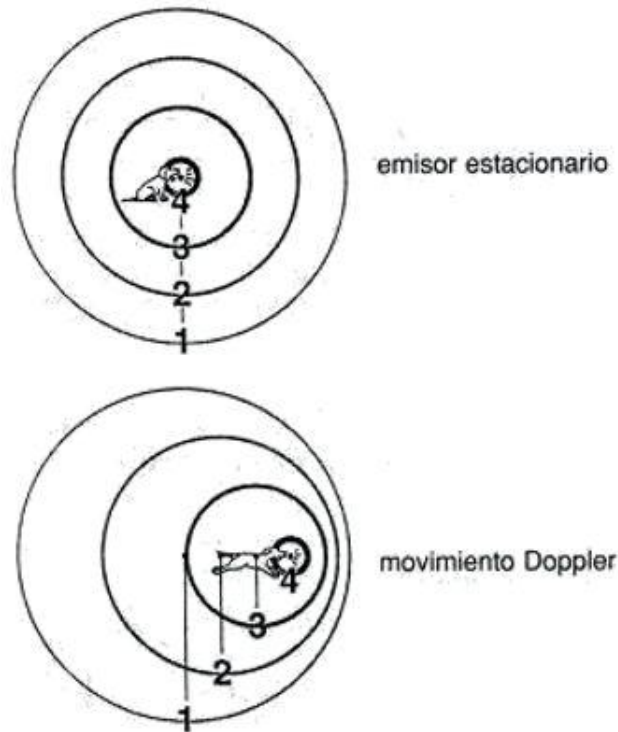
estas líneas que, por reflejar la composición química de las estrellas del cúmulo, son especialmente valiosas. Más tarde, en 1912, y después de una extensa serie de fotografías que tuvieron su culminación la víspera de Año Nuevo, Slipher examinó cuatro espectrogramas de Andrómeda y advirtió que sus líneas espectrales no estaban en el lugar correcto sino que se habían desplazado hacia el extremo azul del espectro. La causa aparente era un fenómeno conocido como un «desplazamiento Doppler», así llamado en homenaje al físico austríaco Christian Doppler (1803-1853).

El «efecto Doppler» es fácil de explicar cuando se considera lo que ocurre con el sonido del silbato de un tren cuando éste pasa de largo. A medida que se acerca, el sonido es relativamente alto, y cuando pasa y se aleja en la distancia la altura del sonido disminuye. El silbato de un tren que permanece inmóvil produce un sonido con crestas de ondas que aparecen a un ritmo constante. Cuando el tren se aproxima toda nueva cresta de onda originada por su silbato se crea más cerca de donde uno se encuentra que si el tren estuviese inmóvil. Las crestas de sus ondas sonoras quedan apretadas por el movimiento del tren que se acerca, lo cual aumenta efectivamente la frecuencia (un sonido más alto). A medida que el tren se aleja a lo largo de la vía, la situación se invierte: las crestas se producen a una distancia cada vez mayor y el oído percibe las ondas sonoras a un ritmo más lento, la frecuencia de aquéllas y la altura del sonido que produce el silbato se reduce.

El mismo efecto se produce con la luz emitida por un objeto en movimiento. El color es el equivalente óptico de la altura: en la región visible del espectro electromagnético el color rojo es de una frecuencia menor (como el sonido de baja altura producido por el silbato) mientras que el azul es de una frecuencia superior (el sonido de gran altura). Por consiguiente, una estrella que se acerca a nosotros parece más azul de lo que es pues su frecuencia se desplaza hacia el extremo azul del espectro, mientras que una estrella que se aleja de nosotros debe desplazarse hacia el extremo rojo⁵. Los astrónomos del siglo XIX comenzaron a analizar el efecto Doppler en el espectro de las estrellas. Fue así como aprendieron que

⁵ La frecuencia o longitud de onda se determina midiendo las líneas delgadas y oscuras del espectro. Estas líneas de absorción son llamadas «de Fraunhofer» en honor del científico alemán Joseph von Fraunhofer (1787-1826). Son causadas por gases intermedios más fríos (como la atmósfera de las estrellas) que absorben ciertas frecuencias de luz. El físico holandés Pieter Zeeman (1865-1943) descubrió las líneas brillantes delgadas producidas por la luz característica emitida por el mismo gas si está caliente. Los científicos del siglo XIX comprendieron que diferentes elementos producen diferentes ordenamientos de líneas, hecho explicado más tarde por la física cuántica.

algunas de éstas se mueven a través del espacio a decenas de kilómetros por segundo.



El perro Doppler. En el efecto Doppler, un emisor móvil cambia su tono con respecto a uno fijo. El perro Doppler que ladra a intervalos constantes muestra el efecto Doppler. Cada vez que emite un sonido, un frente de ondas sonoras se aleja de la boca del perro, y si éste no se mueve cualquier persona que se encuentre en las inmediaciones oye los ladridos a intervalos constantes. Si el perro corre mientras ladra, el centro de cada esfera de sonido en expansión se desplaza. Una persona que se encuentre en la dirección hacia la que el perro se mueve oirá los ladridos más juntos y por ello con un tono más alto, mientras que si una persona se encuentra al otro lado oirá los ladridos con un tono más bajo porque le llegarán más separados.

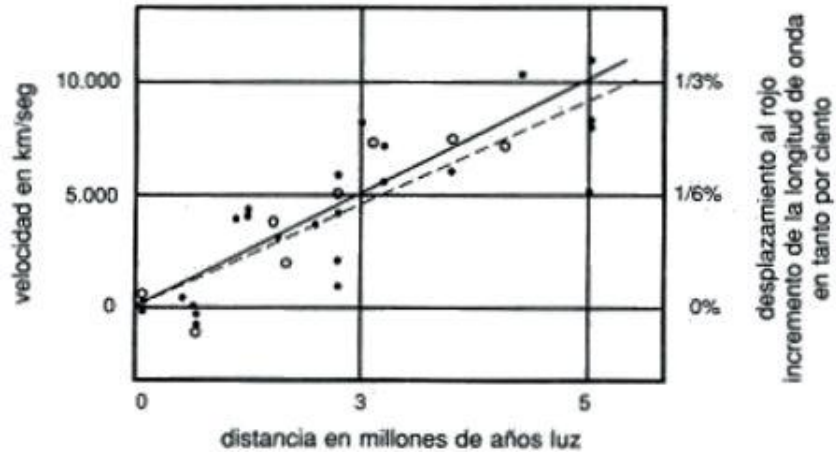


Gráfico de la velocidad de Hubble en función de la distancia (1929). Los puntos negros y la línea continua representan la ley de Hubble para las nebulosas tomadas individualmente. Los círculos y la recta discontinua dan la ley al considerar las nebulosas en grupos.

A principios de 1913, Slipher le dijo a Lowell que Andrómeda exhibía un pronunciado desplazamiento hacia el azul: la nebulosa se aproximaba rápidamente a nuestra galaxia a 300 kilómetros por segundo.

En los tres años siguientes, Slipher estudió otras 22 nebulosas espirales y en la mayor parte de ellas (a diferencia de Andrómeda) halló corrimientos hacia el rojo, esto es, sus líneas se desplazaban a longitudes de onda más largas (a frecuencias menores). Si el corrimiento al rojo se debía al efecto Doppler, se alejaban de la Vía Láctea, a velocidades de hasta mil kilómetros por segundo⁶.

Aunque Slipher recibió una gran ovación cuando informó sobre su trabajo en una reunión de la Sociedad Americana de Astronomía, nadie, incluyendo al propio Slipher, estaba muy seguro de lo que tales observaciones significaban. Sólo cuando una década más tarde Hubble realizó sus mediciones de la distancia de las nebulosas, fue posible una interpretación de los prácticamente omnipresentes corrimientos al rojo: las galaxias se alejaban unas de otras en todas las direcciones.

⁶ ¿Por qué es tan iconoclasta la nebulosa de Andrómeda en su movimiento hacia nosotros? Hasta donde sabemos, forma parte del «grupo local» de galaxias al igual que la nuestra, la Vía Láctea. Este grupo incluye algunas decenas de galaxias de considerable tamaño que permanecen unidas por la gravedad que ejercen entre sí y que les impide dispersarse en el cosmos. A la larga, Andrómeda y la Vía Láctea pueden chocar; los astrónomos tienen pruebas de este tipo de colisiones en el espacio. Afortunadamente, las estrellas están muy dispersas en las galaxias, de ahí que una de éstas pueda pasar a través de otra sin sufrir desgaste, del mismo modo que una nube pasa a través de otra nube.

En otras palabras, el universo no es una entidad estática, con cuerpos celestes suspendidos en el espacio inmutable, sino que, por el contrario, está expandiéndose.

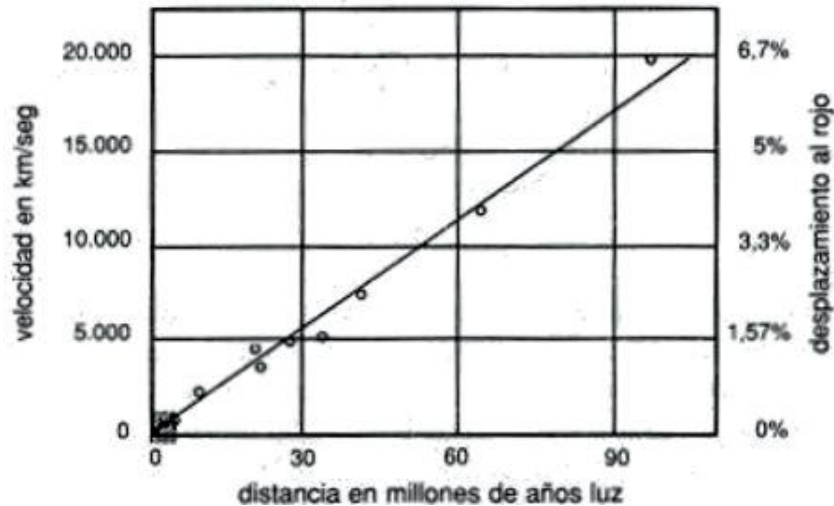


Gráfico de Hubble y Humason de la velocidad en función de la distancia (1931).

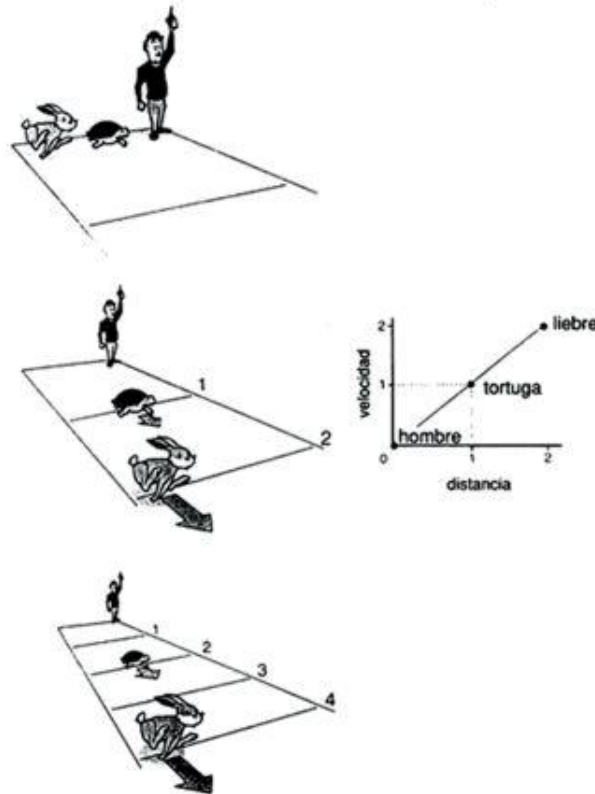
Datos de la ley de Hubble. El gráfico superior muestra los datos originales de las distancias a las nebulosas (galaxias) y su desplazamiento al rojo (o velocidad de acuerdo con el efecto Doppler). El gráfico inferior muestra los datos originales de Hubble para la región oscura y los nuevos datos obtenidos por Milton Humason. Los nuevos datos proporcionaron un argumento convincente para la existencia de una relación lineal entre distancia y desplazamiento al rojo. (Christopher Slye.)

Éste fue un momento fundamental en el desarrollo de la cosmología moderna y echó por tierra el supuesto más duradero acerca del universo: que es estático.

Hubble fue aún más lejos y descubrió lo que se ha llamado «la primera ley verdaderamente cosmológica»: la ley de Hubble. Esta sencilla ley afirma que hay una correlación directa —lineal— entre la distancia de una galaxia y su corrimiento al rojo. El valor exacto de la constante de proporcionalidad ha resultado difícil de estimar y sigue en discusión. Tal valor es importante porque nos dice con qué velocidad se ha expandido el universo y, por ende, cuan viejo es. Una constante de Hubble baja implica un universo antiguo que se acerca a los 20.000 millones de

años; una constante de Hubble elevada indica que el cosmos es relativamente joven o que su edad tal vez sea la mitad de esa cifra.

Las observaciones de Hubble y sus interpretaciones eran tan inequívocas que rápidamente convencieron hasta a los más ardientes defensores de la idea del universo estático.

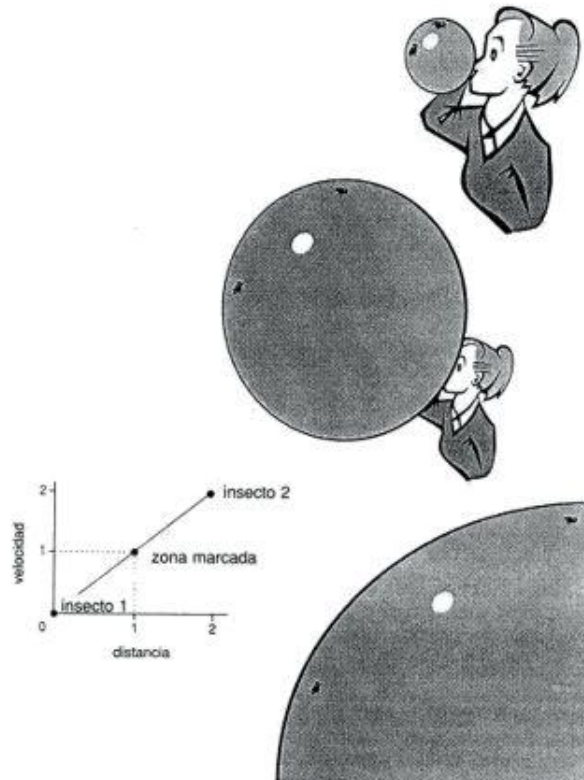


Modelo de una carrera/modelo de una gran explosión. El diagrama muestra cómo la ley de Hubble, que expresa la relación lineal (proporcional) entre distancia y velocidad, se da en una carrera igual que en una gran explosión. El corredor (o la masa) que se mueve más rápido va más lejos y la distancia recorrida es la velocidad multiplicada por el tiempo desde el inicio. Esto nos da automáticamente la ley de Hubble pero un cuadro confuso de cómo nosotros vemos ahora el Big Bang.

Las pruebas de la observación eran hasta tal punto poderosas que resultaba imposible ignorarlas. Einstein estuvo entre los conversos y describió como su «mayor pifia» no haber creído en las implicaciones de un universo en expansión que

surgían de sus propias ecuaciones. En 1930, Einstein y su esposa Elsa fueron a Monte Wilson, donde Hubble les hizo visitar el observatorio. Cuando le dijo a Elsa que el telescopio de 250 centímetros se usaba para estudiar la estructura del cosmos, ella respondió: «Vaya, vaya, mi marido lo hace en la parte de atrás de un viejo sobre.»

Modelo del espacio en expansión

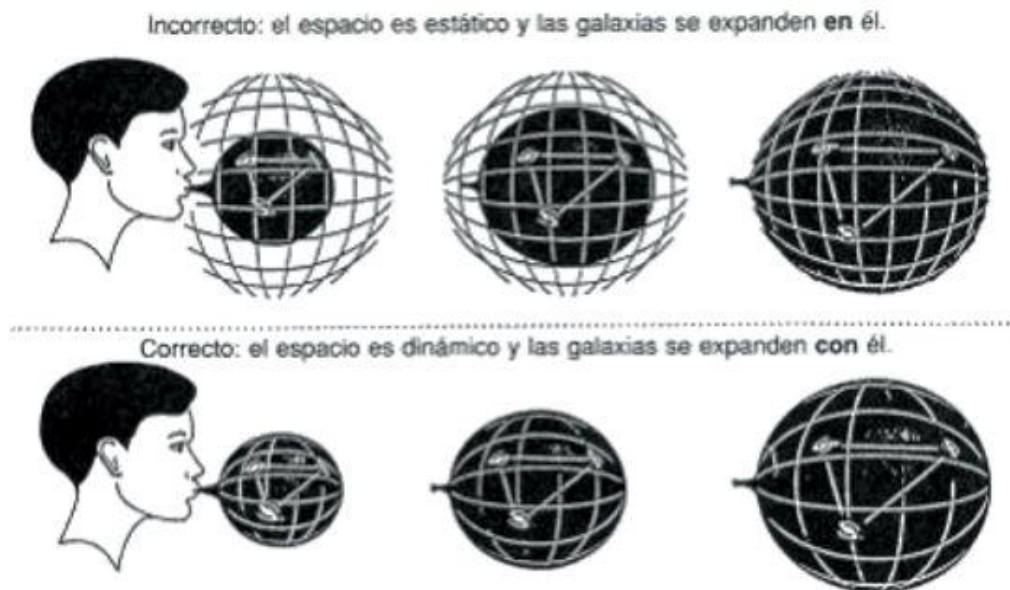


La distancia entre los insectos y la zona señalada del globo aumenta a medida que el globo se hincha, de la misma manera que la distancia entre las galaxias aumenta cuando el universo se expande. Esto no significa necesariamente que las galaxias se muevan a través del espacio, sino que a medida que el espacio se expande lleva las galaxias con él.

Sin duda, fue el trabajo combinado de ambos hombres lo que condujo a nuestra actual comprensión del universo. La cuestión esencial seguía siendo: ¿qué había *causado* la expansión?

En la ciencia ocurre a menudo que las circunstancias confluyen, para que en un momento dado se llegue a una importante visión conceptual. Es lo que le ocurrió al sacerdote y astrónomo George-Henri Lemaître, quien, al pasar de la segunda a la tercera década de este siglo, concibió la idea que finalmente se convirtió en la teoría del Big Bang.

Nacido el 17 de julio de 1894 en Charleroi, Bélgica, Lemaître prestó servicios en la Primera Guerra Mundial, ganó medallas al valor y presencié, entre otros horrores, un ataque con gas de cloro. Personalidad agresiva, fue expulsado de una clase de preparación militar por desafiar una respuesta incorrecta de su maestro a un problema de balística. Durante una tregua en la lucha, Lemaître leyó un libro sobre cosmología del gran teórico y matemático Jules-Henri Poincaré y quedó impresionado por los desafíos que éste planteaba. A comienzos de la década del veinte, Lemaître se matriculó en la Universidad de Cambridge y posteriormente en la de Harvard para estudiar astronomía.



Galaxias expandiéndose en el espacio (arriba), en contraposición con galaxias expandiéndose con el espacio y no en él (abajo). (Sky and Telescope.)

Fue una época favorable. Einstein había creado recientemente su teoría de la relatividad general y estaba luchando para evitar su implicación de un universo no

estático (probablemente en expansión); Alexander Friedmann y William de Sitter estaban interpretando las ecuaciones de Einstein y aceptaban su implicación de un universo no estático; Slipher estaba acumulando datos sobre el desplazamiento hacia el rojo galáctico; y Hubble estaba por hacer historia confirmando la realidad de las nebulosas extragalácticas y los desplazamientos galácticos al rojo. Si Lemaître no hubiese dado con la idea del Big Bang, seguramente la habría hallado algún otro, y pronto. Basta citar al cosmólogo de Princeton James Peebles: «Weyl y Friedmann estaban en el buen camino antes de Lemaître y de que la situación en el campo de la observación estuviese madura. Robertson tenía todas las piezas aproximadamente un año antes que Lemaître, y Eddington y Tolman le estaban pisando los talones.»

Entre 1927 y 1933, Lemaître esbozó la más antigua versión de la teoría del Big Bang. La llamó «hipótesis del átomo primitivo». Sugirió que el universo había nacido de un solo cuanto primitivo (o átomo primitivo, como él lo llamaba) de energía. Para entonces Ernest Rutherford había descubierto el núcleo atómico y había advertido que algunos núcleos emiten partículas por desintegración radiactiva. La teoría cuántica estaba muy en boga en esa época: de Broglie, Heisenberg, Schrödinger, Bohr, Dirac y otros estaban revolucionando nuestra visión del micromundo y sin duda semejante ambiente contribuyó a inspirar a Lemaître.

En su opinión, el átomo primordial empezó dividiéndose una y otra vez, como bacterias en una cubeta. Con el tiempo, engendró toda la materia del universo actual. El espacio y el tiempo se desplegaron a medida que los núcleos proliferaban. La autorreproducción cuántica tuvo lugar a un ritmo explosivo. «La evolución del universo puede ser comparada con una exhibición de fuegos artificiales que acaba de terminar: unos pocos vestigios, cenizas y humo», escribió en la década del veinte. «De pie sobre una escoria bien enfriada, contemplamos el lento desvanecer de los soles, y tratamos de recordar el brillo desaparecido del origen de los mundos.»

Lemaître trató sin éxito de interesar a Einstein y De Sitter en el átomo primordial. En 1927 buscó a Einstein en la Quinta Conferencia Solvay de Bruselas, a fin de defender sus ideas. Einstein estuvo brusco y seco, cosa poco habitual en él: «Sus cálculos son correctos, pero su visión física es abominable». El viejo maestro de

Lemaître, Arthur Eddington, no estaba dispuesto a hablar de comienzos cósmicos. «Me ha parecido que la teoría más satisfactoria sería una que *no fuese tan antiestéticamente abrupta*», dijo aclarándose la garganta. (Las cursivas son suyas.) Lemaître describió sus ideas en el número del 9 de mayo de la revista *Nature* en una misiva que un sabio ha llamado «la carta magna de la teoría del Big Bang».



Albert Einstein, cuyas teorías general y especial de la relatividad implicaron un cambio radical en la cosmología, y Georges-Henri Lemaître, cura y astrofísico belga pionero de la idea del Big Bang, a principios de la década de 1930. (Brown Brothers.)

Empezó recordando que Eddington se había burlado de la charla sobre los orígenes cósmicos porque, filosóficamente, la idea del comienzo del orden actual de la naturaleza le inspira rechazo. Personalmente, me inclino a pensar que el estado presente de la teoría cuántica sugiere un comienzo del mundo muy diferente del

orden actual de la naturaleza. Desde el punto de vista de la teoría cuántica, los principios de la termodinámica pueden ser formulados del siguiente modo:

1. *la energía, de cantidad total constante, se distribuye en cuantos discretos; y*
2. *el número de cuantos distintos siempre aumenta.*

Si retrocedemos en el tiempo hallaremos cada vez menos cuantos, hasta que encontremos toda la energía del universo encerrada en unos pocos cuantos o incluso en uno solo.

Ahora bien, en los procesos atómicos los conceptos de espacio y de tiempo no son más que nociones estadísticas que cuando son aplicadas a fenómenos individuales que sólo involucran a un pequeño número de cuantos, simplemente se esfuman. Si el mundo ha empezado con un solo cuanto, las nociones de espacio y tiempo carecen de sentido; sólo empezarían a tener un significado sensato cuando el cuanto original se hubiese dividido en un número suficiente de cuantos. Si esta sugerencia es correcta, el comienzo del mundo ocurrió un poco antes del comienzo del espacio y del tiempo. Creo que tal comienzo del mundo está lo bastante lejos del orden actual de la naturaleza como para no ser en absoluto repugnante.

La carta de Lemaître dio origen a una historieta publicada el 19 de mayo de 1931 en *el New York Times*: «*Lemaître*⁷ sugiere que un solo gran átomo, que contiene toda la energía, fue el principio del universo».

Mientras los cosmólogos discutían los comienzos cósmicos, el mundo padecía la Gran Depresión. Las noticias de los medios de comunicación trataban de alentar el espíritu de los lectores con estimulantes (y en ocasiones exagerados) informes sobre nuevos descubrimientos científicos, sobre todo en el ámbito de la astronomía. Como resultado de ello, Lemaître se convirtió en una celebridad menor de los medios de comunicación; aunque no era tan famoso como Einstein, los periódicos publicaban fotos de ambos. Para ese entonces Einstein se dio cuenta de que había descartado demasiado rápidamente la idea del joven sacerdote y empezó a referirse a ella como la «más grande, bella y satisfactoria interpretación de fenómenos astronómicos».

⁷ Literalmente «el maestro», juego de palabras con Lemaître. (N. del T.)

El *Times* aseguró a sus lectores que Lemaître no percibía «ningún conflicto entre la ciencia y la religión» y que era «uno de los mejores físicos matemáticos vivos... Ahora su universo en expansión se ha hecho tan popular que el modelo estático y cilíndrico de Einstein parece tan anticuado como una vieja bicicleta».

Una figura fundamental en la aceptación de la hipótesis del átomo primordial había sido Eddington, mentor de Lemaître y el sabio más influyente en la cosmología de la época. En 1927, Lemaître le dio un manuscrito en el que esbozaba la hipótesis, pero Eddington era tan renuente a aceptar, semejante idea que lo archivó sin leerlo cuidadosamente. Cuando cinco años más tarde confesó su error, recuperó el manuscrito, lo hizo traducir del francés al inglés y lo publicó en las actas de la Royal Astronomical Society. Esta actitud fue un signo definitivo de aprobación. Había llegado la teoría del Big Bang (aún no llamada de este modo).

Al igual que en las demás ciencias, el progreso en cosmología se nutrió de una interacción constante entre la teoría y la experimentación (u observación). La teoría de Lemaître se hizo muy popular, pero ¿cómo podía demostrarse —es decir, ser sometida a prueba— científicamente? Todos los productos del Big Bang están alrededor de nosotros en el universo que vemos. Pero ese universo es sumamente complicado, y la búsqueda de signos de un suceso primordial ocurrido hace 15.000 millones de años probablemente sería fútil. El universo debe de haber sido progresivamente más simple a medida que se acercaba el Big Bang, y es en las manifestaciones más simples donde deben buscarse sus claves. Lemaître comprendió esto y sugirió que los rayos cósmicos de alta energía podían proporcionar la respuesta. Pero se equivocaba, pues estas partículas casi con seguridad están generadas por procesos de nuestra galaxia. La confirmación del Big Bang tendría que esperar otros 33 años.

Sin embargo, a comienzo de la década del treinta la idea y la teoría del espacio en expansión fueron por fin firmemente incluidas en la cosmología. Por desgracia, muchas personas ajenas al ámbito de la ciencia creyeron —y siguen creyendo—, que el Big Bang fue una explosión que arrojó materia hacia el espacio vacío. El nombre de Big Bang no ayuda. La temprana interpretación del desplazamiento hacia el rojo como consecuencia del efecto Doppler inculcó la idea de que las galaxias se

movían en un espacio preexistente. Este cuadro de la explosión-en-movimiento condujo a muchos y conflictivos problemas.

Einstein introdujo una visión clara, a saber: que el espacio y el tiempo no son los absolutos establecidos por la física newtoniana, sino que tienen propiedades variables. En particular, el espacio-tiempo tiene curvatura y, como Einstein se vio obligado a admitir a pesar de su renuencia, cambios de escala con el tiempo. Vivimos en un universo cuyo espacio se expande constantemente. El desplazamiento cosmológico hacia el rojo se debe al estiramiento de la luz por la expansión del espacio. La luz de las galaxias distantes tarda más en llegar hasta nosotros y debido a la expansión del espacio se estira a longitudes de onda más largas que la luz de las galaxias cercanas. La expansión del espacio produce la ley de Hubble. Consideremos un universo idealizado en el que las galaxias no se muevan con respecto al espacio ni otro material cercano a ellas. La expansión del espacio hace que la distancia entre las galaxias aumente en proporción a esa misma distancia. Si el espacio se expande a un ritmo constante, esta relación es la ley de Hubble lineal: el desplazamiento al rojo es proporcional a la distancia. A una distancia de separación suficientemente grande, dos galaxias, que permanecen inmóviles respecto de su lugar, están separadas por una distancia que aumenta más rápidamente de lo que la luz puede viajar entre ellas. Si no se comprende que el espacio está expandiéndose, uno pensaría que las galaxias se alejan más rápidamente que la velocidad de la luz, aunque ninguna de ellas se mueva.

El advenimiento de la teoría del Big Bang no sólo ofreció una perspectiva nueva y espectacular sobre el origen del universo, sino que proporcionó una posible solución a uno de los desafíos más persistentes de la cosmología: ¿de dónde provienen los elementos? ¿Cómo ha creado la naturaleza los más de 92 ocupantes naturales (hidrógeno, helio, carbono, oxígeno, hierro, etcétera) de la tabla de los elementos de Mendeleiev? Gran parte del mundo que tan familiar nos resulta —las rocas, los animales y las plantas que nos rodean— está compuesto de elementos más pesados que el hidrógeno y el helio. Sin embargo, el universo como un todo está dominado por esos dos elementos: el helio representa casi el 25 por ciento de toda la materia, y el hidrógeno, cerca del 75 por ciento, y todos los demás elementos totalizan exactamente el uno por ciento. ¿Cómo pudo ser posible esta distribución de

elementos? La teoría del Big Bang de Lemaître proporcionaría una respuesta, al menos parcialmente.

Hasta comienzos del siglo XX la cuestión parecía irresoluble, y no era la menos importante de las razones el hecho de que nadie supiera de qué estaban hechos los átomos. En 1896 Henri Becquerel (1852-1908) descubrió la radiactividad. El neozelandés Ernest Rutherford (1871-1937), llegó a la Universidad de Cambridge en 1897 justo a tiempo para presenciar el descubrimiento del electrón por parte de J. J. Thomson. Rutherford comenzó a estudiar la radiactividad y ganó en 1908 el premio Nobel por su labor. En 1910 se valió de una fuente radiactiva para bombardear una delgada lámina de oro y se convirtió así en el precursor de la física subatómica. Halló que el átomo era casi enteramente espacio vacío que contiene un diminuto núcleo cargado positivamente y que, a su vez, contiene protones alrededor de los cuales giran electrones aún más pequeños cargados negativamente. (El otro constituyente del núcleo, el neutrón, fue descubierto veinte años más tarde, en 1932, por Chadwick.)

Un hecho inusual fue observado ya en 1917 por el químico norteamericano William Draper Harkins. A excepción del hidrógeno, encontró elementos con números⁸ atómicos pares (2, 4, 6, etcétera) que eran mucho más abundantes que aquéllos con números atómicos impares (3, 5, 7, etcétera). ¿Constituía esto una clave de cómo se formaron los átomos? Harkins especuló que los elementos habían sido generados por la combinación — fusión— de sus núcleos atómicos, y que los elementos de número par eran más abundantes que los de número impar porque se formaban más fácilmente o eran más estables.

La noción de fusión como proceso cosmológico importante se fortaleció cuando, en 1925, la astrónoma de Harvard Cecilia Payne-Gaposhkin demostró que el Sol está constituido casi enteramente de hidrógeno, el elemento más ligero. Los teóricos llegaron a la conclusión de que el Sol no engendró su calor por fisión atómica, como se había supuesto, sino específicamente por fusión, es decir, por la combinación de dos núcleos de hidrógeno (que tienen un solo protón cada uno) para obtener un núcleo de helio (dos protones). El calor intenso es necesario para iniciar el proceso de fusión porque los dos protones, ambos de cargas positivas, se rechazan

⁸ El número atómico está relacionado con el número de protones de un elemento; el hidrógeno es el elemento más ligero, pues sólo tiene un protón. El helio tiene dos protones, el litio tres, etcétera.

mutuamente. Pero una vez en marcha, la fusión nuclear libera una inmensa energía, que es la razón por la que durante décadas los físicos han tratado de dominar la fusión nuclear para generar energía aquí en la Tierra, hasta ahora sin éxito en alguna escala útil.

En la década de 1930 el físico alemán Hans A. Bethe explicó la fuente del calor del Sol a partir de la teoría de la fusión nuclear.

Ideas provenientes de disciplinas dispersas se unieron como caminos que convergen en una intersección. Si la fusión nuclear podía explicar el calor estelar, ¿no podría también explicar el origen de los elementos? ¿Era posible que el calor estelar, o alguna otra fuente de calor, hubiese fusionado los protones en diferentes agregados, formando todos los elementos del cosmos? Por ejemplo, combinando núcleos de helio, con dos protones cada uno, se podrían obtener elementos más pesados que contuviesen protones en múltiplos de dos: 4 (berilio), 6 (carbono), 8 (oxígeno), 10 (neón), etcétera.

Esto explicaría el motivo por el cual los elementos de número par son tan comunes.

«Las [partículas] que constituyen el núcleo [del helio] deben de haber sido reunidas en algún tiempo y lugar; ¿por qué no en las estrellas? — escribió Eddington en 1927 en su libro Stars and Atoms —. Sé muy bien que muchos críticos consideran que las condiciones halladas en las estrellas no son lo bastante extremas como para lograr la transmutación: las estrellas no están suficientemente calientes. Los críticos son vulnerables a una réplica obvia; les decimos que vayan a buscar un lugar más caliente.»

Pero en la década de 1930, se disponía de un «lugar más caliente», al menos sobre el papel: el átomo primitivo de Lemaître.

En 1938, después de llegar a la conclusión de que el interior del Sol y otras estrellas no tenía suficiente temperatura para fundir elementos ligeros y obtener una abundancia de elementos más pesados, el investigador Cari Friedrich von Weizsacker sugirió que una «bola de fuego» primordial supercaliente podía haberlo conseguido. Como escribió a un periódico científico europeo: «Uno puede, por lo tanto, presuponer un gran conjunto primitivo de materia consistente, quizá, en puro hidrógeno. Cuando se colapso bajo la influencia de la gravedad elevando de este

modo su temperatura central, llegó por fin a un estado en el que en su interior tuvieron lugar reacciones nucleares...

» *¿Cuán grande debemos imaginar que fue el primer conjunto? La teoría no pone ningún límite superior, y nuestra fantasía tiene la libertad de imaginar, no sólo el sistema de la Vía Láctea, sino también el universo entero combinado en él tal como lo conocemos.*»

Una bola de fuego tan grande como la Vía Láctea, quizá incluso como todo el cosmos. Una bola de fuego tan masiva se desmembraría, arrojando materia que ahora veríamos como las galaxias que se alejan. Esta materia incluiría elementos pesados «horneados» por el intenso calor, elementos que luego se condensarían para formar objetos celestes como la Tierra. La «bola de fuego» de Von Weizsacker tenía mucho en común con el «átomo primordial» de Lemaître. Si el Big Bang pudiese —al menos en teoría— resolver el enigma del origen de los elementos, su validez se vería muy fortalecida. ¿Cómo someterla a prueba?

Todo aquel que lea el libro de Alan Lightman y Roberta Brawer *Origins*, una serie de entrevistas con cosmólogos, no podrá dejar de observar lo a menudo que los entrevistados dicen que, cuando niños, fueron inspirados por los escritos de divulgación de George Gamow y Fred Hoyle. De jovencito leí y aprendí de los libros de Gamow, en particular los retos de «Mr. Tompkins». Su protagonista, un miembro imperturbable de la burguesía inglesa, siempre tiene extraños encuentros con manifestaciones cotidianas de física fabulosa desde el macromundo hasta el micromundo: por ejemplo, los ciclistas que van tan rápido que experimentan la dilatación einsteiniana del tiempo, o automóviles que, gracias al «efecto túnel cuántico», pueden conducir a través de las paredes. Los libros de Hoyle son, por supuesto, legendarios, e incluyen *Frontiers of Astronomy* y *The Black Clona*.

El genio de Gamow incitó a la cosmología a probar la validez de la teoría del Big Bang y el papel de éste en la elaboración de elementos. Y fue la respuesta de Hoyle a la propuesta de Gamow lo que alentó las más acaloradas controversias en el seno de esa disciplina científica.

Nacido en Odessa, Rusia, en 1904, Gamow se convirtió en uno de los más célebres eruditos del siglo XX. Abordó con éxito e hizo sustanciales contribuciones a temas

alejados de su ámbito específico, desde la cosmología y la física atómica hasta la genética y el ADN. Después de dejar Rusia, Gamow trabajó en universidades de Europa para trasladarse finalmente a los Estados Unidos. «El 90 por ciento de las teorías de Gamow eran equivocadas, y resultaba muy fácil comprender que lo eran —ha recordado su asociado Edward Teller—. Pero eso no le importaba. Era una de esas personas que no se sienten particularmente orgullosas por ninguna de sus invenciones. Podía desechar la última de sus ideas y luego considerarla como una broma.»

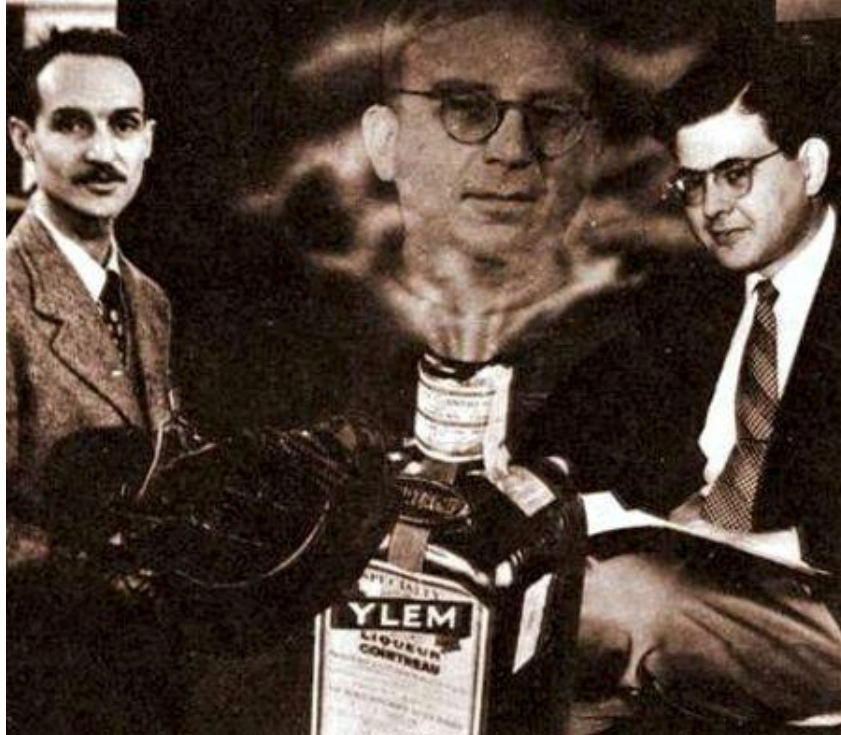
Gamow «podía plantear cuestiones que se adelantaban a su tiempo», recuerda la astrónoma Vera Rubin, quien estudió con él y cuyo esposo compartía el laboratorio de física aplicada de la Universidad John Hopkins con el asociado de Gamow, Ralph Alpher. «No sentía ningún interés por los detalles; en muchos aspectos puede que no fuera *competente* como para verificar muchos de los detalles... Era como un niño.» Tuvo un matrimonio tempestuoso, bebía demasiado y era un cotilla entusiasta así como un bromista legendario. En medio de toda esta vida agitada, Gamow se las ingeniaba para hacer alguna contribución importante a la ciencia. Después de la Segunda Guerra Mundial Alpher se familiarizó con la investigación atómica en el Laboratorio Nacional de Argonne, en Illinois, y en el Laboratorio Nacional de Brookhaven, en Long Island, el mismo donde llevé a cabo mis primeros experimentos en física de partículas. La preparación en física atómica de Alpher fue de gran valor en su propio esfuerzo y en el de Gamow para explicar cómo se formaron los elementos durante el Big Bang, teoría que desarrollaron conjuntamente con Robert Hermán, también del laboratorio de física aplicada de la Universidad John Hopkins. Las investigaciones en Argonne y Brookhaven proporcionaron dos pilares para la teoría.

Los investigadores de estos centros disparaban haces de neutrones de alta velocidad sobre blancos metálicos, obteniendo de este modo datos sobre la probabilidad de que un neutrón determinado pase lo bastante cerca de un núcleo como para que ambos se fusionen. (Esto es más fácil que en el caso de los protones, porque los neutrones carecen de carga eléctrica y por consiguiente no son rechazados por los protones del núcleo.) Los físicos establecieron que los neutrones en estado «libre» (no ligados a un núcleo atómico) se desintegrarían

espontáneamente a los pocos minutos para dar origen a un protón, un electrón y un neutrino que conservasen la carga eléctrica y otras propiedades.

El escenario estaba montado. Gamow sugirió que en el comienzo el universo consistía en una sustancia primordial a la que llamó «*ylem*» (la palabra griega para «materia primordial»). El *ylem* era un gas de neutrones extremadamente caliente (diez mil millones de grados). Puesto que muchos de los neutrones eran «libres», empezaron a desintegrarse en protones, además de los obligatorios electrones y neutrones. El resultado fue un mar en ebullición de neutrones y protones. Con el intenso calor, los protones y neutrones empezaron a fusionarse en elementos cada vez más y más pesados. Algunos elementos con el mismo número de protones tenían diversos números de neutrones (llamados «isótopos»). En opinión de Gamow, todos los elementos del universo se formaron de esta manera durante los primeros veinte minutos después del Big Bang, «en menos tiempo del que se tarda en asar un pato con patatas». Puesto que los neutrones libres se convertían continuamente en protones, al cabo de un momento el número total de protones era mayor que el de neutrones; por ello, una cantidad de protones no tuvieron neutrones asociados y gran parte del material primordial subsistió como protones (los núcleos de hidrógeno). Aunque la hipótesis parecía explicar fácilmente el origen del hidrógeno y el helio, era menos aplicable a los elementos más pesados. A medida que el universo se expandió y se enfrió, las oportunidades y las energías requeridas para crear núcleos más pesados disminuyeron. Aunque no tenía la certeza, Gamow sugirió que los elementos más pesados podían haberse formado después del Big Bang.

Gran parte del cálculo detallado de la hipótesis fue hecho por Alpher y constituyó la base de su tesis doctoral, que presentó en 1948. Él y Gamow escribieron un artículo sobre el tema para su publicación en *Physical Review*, lo que le dio a Gamow ocasión de hacer una de sus bromas. Invitó a Hans Bethe a firmar conjuntamente el escrito, de modo que el artículo de Alpher, Bethe y Gamow (o alfa, beta y gama) tuvo una entrada triunfal en la literatura cosmológica.



Robert Hermán, George Gamow y Ralph Alpher, de izquierda a derecha, en una composición fotográfica que muestra a Gamow emergiendo de una botella de «ylem», la hipotética materia primordial del Big Bang. El montaje fue una broma de Alpher y Hermán.

Alpher y Hermán escribieron una continuación de dicho artículo que contenía una predicción sencilla pero profunda que constituye el fundamento de la cosmología moderna. Para que los protones se fusionaran con los núcleos debían tener energía suficiente para superar el rechazo eléctrico de los protones en los núcleos del objetivo. Esto requería que el universo primitivo estuviese caliente. Si lo estaba demasiado, los protones, neutrones y fotones energéticos volarían los núcleos tan rápidamente como se formaron. Así, unos pocos minutos después de la creación la temperatura tenía que permanecer en una gama estrecha. Elaborando los detalles, observaron que el universo empezó como una intensa bola de fuego, y a medida que se expandía, la radiación —el calor— persistía pero se diluía constantemente. Después de tener en su comienzo una temperatura de muchos miles de millones de grados, el universo se enfriaría gradualmente a medida que pasase el tiempo y el espacio se expandiera. Calcularon que el universo actual debía ser de unos 5°

Kelvin (que es lo mismo que 5° Celsius por encima del cero absoluto). Si el Big Bang se había producido del modo en que lo predecían Gamow y sus colegas Alpher y Hermán, el universo estaría impregnado de una tenue radiación de fondo — un eco de ese suceso primordial— que es la temperatura equivalente a 5° Kelvin. Por el contrario, si el Big Bang no había tenido lugar, semejante radiación no existiría.

Allí estaba, en el artículo de Alpher y Hermán: la predicción de la radiación cósmica de fondo, una clave tangible del Big Bang. En la década de 1940 no había modo de detectar tan débil resplandor en el espacio, por lo que la predicción de Alpher y Hermán fue olvidada —excepto por sus autores— durante dos décadas, como ocurriera con el histórico artículo de Mendel sobre la genética de los guisantes.

Gamow se sintió feliz de divulgar sus ideas al gran público. Dijo a los lectores del *Scientific American*: «Para muchos lectores, la afirmación de que la actual constitución química de nuestro universo fue decidida en media hora hace cinco mil millones de años sonará insensata. Pero consideremos una parcela del campo de pruebas atómicas de Nevada, donde se hizo, explotar una bomba atómica... En un microsegundo las reacciones nucleares originadas por la bomba produjeron una cantidad de productos de fisión. En 1956, cien millones de millones de microsegundos más tarde, el lugar aún estaba caliente con los productos de fisión sobrevivientes. La proporción de un microsegundo por tres años es la misma que, a proporción de media hora por 5.000 millones de años. Si en un caso podemos aceptar una relación de tiempo de este orden, ¿por qué no también en el otro caso?» Un argumento persuasivo, al menos para los legos. También escribió un libro, *The Creation of the Universe*, que se vendió rápidamente e incluía un cálculo que indicaba que la radiación cósmica de fondo sería de 50° K —no 5° K que es la cifra correcta—. Como de costumbre, Gamow había cometido un sencillo error matemático.

Al otro lado del océano Atlántico, Fred Hoyle se burlaba de la teoría de Gamow, Alpher y Hermán centrada en el Big Bang como origen del universo, y se disponía a preparar lo que esperaba que fuese una respuesta devastadora.

Capítulo 4

Conflicto cosmológico

Era la primera noche de Mr. Tompkins en el hotel Beach. Después de cenar habló con el viejo profesor sobre cosmología y con la hija de éste sobre arte. Finalmente, se retiró a su habitación, se acostó y se tapó la cabeza con la manta. Botticelli y Bondi, Salvador Dalí y Fred Hoyle, Lemaître y La Fontaine se mezclaron en su cansado cerebro hasta que, por fin, cayó en un sueño profundo...

GEORGE GAMOW, Mr. Tompkins en rústica (1965).

Sin creación continua, el universo debe evolucionar hacia un estado muerto en el que toda la materia se halle condensada en un gran número de estrellas muertas...

FRED HOYLE, The Nature of the Universe (1950).

Fred Hoyle nació en Bingley, un pueblo al norte de Inglaterra, en 1915. Hijo de un comerciante textil económicamente inestable, su madre le enseñó las tablas de multiplicar cuando sólo tenía tres años. El valle en el que vivía estaba dedicado por completo a la industria de la lana, por lo que cada día, de camino a la escuela, oía el estruendo de las máquinas de las fábricas. Era de natural agresivo e independiente, o tal vez estas características de su personalidad se debieran a los duros tiempos que corrían: la Primera Guerra Mundial estaba acabando con la vida de cientos de miles de jóvenes a pocos kilómetros de distancia, en las trincheras de Francia, y los zeppelines bombardeaban Londres. Cualquiera que fuese el motivo, a temprana edad decidió que odiaba la escuela y decidió que aprendería a conocer el mundo natural por sí solo, en vez de soportar las insulsas clases de aburridos maestros.

En ese tiempo la ciencia era particularmente atractiva debido a una nueva maravilla, la radio: «Ésta era un gran misterio en nuestro pueblo, y había unas treinta personas que estaban instalando sus propios pequeños receptores». A la edad de diez años empezó a experimentar con sustancias químicas de un pequeño juego de química casero. Sin embargo, la ley exigía que asistiera a clases, y ése fue el motivo de que empezase a librar sus primeras batallas con la ortodoxia. Un maestro le golpeó por contar mal el número de pétalos de una flor, y el joven Fred

se sintió tan furioso que durante un tiempo se negó a regresar a la escuela. Descubrió los escritos de divulgación de Arthur Eddington, que estimularon su interés por la cosmología. También es probable que tomase nota del frío y arrogante comentario de Eddington acerca de que le repugnaba «la idea de que el orden actual de la naturaleza tuvo un comienzo». Tal vez esas palabras llevaron inconscientemente a Hoyle a dedicar su vida a combatir la creencia de que el cosmos empezó en cierto momento del tiempo, con un Big Bang. Prefería la noción aristotélica concebida miles de años antes: el universo siempre había existido y siempre existiría.

Cuando Hoyle contaba trece años, sus padres le regalaron un pequeño telescopio; al igual que ocurrió con muchos otros jóvenes, su vida sufrió un cambio decisivo. A partir de aquel día, permaneció muchas noches de pie observando las estrellas y los planetas. Como el destino se encargaría de demostrar, Hoyle y Gamow tenían más en común que el simple hecho de que a la edad de trece años ambos hubieran recibido un telescopio de regalo. Los dos eran luchadores (hablando en términos intelectuales) y refutaron muchas más teorías de las que podían ser verdaderas. Después de trabajar durante la Segunda Guerra Mundial en una estación de radar, Hoyle fue profesor de astronomía en la Universidad de Cambridge. También comenzó a dar charlas sobre este tema en la BBC y a escribir artículos y libros de divulgación. Al igual que Gamow, Hoyle se estaba convirtiendo en un destacado intérprete de la ciencia para el público profano.

En 1950, en el transcurso de uno de sus populares programas de radio, Hoyle acuñó la expresión «Big Bang» para referirse a la, en su opinión, repugnante teoría de Gamow. Hoyle había dado al término un sentido despectivo, pero resultó tan convincente y atractivo para la imaginación, que acabó por imponerse, bien que sin las resonancias negativas que le había dado su autor. Hoyle se convirtió en el defensor más destacado de una teoría alternativa a la del Big Bang: la «teoría del estado estable». La lucha por la supremacía intelectual de estas dos teorías dominó la ciencia de la cosmología durante casi dos décadas.

Una noche de 1946, Hoyle fue a ver una película titulada *El muerto de la noche*, en compañía de dos colegas de Cambridge: Tilomas Gold y Hermán Bondi. El argumento del filme consistía en una serie de historias de fantasmas con un final

poco usual: la última escena era la misma que la primera. Se trataba de una historia cíclica, continua, sin fin. De acuerdo a la leyenda, este giro cinematográfico inspiró a Gold la posibilidad de que el cosmos también fuera cíclico. La teoría del Big Bang, con su expansión del espacio, implicaba que a medida que las galaxias se diseminaban hacia el exterior, el cosmos se disiparía gradualmente como una nube. Gold rechazó esta idea y argumentó que el universo nunca se disiparía porque así como generaba constantemente espacio para la expansión, también generaba nueva *materia* para reemplazar a las viejas galaxias. ¿De dónde provenía esta nueva materia? ¡De la nada! Literalmente, el universo engendraba continuamente nuevos átomos del vacío. Estos nuevos átomos se agrupaban en galaxias, que seguían expandiéndose hacia afuera.

En resumidas cuentas, el universo se hallaba en un estado estable permaneciendo siempre, en esencia, el mismo que ahora. No sólo era homogéneo en espacio (como generalmente se había sostenido durante años), sino también en tiempo. Sería el mismo hoy que hace diez mil millones de años o en el futuro. A los tres teóricos les gustó la idea, entre otras cosas porque evitaba uno de los principales dolores de cabeza de la teoría del Big Bang: su postulación de un comienzo del espacio y el tiempo, un comienzo más allá del cual la mente humana jamás podría penetrar. En 1948 los tres publicaron artículos sobre el tema; Bondi y Gold lo hicieron juntos, Hoyle, solo.

El enfoque de este último era más matemático, en tanto que el de Bondi y Gold hacía hincapié en los aspectos filosóficos. Pero Hoyle derivó un placer inequívocamente filosófico de las implicaciones tranquilizadoras de la teoría: el universo nunca moriría. Hasta ese momento, su suerte parecía inevitable. De acuerdo a las teorías termodinámicas del siglo XIX, los sistemas cerrados caen gradualmente en el desorden (aumenta su entropía), y ése parecía ser el destino del universo. Los físicos comenzaron a concebir el cosmos como un gran mecanismo que, al igual que cualquier máquina, acaba agotándose. Con el tiempo, las brillantes estrellas se quemarían y los planetas chocarían contra sus soles progenitores. Esta visión melancólica hallaría expresión literaria en las páginas finales del relato de ciencia ficción *La máquina del tiempo*, escrito por H. G. Wells en 1895. El libro trata sobre un hombre que viaja millones de años en el futuro. Al pasar sobre un océano

de una Tierra casi sin vida observa que ésta se hacía poco a poco más lenta y oscura. Los planetas habían dejado de rotar y giraban progresivamente más cerca del Sol agonizante:

«... Un crepúsculo ininterrumpido se cernía sobre la Tierra... Todo rastro de la Luna había desaparecido. El ciclo de las estrellas, cada vez más lento, había dado lugar a puntos móviles de luz... El Sol, rojo y muy grande, se había detenido y permanecía inmóvil sobre el horizonte, como una vasta cúpula brillante con un calor apagado... Las rocas a mi alrededor eran de un color rojizo, y la única señal de vida que pude distinguir era la vegetación de un verde intenso... el mismo verde que uno ve en el musgo de los bosques o en el líquen de las cavernas: plantas que, como éstas, crecen en un crepúsculo perpetuo... No puedo transmitir la sensación de abominable desolación que se cierne sobre el mundo...»

Un pesimismo similar fue expresado en 1923 por el filósofo Bertrand Russell:

«...Todo lo que el hombre ha hecho a lo largo de los siglos, toda la devoción, toda la inspiración, todo el brillo del genio humano, están destinados a su extinción en la vasta muerte del sistema solar; y todo el templo de las realizaciones del hombre debe, inevitablemente, ser enterrado bajo los escombros de un universo en ruinas...»

Hoyle sostenía que si la teoría del estado estable es verdadera, entonces las desoladoras visiones de Russell y las visiones decimonónicas de la «muerte por calor» nunca lo serían. «Sin creación continua —escribió en 1950— el universo debe evolucionar hacia un estado muerto en el que toda la materia esté condensada en un vasto número de estrellas muertas... Con la creación continua, en cambio, el universo tiene un futuro infinito en el que todos sus actuales rasgos a gran escala serán conservados.»



Fred Hoyle, máximo exponente de la teoría sobre el estado estacionario del universo.

Para los «hombres del estado estable», la creación continua de materia garantizaba que el universo no sólo era homogéneo en espacio —como sostenía el así llamado «principio cosmológico»—, sino también en tiempo. Por ello, Hoyle y sus colegas llamaron a la idea el «principio cosmológico *perfecto*». Un astrónomo vería esencialmente el mismo tipo de universo en cualquier tiempo, tanto si retrocedía miles de millones de años en el pasado, como si avanzaba miles de millones de años en el futuro.

El atractivo de la teoría del estado estable era su poder intelectual: era mucho más dúctil a la hora del análisis científico. El modelo del Big Bang postula un comienzo del universo, cuando las condiciones eran muy diferentes a las conocidas actualmente y, por consiguiente, fuera del alcance de lo que los físicos podrían explicar (al menos con los conocimientos de que se disponía en las décadas de 1940 y 1950). En el modelo del estado estable, en cambio, no existía ningún agujero negro de ignorancia. En su artículo de 1948, Bondi y Gold sostenían que el universo del estado estable es «convinciente, pues sólo en tal universo las leyes de la física son constantes». Los físicos se sentían mucho más cómodos con una teoría cuyas propuestas podían calcular. Fue por estas razones que la teoría del estado estable

se hizo tan popular en los años cincuenta y principios de los sesenta y fue considerada tan verosímil como la del Big Bang.

En realidad, la teoría del estado estable se basaba en una idea aparentemente indigerible: la creación rutinaria de materia a partir de la nada⁹. «Esto —decía Hoyle— puede parecer una idea extraña, y admito que lo es, pero en la ciencia no importa lo extraña que pueda parecer una idea mientras sea eficaz, es decir, mientras la idea pueda expresarse de un modo preciso y mientras sus consecuencias estén de acuerdo con la observación.» Sugirió que la materia podía ser creada por un hipotético «campo de creación», semejante a un campo gravitatorio o electromagnético. El índice de creación de materia estaba determinado por la velocidad a la que se alejaban las galaxias; cuanto más rápidamente lo hacían, tanto mayor era el índice de creación de materia. De hecho, la creación de nueva materia era la causa de que el cosmos se expandiera. La «inexorable introducción de nuevas unidades de creación [forzaba] a apartarse a las otras, del mismo modo en que la llegada de nuevos invitados a una fiesta obliga a los invitados anteriores a alejarse del punto de reunión inicial».

¿Con qué rapidez se creaba la nueva materia? Con la necesaria para reemplazar la materia perdida a medida que las galaxias se alejaban en el espacio profundo. Esto equivale a un átomo de hidrógeno por segundo en un cubo de 160 kilómetros de lado; o dicho de otro modo: que cada segundo se originan alrededor de un cuarto de millón de átomos de hidrógeno en un espacio igual al volumen de la Tierra; o cerca de un átomo por siglo en un volumen similar al edificio Empire State. Para el cosmos considerado como un todo, se trataba de un excelente índice de producción: la cantidad total de toneladas engendradas por segundo era, al menos, de uno seguido por 32 ceros. Tal índice amenazaba con violar el principio de conservación de la masa y la energía. Quienes sostenían el principio del estado estable admitieron, sin embargo, que planteaba un problema teórico, pero insistieron en

⁹ La idea de generar algo de la nada no era nueva; como ya hemos visto, Robert Millikan había sostenido que los rayos cósmicos eran fotones generados por la continua creación de materia en el espacio, creación que, argumentaba, demos traba que «Dios aún está en la tarea». Por otra parte, el astrofísico James Jeans había sugerido en su libro *Astronomy and Cosmogony* que los «centros de las nebulosas tienen el carácter de "puntos singulares" en los que la materia se vuelca en nuestro universo desde otra dimensión espacial completamente extraña, de modo que para un morador de nuestro universo, aparecen como puntos en los que continuamente es creada materia». Irónicamente, en respuesta a la consabida pregunta «¿Qué hubo antes del Big Bang?», recientemente Edward Trion y otros teóricos han utilizado la teoría cuántica para argumentar que nuestro cosmos se formó literalmente de la nada.

que era más fácil imaginar que la materia se creaba lenta y constantemente de la nada, que lo hacía de un modo instantáneo como sostenían los teóricos del Big Bang.

La única ventaja clara de la teoría del estado estable sobre la del Big Bang —la de que no tenía que explicar lo que había ocurrido antes de la creación del universo— resultaba emocionalmente atractiva. El temprano requerimiento de Eddington acerca de que todo comienzo cósmico no debía ser «antiestéticamente abrupto», refleja su profunda convicción de que las explicaciones científicas no debían tener un carácter demasiado apresurado, como si se tratase de un mago que saca un conejo de su sombrero. Para los primeros críticos, la teoría del Big Bang adolecía justamente de ese problema: implicaba que todos los rasgos de nuestro cosmos —sus tipos de fuerzas, constantes físicas, etcétera— estaban establecidos desde el comienzo; o en otras palabras: eran «condiciones iniciales» especiales. Si esto era así, entonces (atacaban los críticos) su origen estaba para siempre más allá de la comprensión científica.

Hoyle caracterizó este enfoque como el de los «pueblos primitivos... que al tratar de explicar el comportamiento local del mundo físico se ven obligados, en su ignorancia de las leyes de la física, a recurrir a condiciones iniciales arbitrarias... postulando la existencia de dioses, deidades marinas que determinan las condiciones iniciales arbitrarias que controlan el movimiento del mar, dioses de las montañas, de los bosques... El objetivo de la ciencia no es construir una teoría que esté tan rodeada de condiciones protectoras que resulte inalcanzable». A los teóricos nunca les ha gustado que se les diga que algo está más allá de su comprensión potencial. De igual modo, para Gold la teoría del Big Bang era circular en su razonamiento, porque, decía, «sostiene que el universo es lo que es porque era lo que era». O, como decía Hoyle bromeando, el Big Bang era tan molesto como una niña saltando de una tarta.

A veces, el debate entre los teóricos del Big Bang y los del estado estable se parecía más a un enfrentamiento entre diferentes escuelas filosóficas que entre diferentes escuelas de cosmología. En ocasiones, tal debate se llevaba a un nivel emocional cuando los defensores del Big Bang respondían con la misma moneda a las burlas de Hoyle y otros. En su libro *Mr. Tompkins en rústica* (1965), Gamow ridiculizaba a

los defensores de la teoría del estado estable —cuyo hogar intelectual estaba en Cambridge, Inglaterra— señalando que su ideal de un cosmos estable «está de acuerdo con el bueno y viejo principio del Imperio británico de mantener el *statu quo* en el mundo».

Finalmente, ni las bromas ni la filosofía decidieron la guerra entre la teoría del estado estable y la del Big Bang. En cambio, como siempre ocurre en la ciencia, fueron convalidadas por el modo en que sus predicciones se ajustaban a las observaciones. Ambas hicieron varias predicciones acerca de la edad del cosmos, la abundancia y variedad de elementos, la distribución de la materia a través del espacio y el tiempo, y los vestigios de radiación de la gran «bola de fuego» original.

1. La edad del cosmos

Basándose en la velocidad de recesión de las galaxias, Gamow y sus colegas calcularon que la edad del universo era de 1.800 millones de años. Los defensores del estado estable, por su parte, pensaban que el cosmos era infinitamente viejo.

Al principio, la teoría del Big Bang pareció irse a pique en este punto decisivo. La datación de las rocas mediante radioisótopos indicaba que la Tierra tenía entre 4.000 y 5.000 millones de años de antigüedad. Si los cálculos de Gamow eran correctos, esto significaba que el planeta era mucho más viejo que el universo, algo evidentemente absurdo. Durante un tiempo, esta discrepancia acerca de la edad fue una importante fuente de estímulo para los teóricos del estado estable. Pero la discrepancia desapareció en la década de 1950, cuando el astrónomo alemán Walter Baade (1893-1960) demostró que Hubble había subestimado la distancia de las galaxias, y con ello la edad del universo. De hecho, el cosmos era mucho más viejo, probablemente entre 10.000 y 20.000 millones de años, lo que dejaba mucho tiempo para la formación de la Tierra.

2. La abundancia de los elementos

Basándose en sus teorías sobre el origen de los elementos, Gamow, Alpher y Hermán predijeron que alrededor de las tres cuartas partes de la materia cósmica es hidrógeno, en tanto que una cuarta parte es helio. Todos los elementos pesados constituyen menos del uno por ciento. Asimismo, aseguraban, los elementos deben

de estar distribuidos de un modo bastante parejo a través del universo, ya que el Big Bang tuvo lugar en todas partes. En cambio, Hoyle y sus partidarios predijeron que las abundancias elementales variarían a través del espacio si, como proponía la teoría del estado estable, dichos elementos se formaban en hornos celestes locales, es decir, estrellas.

Como a menudo ocurre en los debates, ambas teorías tenían parte de razón. Gamow y sus colegas habían confiado en la capacidad del Big Bang para producir la abundancia de hidrógeno y helio observada, pero estaban menos seguros de que los mismos procesos generasen los elementos más pesados. Durante los años 1949 y 1950, Enrico Fermi y Anthony Turkevich, de la Universidad de Chicago, demostraron que la incertidumbre de Gamow estaba justificada: era imposible que los elementos más pesados que el hidrógeno y el helio hubiesen sido generados por el Big Bang. Sus experimentos indicaban que los isótopos con números de masa 5 y 8 eran inestables y no habrían durado lo suficiente para absorber más protones y neutrones y, consecuentemente, obtener elementos más pesados. Los defensores del Big Bang podían, por lo tanto, explicar el origen de los elementos ligeros (hidrógeno y helio), pero no el origen de los pesados (cualquiera más pesado que el helio).

Los teóricos del estado estable se encontraban en un apuro similar: los procesos nucleares dentro de las estrellas podían producir los elementos pesados, pero no hidrógeno y helio. A mediados de los años sesenta, Hoyle hubo de admitir que se quedaba perplejo cuando se trataba de hallar una explicación simple a la abundancia de helio sin apartarse de la teoría del estado estable. En contraste, tal abundancia podía ser explicada fácilmente por el calor y la densidad elevados del universo del Big Bang primitivo.

Hoyle hizo una importante contribución a la comprensión del origen de los elementos pesados, en cálculos que publicó durante las décadas de 1940 y 1950. Tanto él como William A. Fowler y Geoffrey y Margaret Burbidge demostraron cómo los elementos pesados pudieron haberse «cocinado» dentro de las estrellas, siendo sus materias primas el hidrógeno y el helio. Con el tiempo, estas estrellas explotaron y arrojaron los restos a la galaxia. Al cabo de millones de años, esos restos se condensaron en nuevas estrellas y planetas. La obra de estos teóricos

revolucionó nuestra comprensión de la abundancia de elementos, y en la actualidad es la explicación generalmente aceptada del origen de los elementos pesados. La mayor parte de nuestro cuerpo consiste en átomos elaborados en el interior de una estrella que luego estalló. Todos nosotros estamos hechos, literalmente, de polvo de estrellas.

En consecuencia, el origen de los elementos es un proceso en dos etapas. El hidrógeno y el helio se producen en los primeros estadios de un suceso de creación primordial (el Big Bang); los elementos pesados son posteriormente elaborados por procesos nucleares dentro de las estrellas. La teoría del Big Bang es compatible con este cuadro; la teoría del estado estable no lo es.

3. La distribución de la materia a través del espacio y el tiempo

Los defensores del estado estable predijeron que los astrónomos verían, en primer lugar, galaxias de edades muy diversas, desde unas extremadamente viejas hasta otras extremadamente jóvenes, y, en segundo, ningún cambio significativo en la densidad o el tipo de galaxia a través del espacio y el tiempo. La razón de ello, decían, es que el cosmos es eterno y se crea materia constantemente; por lo tanto, siempre se están formando nuevas galaxias para reemplazar a las antiguas que se retiran en el espacio.

En contraste con esta idea, los teóricos del Big Bang predecían que los astrónomos verían un número creciente de galaxias por unidad de volumen a medida que sondeasen cada vez más profundamente el espacio, y, por ende, el tiempo (esto es, cada vez más cerca del momento en que se produjo el Big Bang). Esto obedece, sostenían, a que toda la materia fue creada en el Big Bang; en consecuencia, la densidad del cosmos debe disminuir a medida que se expande. Asimismo, todas las galaxias se formaron poco después del Big Bang, de modo que no tiene por qué haber galaxias jóvenes. Mirando más atrás y más adelante en el tiempo, los teóricos del Big Bang predijeron que los astrónomos verían la evolución de las galaxias.

La siguiente predicción es la más famosa de todas y la que finalmente dirimió el conflicto cosmológico.

4. La temperatura del espacio

En su artículo de 1948, Ralph Alpher y Robert Hermán hicieron su ahora famosa — pero durante largo tiempo olvidada— predicción de la radiación cósmica de fondo. Un universo producido a partir del Big Bang habría comenzado con una intensa radiación de calor. A medida que dicho universo se expandiese, la radiación por unidad de volumen se diluiría constantemente, de modo que esta omnipresente sopa de radiación se enfriaría a medida que pasara el tiempo. En la actualidad, esta radiación crepuscular se habría enfriado hasta una temperatura de unos 5° Kelvin¹⁰. Sugirieron que alguien debía tratar de detectarla. Habrían de pasar dieciséis años desde la predicción de Alpher y Hermán antes de que alguien intentase detectar la radiación residual. El modelo del estado estable, por el contrario, no hizo ninguna predicción sobre la temperatura del universo.

Es un rasgo sospechoso de la teoría de la explosión (Big Bang) el que no se pueda hallar ningún resto obvio de un estado superdenso del universo.

FRED HOYLE , Las fronteras de la astronomía (1955).

La primera amenaza seria para la teoría del estado estable no provino de Gamow y sus colegas al otro lado del Atlántico, sino, irónicamente, de uno de los colegas de Hoyle en Cambridge, el radioastrónomo Martin Ryle.

La radioastronomía transformó la astronomía moderna del mismo modo que el telescopio de Galileo transformó la astronomía posterior a la Edad Media. Mientras que los telescopios tradicionales estudiaban una gama estrecha del espectro electromagnético — el ámbito óptico, que percibimos con nuestros ojos—, la radioastronomía comenzó a abrir el resto del espectro, como las frecuencias de radio, las microondas, el infrarrojo y, más tarde, las frecuencias de rayos gamma. Como resultado de esto, los astrónomos han descubierto fenómenos extraños, increíblemente energéticos, incluyendo cuásares, estrellas de neutrones y (quizá) agujeros negros. Los radiotelescopios también les permitieron sondear mucho más profundamente el espacio y, en consecuencia, retroceder mucho más en el tiempo,

¹⁰ Cinco grados Kelvin, o 5° K, es la temperatura en grados centígrados por encima del cero absoluto. Las unidades llevan el nombre de lord Kelvin, pionero en el estudio del calor. El cero absoluto es la temperatura de un objeto en el que todo su calor disponible ha sido eliminado. Equivale a −273° centígrados, o 490° Fahrenheit (-460° F) por debajo del punto de congelación del agua.

con lo cual proporcionaron la capacidad para someter a prueba teorías cosmológicas, especialmente las predicciones 3 y 4.

La radioastronomía surgió por accidente. En los años treinta, Karl Jansky, de los Laboratorios Bell Telephone, observó curiosas emisiones de radio provenientes del centro de nuestra galaxia, de una región que se encontraba en la dirección de la constelación de Sagitario. Construyó una serie de antenas a fin de elaborar un tosco mapa de dichas emisiones. Poco después, Grote Reber, un astrónomo aficionado estadounidense, construyó su propio mecanismo para escuchar las señales de radio celestes. Pero lo que en verdad hizo de la radioastronomía una cuestión de vital importancia, fue la Segunda Guerra Mundial. Gracias al desarrollo del radar, los astrónomos tomaron conciencia de que podían utilizar partes no ópticas del espectro electromagnético para sondear el espacio. Por ejemplo, en 1946 se hizo rebotar una señal de radar contra la superficie de la Luna. En los años siguientes, otros astrónomos, entre ellos los del radiotelescopio de Jodrell Bank de Inglaterra, confeccionaron mapas de fuentes de radio provenientes del cielo, algunas de ellas sorprendentemente intensas, como las «radioestrellas» y «las radiogalaxias».

En su mayor parte, los radiotelescopios se parecían menos a los platos cóncavos de hoy en día y más a campos cubiertos de redes y telas de red metálica. Estas estructuras estáticas eran demasiado grandes para apuntar a uno u otro objeto celeste. En cambio, hacían pasivamente el «mapa» del cielo de radio a medida que la Tierra rotaba. Era un proceso ciertamente tedioso.

¿Habría surgido la astronomía moderna si Galileo se hubiera visto forzado a sentarse todas las noches ante un telescopio óptico a mirar en una sola dirección mientras esperaba que la Luna pasase frente a él?

Ryle se había graduado en física en la Universidad de Oxford; después de trabajar durante la guerra en investigaciones sobre el radar, se dedicó a la radioastronomía. En 1950 él y sus colegas hallaron evidencias de emisiones de radio provenientes de cuatro galaxias cercanas, incluyendo la de Andrómeda. Pocos años más tarde confeccionó el mapa de la distribución de las fuentes de radio a través del cielo septentrional, para lo que se valió de un dispositivo de longitud de onda 3,7 metros (semejante a líneas futuristas de conducción eléctrica), cubriendo un acre en las afueras de Cambridge.

Los resultados dejaron pasmados a los defensores de la teoría del estado estable: las radiogalaxias no se distribuían de un modo uniforme a través del espacio. Cuanto más distantes estaban, más abundantes eran. Esto significaba que la densidad de las radiogalaxias era mayor en el pasado (puesto que cuanto más profundamente se mira en el espacio, tanto más lejos se ve en el tiempo), lo cual se contradecía con la predicción hecha por los defensores del estado estable acerca de que la materia se distribuye de manera uniforme a través del espacio y el tiempo. La controversia continuó. En Australia, un observatorio de radio informó de mediciones de fuentes de radio menos nítidas que las de Ryle. Sin embargo, la visión original de éste se ha mantenido en lo esencial: el universo primitivo era más denso, que el actual. Por consiguiente, y al contrario de lo que pretendía el principio cosmológico perfecto de Hoyle, Bondi y Gold, el cosmos no es homogéneo en el espacio y el tiempo.

Un ejemplo aún más famoso de la ausencia de uniformidad de la materia, fue descubierto a comienzos de la década de 1960; se trata de los cuásares. Estos «objetos cuasiestelares» mostraban desplazamientos al rojo sumamente elevados (algunos tienen cambios de longitud de onda de un factor de 3 o 4). En consecuencia, y de acuerdo con la ley de Hubble, los cuásares se formaron hace un tiempo extremadamente largo, casi tanto como el Big Bang.

Y lo más importante: eran completamente diferentes de cualquier cosa vista en el universo moderno, ya que emitían cantidades asombrosas de radiación desde áreas relativamente pequeñas. En la actualidad se cree que los cuásares son centros de núcleos muy activos de las galaxias jóvenes. En resumen, los cuásares revelaban un universo primitivo muy diferente del actual, y, por lo tanto, muy diferente del universo inmutable de la teoría del estado estable.

Los hallazgos de Ryle, con la amenaza que suponían para la teoría del estado estable de Hoyle, hicieron las delicias de Gamow. Su esposa, Barbara Gamow, escribió un poema que aquél publicó en uno de sus libros.

«Tus años de fatiga —dijo Ryle a Hoyle—, son años perdidos, créeme. El estado estable ha pasado de moda. A menos que mis ojos me engañen, mi telescopio ha hecho pedazos tu esperanza; tus dogmas han sido refutados. Permittedme que sea conciso: Nuestro universo se diluye con cada día que pasa.» Dijo Hoyle: «Citas a

Lemaître, observo, y a Gamow. Bien, ¡olvídalos! Ese hatajo de vagabundos y su Big Bang... ¿Por qué los ayudas convirtiéndote en su cómplice? Ya ves, mi amigo, no tiene fin y no hubo comienzo alguno, como Bondi, Gold y yo sostendremos hasta que se nos caiga el pelo.»

Pero Hoyle vacilaba a medida que la defensa de la teoría del estado estable se hacía más difícil. En 1965 admitió en un número de *Nature* que «la indicación del cálculo de radio es que el universo era más denso en el pasado de lo que lo es hoy», y los cuásares indicaban que «el universo se ha expandido de un estado de densidad superior... Parece probable que la idea [del estado estable] acabe por ser descartada, al menos en la forma en que se la ha conocido hasta ahora...» Sin embargo, en años posteriores retomó su teoría, bien que modificada. Hasta el día de hoy insiste en que alguna forma de teoría de la creación continua es preferible a la del Big Bang. En este sentido, la señora Gamow fue profética: puedo decir que el cabello de Hoyle ha encanecido, pero no que haya raleado notablemente.

Me encontré con Hoyle en numerosas ocasiones, por ejemplo, en una conferencia sobre cosmología observacional que tuvo lugar en Durham, Inglaterra, en diciembre de 1991. En el hotel él ocupaba la habitación contigua a la mía, y a menudo charlábamos y comíamos juntos. Lo encontré agudo y batallador. Cuando uno de los participantes trató de asignarle el mérito de haber inventado un precursor de la teoría de la inflación, a saber, su famoso «campo C», Hoyle dijo no tener nada que ver con esto. En su opinión, un universo con un comienzo (tal como la teoría de la inflación suscribía) era más un anatema que un mérito científico.

En la actualidad, Hoyle ha adquirido cierta perspectiva y habla de sus batallas pasadas en un tono algo más amable. No obstante, en ocasiones rezuma amargura, como revelan las observaciones hechas en 1988 en el transcurso de una conferencia de prensa que tuvo lugar en Italia:

«Aproximadamente desde 1955 en adelante, Ryle tenía la idea de que contando fuentes de radio como una función de sus flujos podía refutar la teoría del estado estable. Su programa, que prosiguió incansablemente durante años, no parece haber estado dirigido a ningún otro fin. No se trataba de establecer la cosmología correcta, sino únicamente de refutar las ideas de un colega de la misma

universidad, actitud que nunca me pareció merecedora de los aplausos que el mundo científico le brindó. Siempre me asombró el que alguien pudiese creer en Ryle... La única explicación razonable que puedo ofrecer es que sus afirmaciones fueron consideradas culturalmente deseables.»

Hoyle no aclaró qué significaba la expresión «culturalmente deseables». Pero no fue el primer cosmólogo de la historia en acusar a sus críticos de actuar movidos por motivos no científicos. De igual modo, otros detractores del Big Bang sostienen que la popularidad de esta teoría se basa en que (en opinión de algunos apologistas cristianos) se asemeja a la Creación tal como la describe la primera página del Génesis. A propósito señalan, no sin regocijo, que el primer teórico del Big Bang, Lemaitre, era un sacerdote. «Nuestros mitos contemporáneos gustan de ponerse ropajes científicos para investirse de gran respetabilidad», ataca un distinguido enemigo del Big Bang, Hannes Alfvén, profesor de la Universidad de California en San Diego y laureado con el premio Nobel¹¹. Al mismo tiempo, los teóricos del Big Bang no han sido enteramente puros a la hora de atacar a sus detractores. Un eminente cosmólogo adscrito a la teoría del Big Bang, E. H. Harrison, ha llegado a sugerir que Eddington se opuso a las teorías de los comienzos y fines cósmicos porque no se sentía a gusto con los problemas del nacimiento y la muerte, pues era «un soltero que vivió con su hermana».

En resumen, la teoría del estado estable estuvo al borde del abismo a mediados de la década de 1960. Sólo hacía falta un pequeño empujón para que se viniese abajo. En agosto de 1959, cuando yo tenía catorce años, los Estados Unidos lanzaron un satélite llamado Echo 1. Era un globo gigantesco tan alto como un edificio de oficinas, y con un poder de reflexión tal que resultaba fácilmente visible desde la Tierra. La noche siguiente a que fuese puesto en órbita, mis padres y yo salimos a nuestro patio y lo vimos pasar por encima de nuestras cabezas. Contra esa brillante mota de luz, los ingenieros de radio hicieron rebotar un mensaje hablado del presidente Eisenhower; su principal objetivo era establecer si los satélites de comunicaciones, propuestos por primera vez en 1945 por Arthur C. Clarke, eran factibles.

¹¹ Lemaitre insistió en que su teoría no tenía nada que ver con la religión. De hecho, se sintió disgustado cuando, en 1951, el papa Pío XII citó el Big Bang como prueba de la creación divina.

A fin de hacer experimentos con el Echo 1, se había construido un tipo peculiar de antena de radio. Situada en Holmdel, Nueva Jersey, esta antena se asemejaba a un cuerno muy grande —lo bastante para detectar las señales tenues— y su funcionamiento estaba a cargo de los famosos Laboratorios Bell de AT & T, donde tuvo lugar el nacimiento del transistor y otros inventos. Sus constructores no se dieron cuenta de que su cuerno también era capaz de detectar una forma diferente de radiación, forma que había sido predicha casi dos décadas antes para luego caer en el olvido: la radiación cósmica de fondo.

Como tan a menudo ocurre con los adelantos científicos importantes, varias personas estuvieron cerca de hacer el descubrimiento, pero por razones diversas no llegaron a él. A finales de la década de 1940 algunos científicos registraron una inusual radiación de fondo en el cielo, pero no supieron establecer su fuente. Por lo general llegaban a la conclusión de que se trataba de un ruido perdido o un error de los instrumentos; nadie parecía sospechar que tal vez proviniese del cosmos. En 1946, Robert Dicke inventó el radiómetro diferencial de microondas, un instrumento altamente sensible capaz de detectar tipos de radiación cósmica. Lo utilizó para explorar el cielo, y llegó a la conclusión de que, cualquiera que fuese la radiación de fondo, su temperatura era menor a 20° C. En ese momento sólo buscaba cualquier tipo de radiación proveniente del cielo profundo, no una radiación cosmológica que fuese una reliquia del Big Bang.

En la primavera de 1964, Arno Penzias y Robert Wilson, investigadores de los Laboratorios Bell, estaban usando el cuerno de Holmdel para medir niveles de ruido que pudiesen contaminar las comunicaciones con el Echo 1. Inesperadamente, captaron una persistente radiación de microondas (a una longitud de onda de 7,35 centímetros) que tenía una temperatura equivalente a 3,5° K.

Fueron incapaces de eliminarla de su sistema. La señal llegaba de todas las direcciones del cielo. En un momento especularon que podía ser causada por lo que llamaron, delicadamente, un «blanco material dieléctrico», esto es, excrementos de paloma. O tal vez por el calor generado por los cuerpos de estas aves (la antena era muy sensible). Limpiaron los excrementos pero así y todo, la señal persistía. Un colega, el radioastrónomo Bernard Burke, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, sugirió que la señal tal vez fuera un fenómeno cosmológico, y les

aconsejó que se pusieran en contacto con los astrofísicos Robert Dicke y James Peebles, quienes justamente estaban en camino a Princeton.

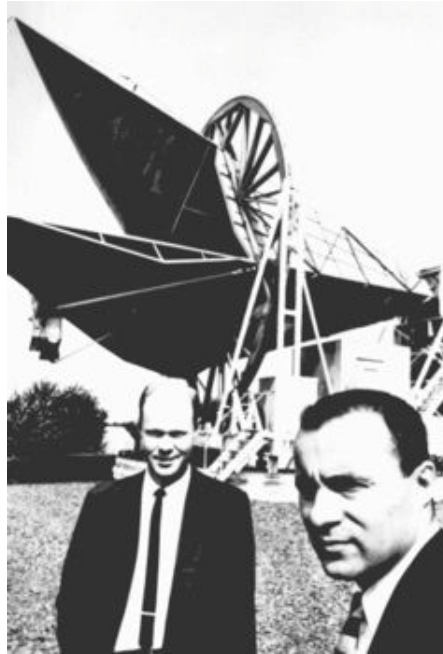
Peebles había dado una serie de conferencias sobre el modo en que los elementos ligeros (como el hidrógeno y el helio) podían haber sido elaborados en el universo primitivo. Ignoraba que a finales de la década de 1940 Gamow, Alpher y Hermán habían sugerido que esos elementos (además de los elementos pesados) se habían formado en el Big Bang, y que el resultado sería un baño cósmico ahora enfriado y reducido a una temperatura residual de unos 5 °K. Dicke y Peebles, independientemente, calcularon que si la teoría del Big Bang era correcta, entonces debía de existir y ser detectable. Inicialmente, calcularon que la radiación de fondo debía de ser de alrededor de 10 °K. A fin de detectarla, idearon un experimento.

Un día Dicke invitó a almorzar en su oficina a algunos colegas que trabajaban en el experimento de radiación cósmica de fondo; ellos eran Peebles, Wilkinson y Roll. En un momento dado sonó el teléfono y Dicke contestó. Los tres científicos le oyeron pronunciar palabras como «radiación de fondo» y «tres K»; aguzaron el oído. Luego Dicke se despidió, colgó el auricular, se volvió a sus colegas y dijo: «Se nos han adelantado». La llamada era de Penzias y Wilson. Habían descubierto la extraña radiación y no tenían ni idea de lo que era. ¿Lo sabía Dicke? Pues sí.

Como resultado de todo ello, ambos equipos estuvieron de acuerdo en publicar conjuntamente sendos artículos en el mismo número del *Astrophysical Journal Letters*. El trabajo de Penzias y Wilson se titulaba «Una medición de exceso de temperatura de antena a 4.080 megaciclos por segundo»; se trataba de una formulación modesta en la que todo lo que hacían era describir sus observaciones. Pero incluía estas líneas aparentemente inocentes: «Una explicación posible para el exceso de temperatura de ruido observado, es la dada por Dicke, Peebles, Roll y Wilkinson (1965) en una carta que aparece en este mismo número».

Esta «explicación posible» fue una verdadera bomba, pues sugería que la antena de Holmdel había detectado una radiación residual de la creación del universo: el Big Bang. El artículo de Dicke y sus colegas describía cómo el Big Bang podía haber generado una radiación primordial que, ahora, se habría enfriado hasta una temperatura particular. El resultado apareció en la portada del *New York Times* del

21 de mayo de 1965, cuyos titulares anunciaban que finalmente habían sido halladas pruebas convincentes del Big Bang.



Robert Wilson (izquierda) y Arno Penzias; detrás de ellos la antena de Holmdel, N. J., con la cual descubrieron inesperadamente la radiación cósmica de fondo. (AT & T Archives.)

Más tarde, Wilson reveló que no había apreciado la importancia de su descubrimiento hasta que vio la noticia publicada en la primera página del *Times*.

En la jerga técnica, el descubrimiento de Penzias y Wilson suena «insulso»: ambos científicos habían detectado radiación isotrópica de «cuerpo negro» con una temperatura de unos 3 °K a una longitud de microonda de 7,35 centímetros, es decir, que ésta era la distancia que separaba cada «onda». Asimismo, llegaban al índice de 4.080 millones por segundo (lo que significa una frecuencia de 4.080 megahertz). (La velocidad de la luz es muy rápida, 2.977 millones de centímetros por segundo.) Pero la verdadera noticia bomba era la naturaleza isotrópica y de cuerpo negro de la radiación. «Isotrópica» significaba que a esa longitud de onda la intensidad de radiación era uniforme en todo el cielo visible. Esto es exactamente lo que cabía esperar si la radiación-reliquia provenía del Big Bang: había ocurrido en

todas partes simultáneamente, de ahí que su resplandor crepuscular fuese uniforme a través de los cielos.

La radiación de cuerpo negro se produce cuando las partículas chocan las unas contra las otras muy rápidamente en equilibrio térmico. Dada la intensidad de estas colisiones en el postulado Big Bang, un enorme flujo de tal radiación debió de producirse tempranamente, y estar todavía presente en el universo. La radiación de cuerpo negro es fácilmente identificable por su espectro «planckiano»¹².

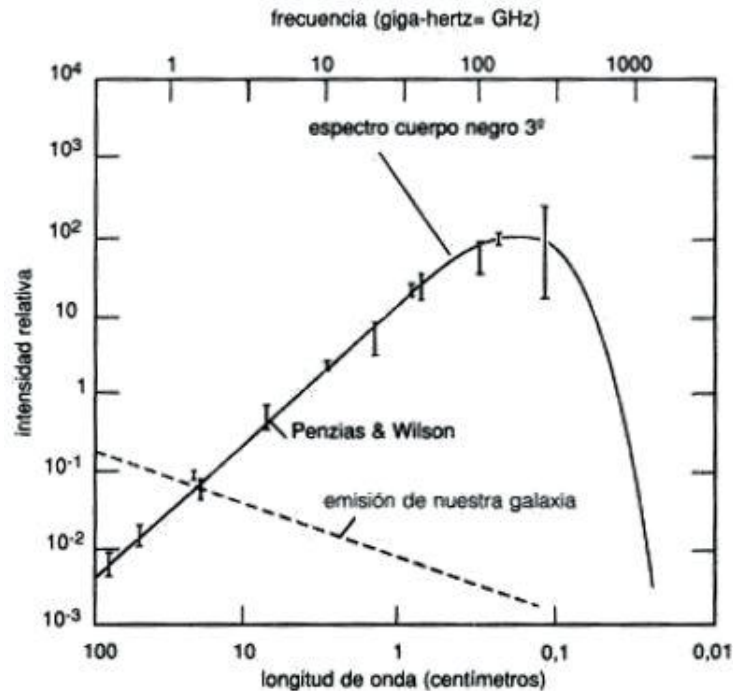
La mayoría de las personas conocen el modo en que un prisma de vidrio (y hasta una gota de lluvia) puede fragmentar la luz visible en los colores del espectro. Cada color representa una longitud de onda o frecuencia diferente de luz, y el espectro que vemos tiene en cada frecuencia (color) una distribución característica de intensidad de radiación. Asimismo, los radioastrónomos pueden analizar una señal celeste dividiéndola en diferentes longitudes de onda, o frecuencias. De este modo, están en condiciones de trazar la gráfica de curva espectral, que muestra cómo la intensidad de la radiación varía con la frecuencia. La radiación de cuerpo negro tiene un espectro muy característico, que se asemeja a la giba de un camello ligeramente ladeada.

De acuerdo con la teoría del Big Bang, durante sus primeras etapas el universo estuvo en equilibrio térmico. Una luz abrasadora estaba en todos los lugares y viajaba en todas las direcciones, con las características de un cuerpo negro a muy alta temperatura. En su comienzo, esta temperatura era de un billón de grados. A medida que el espacio se expandió, las longitudes de onda de la luz también se extendieron. Este fenómeno podría compararse con las líneas verticales que

¹² Así llamada en homenaje a Max Planck, quien en 1900 sentó las bases de la teoría cuántica, que explica la intensidad de la radiación del cuerpo negro por la curva de frecuencia (espectro). La teoría cuántica, una de las mayores revoluciones en la historia de la ciencia, provenía directamente de la investigación sobre la radiación de cuerpo negro. Antes de desarrollarla, Planck y otros físicos estaban desconcertados por un enigma conocido como la «catástrofe ultravioleta», que era, en cierto sentido, una versión práctica de la paradoja de Olbers. Los físicos del siglo XIX habían razonado que, puesto que un cuerpo negro absorbe y emite perfectamente todas las frecuencias, la mayor parte de su radiación debe de estar en frecuencias elevadas, es decir, en la gama ultravioleta y más alta, ya que el número de estados disponibles a altas frecuencias es mucho mayor que el número de bajas frecuencias. En consecuencia, ¿por qué los cuerpos negros no emiten mucha más radiación de alta frecuencia de lo que lo hacen? Después de luchar con esta cuestión durante años, Planck decidió que a este dilema sólo se podía dar una respuesta radical que desafiase el «sentido común». En un discurso pronunciado en 1900, sugirió que la energía no se emitía de una manera continua e infinitamente divisible, sino en «paquetes» llamados «cuantos». La emisión de cuantos de luz de elevada frecuencia sólo era posible mediante cargas de energía de elevada frecuencia. Por ello, un cuerpo negro tiende a emitir una cantidad mucho mayor de bajas frecuencias, y, de ese modo, cuantos de baja energía más que altas frecuencias, y, en consecuencia, cuantos de elevada energía. Esta idea fue tan revolucionaria como las teorías de la relatividad de Einstein, porque demostró que la materia y la energía son, en última instancia, discretas, no continuas.

aparecen en una banda elástica. Cuando ésta se estira, las líneas se apartan. Del mismo modo, la expansión del espacio «estira» las longitudes de onda desplazando el espectro de la «marca de fábrica» del cuerpo negro a otro de temperatura inferior. La luz azul se desplazó a la región roja, más fría, y así sucesivamente. De este modo, el universo se enfrió.

Durante unos 300.000 años la radiación residual de cuerpo negro tuvo suficiente energía para impedir que los electrones y los protones se unieran; cada vez que un electrón entraba en órbita alrededor de un protón, era expulsado por un fotón (cuanto de luz) energético entrante de la radiación caliente. En efecto, el universo era una sopa opaca de partículas y fotones, inextricablemente asociados en una interacción de elevada energía. Pero a medida que pasaba el tiempo, el universo se enfriaba más y más. Al cabo de 300.000 años estaba lo bastante frío para que los fotones careciesen de energía suficiente para separar los electrones de los protones. Entonces, ocurrieron dos cosas: por un lado, los protones y los electrones comenzaron a asociarse y se mantuvieron estables, como núcleos de hidrógeno; por otro, los fotones quedaron libres para fluir adonde deseasen. Con este rápido desacoplamiento de la radiación y la materia, el universo se hizo transparente y la radiación fluyó en todas las direcciones (corriendo a través del tiempo al igual que la radiación cósmica de fondo que aún experimentamos, un recordatorio perpetuo de nuestro abrasador nacimiento).



Espectro para un cuerpo negro de temperatura alrededor de 3° Kelvin. La observación llamada «Penzias & Wilson» se representa por una barra para describir la intensidad probable, teniendo en cuenta los errores experimentales. Las otras barras muestran otras observaciones desde mediados los años setenta. La línea discontinua muestra la intensidad de la radiación de nuestra propia galaxia. La frecuencia se da en gigahertz, unidad que representa un billón de ciclos por segundo, o mil megaciclos por segundo.

En ocasiones la gente pregunta por qué todavía podemos ver la radiación cósmica de fondo, por qué su luz no nos deja atrás y desaparece en el espacio, como el destello de una explosión distante. Estos interrogantes denotan una confusión común y comprensible sobre la verdadera naturaleza del Big Bang.

El Big Bang «clásico» no ocurrió en un lugar específico dentro de un vacío infinito, sino que ocurrió en todas partes porque era «todo». Fuera de él no había «nada», ni siquiera espacio vacío. Ése es el motivo de que la radiación esté en todas partes, vaya en todas las direcciones y continúe haciéndolo mientras el universo exista, mientras viaje libremente (salvo interacciones sumamente raras de parte de la luz con gas, polvo y materia galácticos). Cada año vemos luz cósmica de fondo que se puso en camino hacia nosotros al mismo tiempo que el año anterior, pero que tenía

un año luz más que atravesar. A causa de esta distancia adicional, la radiación tiene un ligero desplazamiento hacia el rojo (alrededor de un año en 15.000 millones de años, que es, aproximadamente, la edad del universo). Sin duda, se trata de un cambio demasiado pequeño para que podamos observarlo.

El descubrimiento de la radiación cósmica de fondo hecho por Penzias y Wilson supuso un golpe mortal para la teoría del estado estable. En 1967, después de una valiente resistencia, el teórico del estado estable Dennis Sciama arrojó sus armas y admitió que quienes sostenían la existencia del Big Bang, estaban en lo cierto. «La pérdida de la teoría del estado estable —se lamentó— ha sido motivo de una gran tristeza para mí. La teoría del estado estable tiene un alcance y una belleza que, por alguna razón inexplicable, el arquitecto del universo parece haber pasado por alto. El universo, de hecho, es una chapuza, pero supongo que tendremos que acostumbrarnos a ello.»

Capítulo 5

En busca de antimundos

LOS PELIGROS DE LA VIDA MODERNA

Bastante más allá de los tropostrata hay una región desolada y estelar donde , sobre una capa de antimateria, vivía el doctor Edward Anti-Teller¹³.

Alejado del origen de la Fusión, vivía sin conjeturas ni premeditación con todos sus antiparientes y antiamigos y sus antimacasares en sus sillas.¹⁴

Una mañana, haraganeando por el mar, divisó una lata de monstruosa circunferencia que lucía tres letras: A. E. C.¹⁵

De ella, salió un visitante de la Tierra.

Luego encontró, gritando alegremente sobre la arena, a dos que por sus extrañas maneras semejaba n lentejas. Sus manos derechas se estrechaban, y el resto era rayos gamma.

H. P. F. The New Yorker, 10 de noviembre de 1956

La tarea consistía en enviar a la estratosfera dos toneladas de equipo delicado y costoso, para luego devolverlo sano y salvo a la Tierra. De esta manera, decenas de miles de mediciones científicas podrían ser realizadas más cómodamente en la tranquilidad del laboratorio.

¹³ El físico Edward Teller es más conocido como el padre de la bomba de hidrógeno estadounidense.

¹⁴ Antimacasar: paño que se pone en el respaldo de los asientos para resguardarlos de la suciedad del pelo.

¹⁵ En 1956 la Atomic Energy Commission (Comisión de Energía Atómica) era responsable del desarrollo de la energía atómica. Sus responsabilidades han sido transferidas al Departamento de Energía y a la Comisión Reguladora de la Energía Nuclear.

Los medios con los que se contaba para hacerlo eran unos gigantescos globos llenos de helio, ingobernables leviatanes que se sacudían y rompían a la más leve brisa y parecían amenazar constantemente con la destrucción a equipo e investigadores por igual, aun cuando eran tan frágiles como el delgado plástico de que habían sido contruidos.

Yo sabía que el trabajo científico con globos podía ser toda una aventura, y ésta, precisamente, fue una de las razones por las que me involucré en él. Resultó ser mucho más difícil técnicamente —y mucho más romántico— de lo que había imaginado. Como quiera que fuere, lo cierto es que consiguió que mi entusiasmo por esta rama de la aventura científica descendiese de un modo considerable.

Tal como ocurre con el lanzamiento de una nave espacial, los preparativos para un vuelo en globo exigen que todo sea revisado una y otra vez. El globo tiene que ser cuidadosamente colocado para evitar desagradables sorpresas en el momento del despegue. Cada pieza del equipo debe funcionar a la perfección —lo cual, en nuestro caso, suponía mantener baja la temperatura y elevado el vacío—, pues las posibilidades de subsanar cualquier problema una vez arriba son escasas, sino nulas. El mecanismo de descarga, que asegura un descenso sin peligro para la góndola, debe funcionar de modo impecable, de lo contrario, cientos de miles de dólares en instrumental científico pueden terminar convertidos en chatarra. El tiempo no tiene que ser bueno sino perfecto, pues de otro modo la góndola, aunque haya tenido una descarga perfecta, desaparecerá en el olvido si los vientos conducen el globo más allá de una distancia accesible o hacen que se precipite al mar.

Ignoro el motivo, pero siempre he sido propenso a aceptar este tipo de desafíos, y la alegría de mis primeros lanzamientos —que se remontan a 1971 — me acompañará mientras viva. Una de mis responsabilidades consistía en cargar un imán superconductor, que era un componente esencial del equipo que estábamos por lanzar. El procedimiento requería que el imán fuese enfriado con helio líquido, y existía el peligro, siempre presente, de que el enfriamiento y la carga se desequilibrasen dando origen a una peligrosa explosión. No puedo negar que me sentí orgulloso de mantener los nervios templados y la habilidad requerida para realizar la tarea —a pesar de algunos contratiempos— mientras que otros preferían

no estar cerca¹⁶. Como jefe del equipo insistí en esperar que el tiempo fuese ideal, es decir, que no corriese la más leve brisa que pudiera amenazar el lanzamiento o el aterrizaje posterior. Por esta «conducta obsesiva», el personal local nos bautizó con el mote de Gallinas de California, y alguien incluso modeló en cartón piedra una gallina psicodélica y la pegó en la góndola.

Una vez lanzado el globo, su lenta y majestuosa ascensión produce una sensación de triunfo —y alivio— al ver que tantos esfuerzos físicos y mentales se ven coronados por el éxito. Durante un instante podemos observar cómo el globo se convierte en una parte cada vez más pequeña del cielo vespertino (pues usualmente los globos son lanzados al atardecer) mientras el sol, casi sobre la línea del horizonte, lo ilumina haciendo que parezca un planeta brillante. Pronto, nos quedamos con la única compañía de los ruidos de la noche y nuestro temor de que algo en el experimento salga mal.

El atractivo de la cosmología había hecho que me acercase a los globos. A partir de 1966 me convertí en un físico de partículas después de hacer mi licenciatura en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, donde tuve la gran fortuna de contar con las enseñanzas y el ejemplo de, entre muchos otros, Dave Frisch, Steven Weinberg y Víctor Weiskopf. La ciencia satisfizo mi necesidad de investigar un aspecto primordial de la naturaleza: la física de partículas y la cosmología son fundamentales en su examen de la esencia del universo y sus orígenes. En el momento en que yo asistía a mis cursos de graduado, la física de partículas estaba experimentando un gran cambio como consecuencia de las crecientes dimensiones del equipo básico: el acelerador de partículas. Para hacer mi experimento final como físico de partículas, formé parte de un equipo de cinco personas. Sabía que el equipo siguiente estaría integrado por 25 personas, y ese número no haría más que crecer. Por entonces yo tenía 25 años y mi papel en la tarea sería de simple subalterno. Me di cuenta de que en semejante medio tendría pocas oportunidades de lograr un éxito individual.

En cosmología, en cambio, los equipos eran pequeños y su esfuerzo estaba a punto de convertirla en una ciencia moderna. Tradicionalmente, la cosmología ha sido una mezcla de otras disciplinas, principalmente astronomía y metafísica. Comprendí que

¹⁶ En aquellos tiempos no existía la automatización. Ahora el trabajo es realizado por mecanismos controlados por ordenador.

si la cosmología adoptaba las técnicas con que la física de partículas abordaba sus problemas —los equipos organizados, los datos obtenidos a partir de la alta tecnología y el análisis basado en computadores—, podía hacerse poderosa por derecho propio, y yo quería participar de ello. Abandoné el MIT en 1970 y fui a la Universidad de California en Berkeley para trabajar con Luis Álvarez en el Laboratorio Lawrence. El laboratorio, un distinguido edificio construido con fondos federales, ha empleado a lo largo de su historia a una larga lista de reputados premios Nobel. Se encuentra al abrigo de los bosques de Berkeley Hills, donde los ciervos suelen asustar a los automovilistas y las luces de San Francisco resplandecen como una galaxia cercana al otro lado de la bahía. Las 3.000 personas que trabajan en él están dedicadas a una amplia gama de disciplinas innovadoras, desde astrofísica hasta la confección de mapas genéticos y la conservación de la energía, todo ello sin relación alguna con el ámbito militar¹⁷.

Entre mis colegas científicos se encontraban Andy Buffington, Larry H. Smith y Mike Wahlig; pronto se nos unió Charles Orth. En cuanto a Álvarez, o Luie, como lo llamábamos, era el jefe del proyecto y tanto una fuente de inspiración como de terror para todos nosotros. Conocido por el gran público debido a su teoría de que los dinosaurios se extinguieron hace 65 millones de años cuando un asteroide o cometa gigantesco chocó contra la Tierra, Luie era una figura legendaria en el ámbito de la física y en 1968 fue distinguido con el premio Nobel. Se trataba de una de las personas más versátiles, tenaces y brillantes que he conocido, y ejerció, inexorablemente, una influencia importante sobre nuestras carreras y nuestras ideas acerca del modo en que se debe llevar a cabo una investigación científica.

Luie nació en 1912. Su padre era un famoso columnista en temas médicos, el doctor Walter Álvarez, de la clínica Mayo. Trabajó en el Proyecto Manhattan e hizo descubrimientos fundamentales en la física de partículas. Además de conmover el campo de la paleontología con su muy heterodoxa (y ahora ampliamente aceptada) idea sobre la desaparición de los dinosaurios, Luie investigó también una serie de temas exóticos, que iban desde el asesinato de Kennedy (llegó a la conclusión de que la teoría «una bala, un tirador», era correcta) hasta los secretos de una

¹⁷ Esto sorprende a algunos visitantes, que suelen confundir el LBL con el Lawrence Livermore National Laboratory, un centro de investigaciones en armamento nuclear situado al este de San Francisco. Lo único que ambos laboratorios tienen en común es el nombre Lawrence, por el fundador del LBL Ernest O. Lawrence, pionero de la física nuclear y del acelerador de partículas.

pirámide egipcia (examinándola con rayos cósmicos como si fuesen rayos X). Era un mentor exigente que no toleraba alegremente a los estúpidos. Todos los lunes por la noche invitaba al grupo a su casa, donde alguno de los integrantes tenía que hablar sobre un tema científico específico. Uno de mis antiguos colegas recuerda que, durante su primera charla allí, mostró su primer gráfico y Luie rugió: «¡Terrible, terrible, terrible!» El gráfico tenía cinco errores, Luie cargó sobre ellos y procedió a señalarlos. Semejantes embestidas constituían un excelente adiestramiento para una carrera científica. «Ahora trabajo para una corporación y la gente se pregunta por qué soy un orador tan audaz», dice mi colega.

En la década de 1960 Luie fue el iniciador del uso científico de los globos con un experimento financiado por la NASA sobre «*high-altitude particle physics experiment*» (física de partículas de gran altura), o HAPPE, aunque nosotros, poco afortunadamente como se verá, pronunciábamos «*happy*» (feliz). Luie había iniciado este experimento como una precaución —un modo de continuar con sus investigaciones sobre física de partículas— en caso de que el Congreso decidiera suspender la construcción de nuevos aceleradores más grandes.

¡Menuda precaución! Ocurrieron dos cosas: el Congreso financió el acelerador del Fermilab, y el grupo del HAPPE sufrió un desastre. Al final del primer vuelo de carga útil, el ajuste que conectaba el equipo con los paracaídas se rompió y la carga útil cayó desde una altura de 27.000 metros sobre el océano Pacífico. Se perdieron equipos por valor de varios cientos de miles de dólares. No pudo recuperarse nada, y el grupo del HAPPE abrió un expediente titulado «Perdido en el mar». Heredé este expediente, que debía haber sido una advertencia. Con el tiempo yo mismo abrí otros expedientes: «Perdido en el desierto»; «Perdido en la jungla» y «Perdido en el espacio».

Cuando me incorporé al grupo, nuestra meta era planificar un nuevo experimento para descubrir otra posible reliquia del Big Bang. Por entonces, el Big Bang se estaba convirtiendo en la explicación preferida por los teóricos sobre el origen del universo, y era posible seguir diversas líneas de apoyo observacional; por ejemplo, el hecho de que el universo se expande, la abundancia en éste de hidrógeno y helio y la existencia de la radiación cósmica de fondo. La demostración de la existencia de una de las más extrañas sustancias del cosmos, la antimateria, también era

considerada un indicio de un remoto Big Bang. Y fue precisamente la búsqueda de antimateria lo que envió a lo alto mi primer globo experimental, dando comienzo así a mi primera aventura en la *terra incógnita* cosmológica.

Aun en la más sobria de las descripciones el término «antimateria» suena como algo concerniente a la ciencia ficción. El mundo que experimentamos —lo vivo y lo inanimado— está hecho de materia, es decir, de protones, neutrones y electrones que forman átomos. ¿Qué es entonces la antimateria? Una roca hecha de antimateria tendría el aspecto de una roca, y lo mismo ocurriría con una persona, o con una estrella. Además, el material hecho de antimateria exhibiría las mismas propiedades físicas que la materia normal: el antiagua herviría a 100° Celsius y se congelaría a 0°. Hasta es posible que, como Teller en el poema, cada uno de nosotros pudiera tener un doble de antimateria. Pero si por casualidad usted encuentra a su antiusted, será mejor que se abstenga de estrecharle la mano, porque cuando la materia y la antimateria entran en contacto se aniquilan mutuamente, pues la masa se convierte completamente en energía produciendo una explosión increíblemente violenta. Esta sería una simple demostración dramática del dictamen de la teoría de la relatividad general de Einstein, según el cual la masa es equivalente a la energía ($E = mc^2$), y viceversa.

Todos estamos familiarizados con la liberación de energía: cuando algo se quema, experimentamos ésta como calor y luz. Sin embargo, cuando lo que arde es carbón o petróleo, por ejemplo, sólo una millonésima parte de la masa se convierte en energía. En los reactores nucleares, que liberan energía mediante fisión (la ruptura de los núcleos atómicos), la conversión es mucho mayor, pero sólo alcanza el 0,1 por ciento de la energía almacenada. La fusión nuclear (la fusión conjunta de los núcleos atómicos) que da energía al Sol y a otras estrellas (y también a las bombas de hidrógeno) y algún día puede proporcionar enormes suministros de energía a la Tierra, es más eficiente, pero sólo llega a una conversión del 0,5 por ciento. En la aniquilación materia/antimateria, la conversión es del ciento por ciento; en teoría, dos libras de antimateria bastarían para suministrar la energía que Estados Unidos consume en un día. Esto inspira a algunos visionarios a meditar acerca de la perspectiva de suministros de energía verdaderamente ilimitados, en el supuesto de

que pueda hallarse antimateria y sea posible controlar su apocalíptica liberación de energía.



Luis Álvarez en su despacho del Laboratorio Lawrence de Berkeley. Encima de su mesa diversas fotografías de sus héroes y amigos: de izquierda a derecha, lord Ernest Rutherford, Walter Álvarez (su padre), y los físicos Don Gow, Albert Einstein y Enrico Fermi. (Lawrence Berkeley Laboratory.)

Al igual que la materia, la antimateria se compone de partículas elementales cuyos atributos son el reflejo exacto de aquélla. En vez de protones, la antimateria contiene antiprotones, que, entre otras propiedades que son el reflejo de las de los protones, no tienen carga positiva sino negativa. En lugar de electrones, la antimateria contiene antielectrones, también conocidos como positrones, que están cargados positivamente en vez de negativamente. Los antineutrones, que, como los neutrones, no llevan carga eléctrica, despliegan una serie de otras propiedades físicas que son el reflejo de las de los neutrones. Para todas las partículas elementales de materia, hay antipartículas equivalentes de antimateria.

El físico cuántico inglés Paul Dirac propuso la existencia de la antimateria en 1929, como consecuencia de su intento por fusionar ecuaciones de la relatividad especial de Einstein y de la mecánica cuántica. Dirac era famoso por su laconismo y tenía poco tiempo para dedicárselo a mentes inferiores. En el transcurso de una de sus conferencias, por ejemplo, un oyente se quejó: «Doctor Dirac, no comprendo cómo obtuvo usted esa fórmula que ha escrito en el ángulo superior izquierdo de la

pizarra». Dirac replicó: «La suya es una afirmación, no una pregunta. El siguiente, por favor.»

Dirac consideraba sus cálculos indicativos de la existencia de la antimateria claramente angustiantes —«Reconozco que son bastante pesados», se lamentó en una ocasión—, pero no negaba su fuerza lógica. (Recuérdese que la reacción inicial de Einstein ante su teoría de la relatividad general fue negar sus últimas consecuencias — el universo en expansión— e inventar la constante cosmológica.) La conclusión de Dirac era inequívoca: cuando se crea materia a partir de la energía, se crea también una cantidad igual de antimateria. Por cada protón del universo, debe haber un antiprotón, por cada neutrón, un antineutrón, por cada electrón, un positrón, y así sucesivamente¹⁸.

La teoría de Dirac era intrigante, e incluso audaz. Sus pares científicos no podían ignorar la idea, ni tampoco el *New York Times*, que en su edición del 10 de septiembre de 1930 publicó un artículo al respecto que llevaba por título: «Los científicos aclaman la nueva teoría atómica». Los físicos estaban ansiosos por someter a prueba la teoría, pero, ¿cómo? En la actualidad estamos familiarizados con los enormes y poderosos aceleradores —tritadores de átomos— que arrojan partículas subatómicas las unas contra las otras o contra blancos a energías colosales; las colisiones resultantes, llamadas «*little bangs*» (pequeñas explosiones), pueden generar nuevas partículas. La tarea, relativamente simple, del investigador es observar si la generación de tales nuevas partículas va acompañada de la generación de sus correspondientes antipartículas. Pero en la década de 1930 los aceleradores de partículas eran relativamente débiles, y el más grande tenía el tamaño de una habitación pequeña¹⁹. Su debilidad los hacía incapaces de generar antimateria.

¹⁸ La causalidad requiere la existencia de una antipartícula por cada partícula elemental. La causalidad es un principio según el cual la causa precede al efecto. Esto no es obviamente verdad pero —como nos dice la relatividad especial, moviendo diferentes observadores pueden verse cosas que ocurren en un orden invertido— donde no existen reflejos pares de partículas y antipartículas. En un sentido restringido, las antipartículas que se mueven hacia atrás en el tiempo se comportan como partículas que se mueven hacia adelante en el tiempo, y las partículas que se mueven hacia atrás en el tiempo son equivalentes a antipartículas que se mueven hacia adelante en el tiempo. Este cambio es una simetría especular de espacio-tiempo.

¹⁹ Una distancia enorme separa estos antiguos aceleradores del superconductor supercolisionador, o SSC, ideado para ser el mayor acelerador de la historia. Cuando a comienzos del siguiente milenio esté acabado, cubrirá muchos kilómetros cuadrados de la pradera de Texas. Su propósito es hacer colisionar protones y antiprotones creando condiciones de intensa alta energía que simulen la temperatura y la densidad del Big Bang a un millonésimo de millonésimo de segundo (10^{-12} segundos). Esto someterá a prueba las teorías según las cuales en los primeros momentos del universo las fuerzas conocidas formaban parte de una sola «superfuerza». El SSC será un hito

Afortunadamente, con sólo asomarse a la puerta de su casa cualquiera puede contemplar un inmenso acelerador de partículas: el universo. La Tierra es bombardeada constantemente por incontables partículas subatómicas provenientes del espacio exterior, algunas de las cuales vienen de galaxias distantes en un viaje que comenzaron mucho antes de que los dinosaurios poblaran nuestro planeta. Estas corrientes de partículas son llamadas «rayos cósmicos». El nombre es engañoso, pues se trata de partículas cargadas y no de radiación electromagnética, como la luz o las ondas de radio, de modo que, en un sentido estricto, no son «rayos». En su mayor parte, los llamados rayos cósmicos provienen de nuestra propia galaxia. Muchos probablemente fueron acelerados a velocidades cercanas a la de la luz por poderosos campos magnéticos galácticos creados por ondas de choque de estrellas en explosión (supernovas) y otros sucesos cósmicos. Cuando entran en contacto con la atmósfera de la Tierra, estos rayos interactúan con átomos y desencadenan lluvias o «cascadas» de otras partículas, que a su vez pueden desencadenar lluvias adicionales. Los rayos cósmicos son absorbidos en su mayor parte por la atmósfera, pero algunas de sus partículas «hijas» logran atravesar la capa atmosférica hasta la superficie de la Tierra, aportando de este modo una prueba de las hipótesis de Dirac.

En 1932, Carl Anderson del Instituto Tecnológico de California, observó los rayos cósmicos con una cámara de niebla, aparato originalmente perfeccionado en la década de 1910 por el físico escocés Charles T. R. Wilson con el fin de simular la formación de nubes. Las partículas cargadas dejan una estela de ionización (átomos en los que ha sido eliminado un electrón) en la cámara de niebla dando al vapor de agua supersaturado «semillas» para formar diminutas gotas de agua. Durante años hubo un solo equipo experimental en el vestíbulo del edificio principal del LBL. Al observarlo, uno ve una niebla muy tenue en la cámara oscura, hasta que, de repente, aparece una cantidad de pequeñas gotas allí donde se cruza una partícula cargada. Entonces, las gotitas comienzan a «llover» lentamente. En ocasiones, uno puede ser atravesado por esas huellas.

importante para la especie humana, pues representará el punto medio del universo actual hasta los tiempos más cortos y las mayores energías que concebimos posibles. El SSC nos permitirá observar qué ocurre cuando dos fuerzas —el electromagnetismo y la fuerza débil— son fusionadas en una fuerza más simple y simétrica. Esto significará alcanzar un nuevo estado de la materia cualitativamente diferente de todo lo observado anteriormente. Sin duda, nos proporcionará nuevas ideas sobre el origen del universo.

Anderson puso su cámara de niebla en un campo magnético, que desvía las partículas de carga positiva en una dirección y las de carga negativa en la opuesta. El radio de curvatura del camino de cada partícula está determinado por su velocidad y su masa. Detrás del cristal de su cámara, Anderson fotografió las huellas de las partículas que zumbaban a través de aquél. Las características de las huellas (es decir, la dirección que tomaban) efectivamente servían como «rótulos» de identidad del tipo de partículas que las formaban (positivas o negativas).

Tal como se esperaba, el detector captaba el paso de protones, electrones, etcétera. Pero el 2 de agosto de 1932, Anderson fotografió un rastro de vapor dejado por una partícula que tenía la misma masa que el electrón (una partícula cargada negativamente) pero cuyo camino se desviaba en la misma dirección tomada por partículas cargadas positivamente. Esta sorprendente visitante fue la primera partícula de antimateria detectada —la antimateria asociada al electrón— y fue llamada «positrón». Se suponía que este positrón provenía de una cascada de partículas generada por una colisión en la atmósfera superior de un rayo cósmico de elevada energía, protón o electrón, con un núcleo atmosférico.

Dirac —que había sido extremadamente cauteloso con su propia predicción, y hasta expresaba dudas sobre ella—, fue reivindicado; bromeó diciendo que él era listo, pero que su ecuación había resultado serlo mucho más. En 1933 ganó el premio Nobel, galardón que Anderson obtendría tres años más tarde, en 1936. En la década de 1950 se construyó un acelerador de partículas en el Laboratorio Lawrence, de Berkeley. Su nombre era bevatrón, y tenía suficiente energía para generar su propia antimateria. En 1955, Emilio Segre, Owen Chamberlain, Clyde Weigand y Thomas Ypsilantis llevaron a cabo un experimento en el bevatrón consistente en que protones de elevada energía chocaran contra protones que hacían las veces de blanco, produciendo pares de protones —un cuarto de siglo después de las predicciones de Dirac— y antiprotones. De este modo quedó demostrada la conversión simétrica de energía en partículas de materia y partículas de antimateria.

Como resultado de ello, la existencia de antimateria, así como la ley de simetría en la producción y la conducta de la materia y la antimateria, fueron científicamente

establecidas. Por su trabajo, Segre y Chamberlain compartieron el premio Nobel de física en el año 1959.



Los descubridores del antiprotón rodeando a Edward Lofgren (centro), Emilio Segre, Clyde Weigand, Owen Chamberlain, y Thomas Ypsilantis, de izquierda a derecha. Detrás de ellos, el beratron. (Lawrence Berkeley Laboratory.)

Como Galileo y Newton antes que ellos, los científicos del siglo XX estaban ansiosos por extrapolar a los cielos aquello que habían aprendido mediante experimentos en la Tierra. Si en los *little bangs* la energía se transforma en materia y antimateria a partes iguales, lo mismo debería servir para el Big Bang. Por consiguiente, la mitad del material del universo debe de estar compuesto de antimateria. Pero, ¿dónde se encuentra la antimateria? Es evidente que tanto en la Tierra como en el resto del sistema solar no existe ninguna cantidad significativa de antimateria. «Si fuese de otra manera —observó en los años sesenta el físico sueco Hannes Alfvén—, los cohetes que se envían para sondear la Luna habrían explotado violentamente como resultado del impacto, y tal explosión habría sido fácilmente observable desde la Tierra.» Lo mismo ocurre con el Sol: «Si el Sol contuviese antimateria, emitiría un plasma de antimateria, o antiplasma, y [éste viajaría hasta la Tierra donde] las

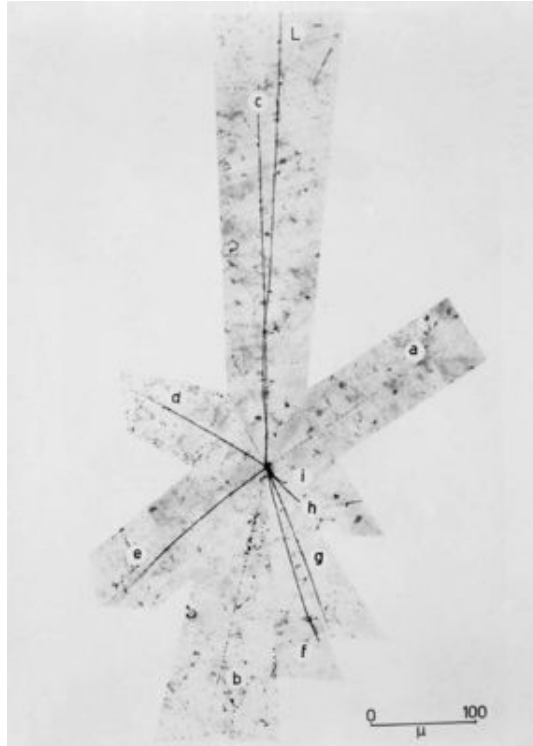
auroras brillarían con una luminosidad mil veces superior a la actual.» (El plasma consiste en electrones libres e iones, que son átomos a los cuales les falta alguno o todos los electrones. La mayor parte de la materia del universo existe en forma de plasma, por ejemplo, en las estrellas.)

¿Podría residir la antimateria en otras partes de la Vía Láctea? ¿Tal vez en otras galaxias? ¿Quizá, inclusive, en otros universos? Se ha llegado a sugerir que en el momento en que nuestro universo se formó, hizo lo propio un segundo e idéntico universo de antimateria; el nuestro avanzó hacia delante en el tiempo, en tanto que el otro retrocedió, de modo que nunca podrán encontrarse. En los años sesenta ésta parecía ser una explicación razonable de por qué nuestra experiencia se remite sólo a la materia: deben de existir grandes cantidades de antimateria, pero (se argumentaba) aún no la hemos encontrado directamente.

En la década de 1960 Alfvén propuso una explicación no ortodoxa de esta asimetría materia-antimateria según la cual nuestra experiencia sólo se remite a la materia cuando, de acuerdo a la teoría, deben de existir grandes cantidades de antimateria en alguna parte del universo. Alfvén es un amable hombre de pelo blanco (muy parecido a Santa Claus, aunque sin barba), que fue laureado con el premio Nobel. Nacido en 1908, este iconoclasta de toda la vida se compara a sí mismo con Galileo (quien, bromea, «fue una víctima del examen de sus colegas»). La figura de Alfvén es de especial interés para este libro por su afirmación de que el Big Bang nunca tuvo lugar. Incluso forma parte de ese puñado de distinguidos científicos que todavía se niegan a aceptar el fogoso origen de nuestro cosmos. Como alternativa, ofrece su cosmología antimateria-y-plasma basada en investigaciones previas del astrofísico sueco Oskar Klein.

Durante la mayor parte de su vida, Alfvén ha argumentado que los astrofísicos ortodoxos sobrestiman el papel de la gravedad en la modelación del cosmos. En su lugar, sostiene, los vastos campos electromagnéticos y las nubes de plasma contribuyeron a modelar los sistemas planetarios, las galaxias y los cúmulos de galaxias hasta que éstos adquirieron sus estructuras actuales. En su libro de 1965 *Worlds-Antiworlds*, postula que grandes muros de plasma y campos electromagnéticos segregan materia cósmica de la antimateria, del mismo modo que antaño el muro de Berlín dividió los sectores Este y Oeste de esta ciudad. A

estos muros los llama «capas de Leidenfrost», por el efecto Leidenfrost²⁰. En los límites entre regiones de materia y antimateria, ambas se mezclan y se aniquilan mutuamente; el calor y la presión resultantes en el límite separan los cuerpos de materia y antimateria.



Las huellas de la aniquilación del antiprotón halladas por el equipo de Segre en 1955. (Lawrence Berkeley Laboratory.)

Aun así, decía Alfvén, a veces las capas de Leidenfrost resultan rotas: las antipartículas se escabullen a la región de las partículas ordinarias y, tal vez, se abren camino hasta la Tierra, donde los investigadores pueden detectarlas. Ocasionalmente, especulaba, estos encuentros entre materia y antimateria desencadenan explosiones verdaderamente titánicas que arrastran enormes cantidades de materia y antimateria a través del cosmos. Si las galaxias se alejan en todas las direcciones, no se debe a que nuestro cosmos haya sufrido un Big

²⁰ Cualquiera puede demostrar el efecto Leidenfrost en su propia casa. Tómese una olla bien caliente y rocíese sobre ella unas pocas gotas de agua. Se advertirá que las gotas se deslizan y rebotan en los lados hasta evaporarse. El efecto Leidenfrost explica que esto sucede porque la olla está tan caliente que la superficie inferior de la gota de agua es casi instantáneamente hervida en la corriente. La presión resultante sostiene el resto de la gota y la aísla del calor. Así, la gota flota en el «aire» y vuela alrededor de la olla.

Bang, sino que huyen de una explosión de materia-antimateria. «El Big Bang es un mito; nunca ocurrió. Nuestro cosmos es eterno, *no* algo que surgió hace aproximadamente 15.000 millones de años», argumenta Alfvén. Y continúa: «El "universo en expansión" sólo es una expansión de nuestra parte del universo, y una de las incontables miniexplosiones —cada una provocada por la mezcla de materia y antimateria— que han ocurrido a lo largo de la eternidad».

El resultado más sorprendente de la teoría de Alfvén fue el siguiente: no era inconcebible, escribió en 1966, «que cada segunda estrella de nuestra vecindad consistiese en antimateria. Si alguien sostuviera que Sirio, la estrella fija más brillante de nuestro firmamento, consiste en antimateria y no [en materia ordinaria], careceríamos de todo argumento válido para rebatir tal afirmación. Si Sirio consistiera en antimateria, tendría exactamente la misma apariencia y emitiría el mismo espectro que si estuviera formada por [materia ordinaria]. En consecuencia, el espacio que rodea a Sirio debe contener antimateria, pero ésta debe hallarse separada de [la materia ordinaria] por una delgada capa de Leidenfrost que estamos demasiado mal equipados para poder detectar.»

La teoría de Alfvén atrajo la atención de la comunidad científica a finales de la década de 1960, y comenzó a ser sometida a prueba. Si Alfvén estaba en lo cierto, parte de la corriente de partículas que constantemente caía sobre la Tierra tenía que ser de antimateria. Ya en 1932 Cari Anderson había detectado una partícula de antimateria (positrón) en su cámara de niebla. Ese positrón había sido generado, casi con toda seguridad, por la interacción de rayos cósmicos con algún núcleo de la atmósfera de la Tierra. La observación demostraba que la antimateria existía, pero no probaba que partículas de antimateria estuviesen bombardeando la Tierra como vestigios de distantes bolsas de antimateria. Prácticamente todas las antipartículas semejantes serían aniquiladas cuando entrasen en contacto con nuestra atmósfera. Para poner a prueba la afirmación de Alfvén era necesario elevar el equipo cuanto fuera posible, hasta una altura en que la atmósfera se diluyese hasta casi desaparecer. Era probable, entonces, que una antipartícula que llegase desde lejos chocase contra un núcleo y lo aniquilara en el enrarecido aire que hay por encima de la troposfera. La antimateria detectada en la atmósfera es probable que llegue desde lejos y no haya sido generada en una colisión local entre dos partículas de

materia. Ésta fue la razón científica por la que decidimos enviar globos a gran altura.

Concretamente, mi objetivo era detectar antinúcleos que supusieran la existencia de antiestrellas. La detección de un antiprotón podía significar simplemente que habíamos encontrado un antiprotón raro producido por la colisión de un rayo cósmico de elevada energía con material del cercano vacío interestelar o, incluso, en la atmósfera superior. Esperábamos hallar tres de estos antiprotones por cada diez mil protones. Pero el antihelio y los antinúcleos más pesados se producen muy raramente (en una proporción de uno por billón, e incluso menos), de modo que si los detectábamos eran candidatos seguros para la antimateria cosmológica. Si topábamos con un núcleo de antihelio, esto significaría que había quedado helio del Big Bang, ya que, como había demostrado Gamow, todo el helio del universo tiene que haber sido generado durante los primeros minutos de tal suceso. Sin embargo, los elementos más pesados que el helio fueron producidos dentro de las estrellas, según habían demostrado Hoyle y sus colegas. La existencia de antinúcleos de anticarbono, antinitrógeno, antioxígeno, etcétera, más pesados, implicaría la existencia de antiestrellas. Así fue como empezó nuestra interesante búsqueda de antimundos.

Lanzamos nuestros globos desde lugares tan remotos como las Instalaciones Científicas para el Lanzamiento de Globos, en Palestine, Texas, o Aberdeen, Dakota del Sur. La lejanía era una ventaja, puesto que a veces los globos caían a tierra y nadie deseaba que semejante cosa ocurriera en una zona habitada. Además del esfuerzo mental y físico que suponía preparar el globo y su carga útil, también sufrimos los efectos de los pequeños animales salvajes. Como uno de mis colegas observó, los insectos volaban y trepaban «por nuestros equipos ópticos y electrónicos. Cuando apagábamos las luces para efectuar nuestras calibraciones ópticas, los escorpiones salían de sus escondites y amenazaban con atacarnos». En Texas todo es grande, incluidos los insectos. Éstos, y los largos días de preparación, ponían a prueba nuestros nervios y el sentido del humor en ocasiones escaseaba.

Para detectar antimateria de manera convincente, tuvimos que hacer lo mismo que Carl Anderson cuatro décadas antes: determinar el signo de la carga (positiva o negativa) de cualquier partícula que pasase por delante de nuestro detector. A fin

de desviar estas partículas nos valíamos de un imán superconductor enfriado con helio líquido. Pero en vez de una cámara de niebla, usábamos una «cámara de chispas». Ésta no forma una estela de pequeñas gotas de agua a lo largo de la huella de ionización de partículas cargadas, sino que utiliza los electrones libres para crear una chispa (un relámpago en miniatura). Si se aplica un voltaje mayor a través de las placas de la cámara de chispas, la huella de ionización crea un camino para el arco de descarga de la electricidad, semejante a las chispas de electricidad estática que uno puede observar en los días fríos y secos. Pero no se puede mantener el voltaje en la cámara durante todo el tiempo, pues produciría chispas al azar y en ocasiones, incluso, podría desaparecer la «cantera» de rayos cósmicos. Por lo tanto, para saber cuándo aparecería una partícula necesitábamos un desencadenante. Afortunadamente, cuando un átomo ionizado se recombina con su electrón emite un breve destello. Los físicos de partículas habían desarrollado materiales brillantes especiales que hacían esto de un modo tan rápido como eficiente. Utilizábamos plástico brillante para detectar el momento en que penetraba una partícula cargada y medir la cantidad de energía perdida ionizando los átomos en el plástico. Normalmente, la energía perdida es proporcional al cuadrado de la carga de la partícula, de modo que un núcleo de carbono —carga 6— emitía 36 veces la luz que emite un protón, en tanto que un núcleo de oxígeno —carga 8— emitía 64 veces su valor. Montábamos nuestro equipo de modo tal que cuando una partícula cargada pasaba por delante del detector, automáticamente aplicaba un alto voltaje a la cámara de chispas. Como resultado de ello, lanzaba luces que señalaban el número del suceso y la cantidad de luz emitida por los contadores de centelleo. Nuestro plan consistía en analizar los sucesos filmados como prueba de una partícula con propiedades incongruentes, por ejemplo, una partícula con la masa de un núcleo de carbono pero con carga negativa.

El centelleo de la chispa era registrado en una película que avanzaba después de cada suceso. También instalamos (en un vuelo posterior) un micrófono para transmitir el sonido de los disparos de las cámaras de chispas y el zumbido de la película avanzando en el interior de la cámara. Estos sonidos nos daban cierta garantía de que el equipo funcionaba correctamente. Menos tranquilizador era el ruido de fondo (semejante a un crujido) producido por nuestra góndola de fibra de

vidrio. Tal fenómeno se debía al hecho de que durante el ascenso aumentaba la presión entre el interior y el exterior.

En la tarea de la detección de antimateria, nuestro instrumento poseía ventajas y desventajas en relación con sus predecesores. Por un lado, el imán superconductor estaba en condiciones de detectar partículas 50 veces más energéticas de lo que lo habría hecho el antiguo método que empleaba rimeros de emulsión, una forma de película fotográfica. Cuanta más energía tenía una partícula, más lejos podía viajar desde sus orígenes; por eso, hacíamos un muestreo de rayos cósmicos en los puntos más distantes de nuestra galaxia, y más allá de ella. Por otro lado, durante el vuelo el imán tenía que ser mantenido a baja temperatura, en un criostato de helio líquido, lo cual no sólo entrañaba riesgos, sino que hacía más pesada la carga útil.

El vuelo prosiguió sin novedades. Al cabo de diez horas, llegó el momento de descargar la góndola. Sabíamos, por la experiencia de otros investigadores, que era muy probable que las cosas no salieran bien, e incluso que sobreviniese el desastre. Como testimonio de ello, contábamos con el antecedente del primer lanzamiento del HAPPE. Sin embargo, esta vez tuvimos más suerte. Al dar la señal, la góndola se desprendió y el paracaídas se abrió, conduciendo la carga útil de vuelta a tierra. Durante el descenso, la góndola se balanceaba de forma alarmante. Debajo de ésta habíamos colocado una base de espuma de poliestireno para amortiguar el impacto, pero los lados estaban desprotegidos. Quiso el destino que la góndola aterrizara en medio de un bosque de pinos. A medida que se acercaba al suelo su movimiento oscilante hizo que chocase violentamente contra un tronco; como consecuencia de ello, uno de los lados de la góndola fue aplastado y parte del equipo sufrió daños irreparables.

Cuando Andy Buffington y yo llegamos al lugar del aterrizaje quedamos horrorizados ante el espectáculo y corrimos para ver si las cámaras seguían intactas; en el caso de que las películas hubiesen sido expuestas a la luz, nuestros datos habrían sido borrados. Afortunadamente, las cámaras habían sobrevivido al impacto. Imaginando lo peor, nos pusimos de inmediato a la busca del caparazón de la góndola. Para nuestra alegría vimos que sólo se habían roto un par de espejos. La gallina de cartón piedra sobrevivió.

Durante las diez horas que había pasado en lo alto, el detector había registrado 50.000 sucesos, y las partículas itinerantes dejaron sus huellas en cientos de metros de película. Construimos un mecanismo automático para explorar la película y, aun cuando desechamos todas las pautas normales, todavía nos quedaban un puñado de pistas que parecían eludir el camino «equivocado», posible señal de antimateria. ¿Era ésta nuestra «cantera»? Luie estaba excitado con los resultados obtenidos y nos hizo preparar un expediente para cada una de las pistas anómalas, describiendo detalladamente sus propiedades. Luego, con nuestros informes en su poder, estudió cada candidata a antimateria; logró explicar todas ellas, excepto una. La llamamos «suceso de rayo cósmico N.º 26.262», número que correspondía a aquella imagen.

En los contadores de centelleo de las partes superior y media, el número 26.262 producía tanta luz como un núcleo de oxígeno, pero descargaba una cantidad inusual de energía en el contador de centelleo de la parte inferior. Un estremecimiento recorrió nuestra espalda cuando Luie murmuró: «¿Podría la energía excedente ser el resultado de un núcleo antioxígeno aniquilado con un átomo ordinario?». Nos ponía sumamente nerviosos el que nuestras noticias llegaran a filtrarse antes del tiempo debido. Imagínese el lector cómo podríamos sentirnos si, después de una publicidad prematura, resultaba que el 26.262 tenía una explicación ordinaria, ajena a la antimateria. Luie insistía en la necesidad de someter a prueba los resultados una y otra vez, y una de sus frases favoritas era: «Asegurémonos de dar a este suceso (posible antioxígeno) un entierro decente». Con esto quería decir que debíamos asegurarnos de nuestra explicación y no apelar a una excusa para librarnos de ella o presentarla como un gran descubrimiento sin evidencias convincentes. Luie era un rigorista de la precisión. Sabía con cuanta facilidad las personas y los instrumentos pueden equivocarse. No había olvidado que a comienzos de los años cincuenta él y un colega habían detectado un curioso efecto de laboratorio que parecía una forma lenta de fusión nuclear. Los medios de comunicación difundieron la noticia y especularon sobre una fuente de energía potencialmente ilimitada. Luie comprendió muy pronto que no se trataba de una

fusión sino de un efecto químico extraño²¹. Estaba decidido a evitar que en el futuro se repitieran tan innecesarias confusiones.

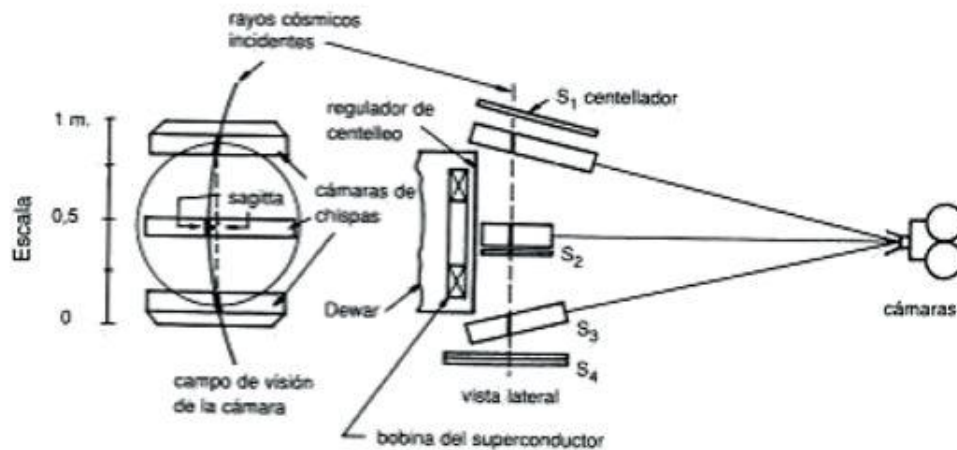
A medida que pasaban las semanas, el 26.262 continuaba desafiando nuestros intentos de asignarlo a la materia ordinaria, y poco a poco nos convencimos de que habíamos detectado el primer antinúcleo cósmico. Especulamos con la posible existencia de antiestrellas y antiplanetas. Tan seguros estábamos de que la señal era real, que entre nosotros comenzó a correr el chiste de que, apenas anunciáramos el descubrimiento, el Vaticano comenzaría a trabajar en la cuestión del antipapa.

Sin embargo, aunque no podíamos probar que el 26.262 era una partícula de materia, tampoco podíamos probar que fuese una antipartícula. Un núcleo de oxígeno extremadamente energético tendría un camino recto a través del campo magnético. Pero bastaban pequeños errores en el alineamiento óptico de los espejos de inspección y en nuestra reconstrucción de la pista, para que el camino pareciese curvo de modo equivocado. Si el golpe sufrido por el contador de centelleo del extremo inferior había sido muy fuerte, era posible que hubiera depositado allí mucha de su energía cinética. En este orden de posibilidades, estimamos en una relación de tres a uno que el 26.262 podía ser una partícula de antimateria. Una relación de tres a uno podía ser considerada buena, pero cuando se trata de descubrimientos nuevos y extraordinarios (o simplemente importantes), los físicos suelen ser más exigentes. La detección de un núcleo de antimateria extragaláctico habría sido esa clase de descubrimiento. Pero por mucho que presagiase importantes implicaciones, nuestros colegas (todos escépticos por naturaleza, como Luie) no lo aceptarían a menos que presentásemos pruebas igualmente extraordinarias. Esos colegas nos dijeron que no creerían que el 26.262 era antimateria hasta que las probabilidades a favor de esta hipótesis fuesen, como mínimo, de un millón a una.

Decidimos que sería prudente considerar el 26.262 como una casualidad y publicamos un artículo en *Nature* diciendo que el vuelo del globo no había revelado ninguna prueba de antimateria. Entretanto, planeamos un experimento más minucioso para descubrir si el 26.262 podía, en efecto, ser una evidencia de

²¹ El furor desatado en 1989 con la «fusión fría» fue otro ejemplo de científicos que creyeron detectar un efecto similar.

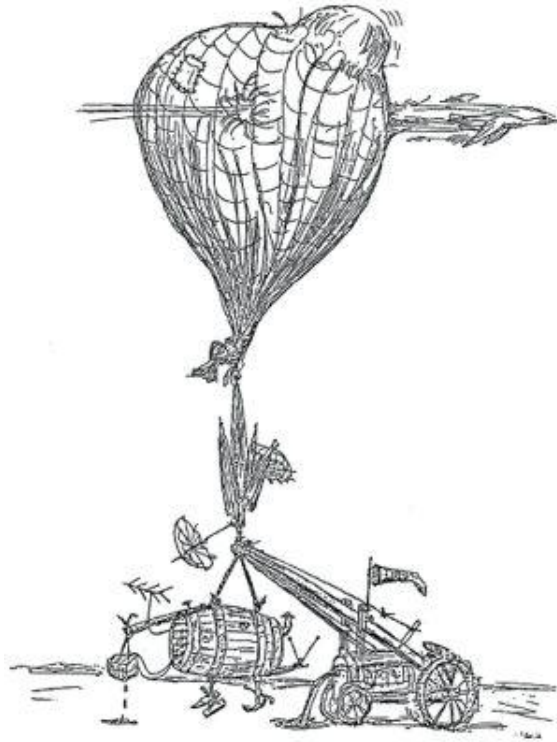
antimateria. Reducimos la cantidad de material de nuestro aparato para que el número de interacciones ocasionales entre las partículas y los detectores que pudieran producir señales de antimateria ilusoria, fuera mínimo. Simplificamos los elementos ópticos e hicimos que la cámara enfocase directamente el camino curvo de la partícula. La forma debía ser más larga y ovalada; los detectores de pistas de rayos cósmicos y el imán estarían en un extremo, y las cámaras y los aparatos electrónicos en el otro. Construimos un imán más potente, pues cuanto mayor fuera su potencia, tanto más aumentarían nuestras posibilidades de identificar correctamente la señal de la carga de la partícula. Si allí realmente había antimateria, la descubriríamos.



Dibujo que muestra una cámara enfocando rayos cósmicos curvados por el campo magnético de un superconductor. La curvatura (medida por la distancia llamada «Sagitta») muestra la precisión de la medida, y la dirección de la «sagitta» separa la materia de la antimateria.

Durante los años siguientes lanzamos otros seis globos, algunos de ellos en circunstancias precarias. La tarde del 28 de mayo de 1977, nuestro globo y su carga útil despegaron desde un aeropuerto de las afueras de Aberdeen, Dakota del Sur. Alrededor se extendía la pradera; más lejos se hallaban las tierras yermas de Dakota del Sur. Muy arriba, nuestro globo y nuestro equipo para reunir datos eran arrastrados lentamente por el viento a través de la noche. Charles Orth controlaba

desde su posición en el remolque la telemetría del instrumental del globo. Todo iba bien. De pronto, a las 7.25 de la mañana, comenzó a vociferar: «¡Mirad el altímetro!» Lo hicimos. La aguja estaba cayendo.



Dibujo humorístico de la caída del globo en una granja de Dakota del Sur.

Luego se oyó un sonido sibilante, bajo y remoto, semejante al que produce una bomba al caer. Miramos en la dirección de que provenía, pero estaba nublado y no pudimos ver absolutamente nada. Nuestro jefe de mecánicos, Hal Dougherty, pensó: «¡Oh Dios mío, es un descenso incontrolado! ¿Y si cae sobre un orfanato o un hospital?»

A varios kilómetros de allí, un granjero llamado Anderson se encontraba en su establo ordeñando una vaca. Le pareció oír un sonido semejante al de un avión que pasa a baja altura. Salió y miró al cielo, pero estaba demasiado nublado para distinguir algo, de modo que volvió a su vaca. El sonido aumentó de volumen. Se asomó nuevamente y vio algo que jamás olvidará: un enjambre de residuos que caían del cielo, fragmentos que giraban y chocaban unos contra otros. La aparición fue a estrellarse detrás de una colina. La señora Anderson salió corriendo de la

casa, pues pensaba que algo había caído sobre su marido. Ambos subieron a su furgoneta y se dirigieron a toda velocidad hacia la colina, temerosos de que les estuviera esperando un espectáculo de sangre y cuerpos desmembrados. Todo lo que encontraron fue un cráter de gran tamaño y trozos de metal retorcidos. Los vecinos de los Anderson se reunieron y comenzaron a remover los escombros. Alguien encontró un fragmento en el que había escrito un número de teléfono (el de la base desde la que había sido lanzado el globo) y llamó, informándonos del lugar donde yacían los restos.

Con un sentimiento de abatimiento y excitación, nuestro grupo se dirigió allí de inmediato. El primero en llegar fue John Yamada, nuestro experto en la cámara de chispas, que se sintió consternado al ver los rollos de película expuestos al sol. El impacto había sido de tal magnitud que no sólo hizo pedazos la caja de presión, sino que la cámara se había abierto liberando la película. John tuvo el ánimo suficiente para arrojar su chaqueta sobre ésta y se puso a buscar algunas bolsas oscuras para protegerla. De este modo salvó la película, que estaba tan apretadamente enrollada que sólo los bordes exteriores fueron velados por la luz solar. También pudimos salvar muchos de los datos obtenidos, si bien la medición y la exploración tuvieron que ser hechas a mano.

Los Anderson eran gente agradable. Lejos de querer demandarnos por asustarlos a ellos y sus vacas, estaban encantados de formar parte de nuestra aventura científica (o accidente, ya que eso es lo que fue). Los siguientes dos o tres días se los pasaron ayudándonos a limpiar el lugar de fragmentos. De vuelta en Berkeley, abrí un nuevo expediente: «Perdido en las tierras yermas».

Durante todos los años transcurridos hasta este último vuelo, no hallamos una sola señal convincente de antimateria cósmica. Mi chifladura por los globos había pasado.

Por muy frustrantes que puedan ser para los investigadores, en ciencia los resultados negativos son tan importantes como los positivos, aunque no resulten concluyentes. Los resultados negativos definen los límites de nuestro conocimiento, nos dicen qué cosas son razonablemente creíbles y qué sigue siendo incierto y carente de solución. En suma, nos dicen qué queda por estudiar. Publicamos nuestros hallazgos negativos (en *Nature*, en el *Astrophysical Journal* y, en 1975, en

Physical Review Letters, este último artículo firmado por los sobrevivientes del grupo: Smooth, Buffington y Orth). El Instituto Americano de Física incluyó uno de nuestros experimentos en globo entre los doce experimentos destacados de la física durante el año 1973.

Hasta la fecha nuestro trabajo continúa siendo el estudio más riguroso publicado sobre los núcleos de antimateria en rayos cósmicos. Ya hemos dicho que, en el supuesto de que existan, los núcleos de antimateria, como carbono u oxígeno, son raros en nuestro universo, siendo su proporción de uno en diez mil. Es concebible que puedan existir a niveles de uno en un millón, en mil millones o en un billón, o no existir en absoluto. En todo caso, son extremadamente raros.

Nuestras conclusiones contradicen las hipótesis de Alfvén sobre la historia del universo; si su cosmología de antimateria-y-plasma fuese válida, deberían existir abundantes partículas de antimateria, o al menos en una proporción de una en diez mil. Y, desde luego, no es así.

Pero, ¿qué pasa con la teoría del Big Bang? ¿Acaso no queda también refutada? Si los datos de los *little bangs* pueden ser extrapolados al Big Bang, entonces en el universo debería haber una cantidad igual de materia y antimateria; sin embargo, no encontramos evidencia de ello. Es posible que dicha extrapolación sea inadecuada. Quizá la materia exceda siempre a la antimateria.

En 1967, el famoso físico ruso Andrei Sajarov propuso la esencia de una solución al desconcertante problema de la asimetría materia-antimateria. Su hipótesis pasó inadvertida durante casi una década, pues involucraba condiciones inusuales en el estado del universo primitivo, fuera de la experiencia de la física experimental de partículas. Las propuestas de Sajarov no fueron realmente admitidas hasta que a finales de la década de 1970 surgieron nuevas teorías.

Hombre valeroso y de principios, la vida de Sajarov fue el epítome de la ironía. En su juventud desarrolló la bomba de hidrógeno soviética para Stalin; en su vejez se convirtió en disidente político, lo mismo que su esposa Helena Bonner. Las autoridades soviéticas lo condenaron a años de exilio interno. Aun así, se las ingenió para continuar con sus investigaciones científicas. A finales de los años ochenta fue puesto en libertad por Mijaíl Gorbachov y todavía vivió lo suficiente para ser elegido

miembro de la legislatura soviética. Murió en 1990, poco antes del derrumbe de la dictadura a la que antaño había servido y más tarde atacado.

Considerada a la luz de la cosmología moderna, la propuesta de Sajarov es la siguiente: los procesos que tuvieron lugar en el primer instante (esto es, durante el primer millonésimo de segundo) posterior al Big Bang, produjeron un pequeño exceso de materia sobre la antimateria; luego, las partículas de materia y antimateria se aniquilaron mutuamente en una catastrófica liberación de energía, y el ligero exceso de materia formó el universo conocido. La enorme liberación de energía en esa aniquilación de materia/antimateria se manifestó como fotones de radiación cósmica de fondo (paquetes de energía luminosa), que superan ampliamente en número a los bariones (el término genérico con que se designa a las partículas pesadas, como los protones y los neutrones), en una proporción de mil millones a uno. En este escenario, el universo actual consiste casi exclusivamente en materia (quizá con pequeños huecos de antimateria en vías de desaparecer que escaparon a la primera aniquilación), y la relación de mil millones de fotones por cada barión que hoy se observa.

Sabemos que algo similar debió de ocurrir en el primer instante del universo, con un ligero exceso de materia sobre la antimateria. En cambio, si en el momento de la creación la materia y la antimateria hubieran sido producidas en la misma cantidad, el universo sería muy diferente. Habría tenido lugar una gran aniquilación que habría dejado muy pocas partículas de materia y antimateria en restos dispersos y aislados, y un inmenso mar de fotones. El cielo nocturno sólo tendría el suave zumbido de la radiación de microonda, y no existiría su tejido de galaxias y estrellas.

La propuesta de Sajarov requería que fuesen violados dos «supuestos» de la física de partículas: la conservación del número bariónico y la simetría CP. Aunque esto suene un tanto misterioso, resulta sencillo de describir. La primera condición sólo replantea el hecho de que la energía siempre se convierte en cantidades iguales de materia y antimateria, es decir, no puede haber ninguna producción neta o pérdida neta de bariones (materia) sobre los antibariones (antimateria) en cualquier reacción. La segunda afirma que la materia y la antimateria son idénticas en sus reacciones físicas y químicas. En 1956, Val Fitch y Jim Cronin descubrieron una

pequeña violación de la simetría CP, de lo que se concluyó que la materia puede comportarse de distinta manera que la antimateria. Si el número bariónico es violado, existe la posibilidad de que se produzcan pequeños excesos de la materia sobre la antimateria.

A finales de los años sesenta y principios de los setenta, algunos teóricos y experimentadores propusieron que las violaciones al número bariónico de hecho podían ocurrir. La consecuencia más importante de esto fue la formulación de una teoría —en un sentido estricto se trataba indiscutiblemente de una «familia» de teorías— que trataba de unificar las tres fuerzas fundamentales de la naturaleza: la débil, la fuerte y la electromagnética. Se las conoce como *great unified theories* (teorías de la gran unificación), o GUT, y quienes sentaron sus bases fueron el físico paquistaní Abdus Salam, el físico de la Universidad de Texas Steven Weinberg y el físico de Harvard Sheldon Glashow.

Cuando las experimentamos, la fuerza débil, la fuerte y la electromagnética se comportan de modo diferente en el universo, pero, de acuerdo con las GUT, a la inimaginable temperatura del primer instante posterior al Big Bang (en 10^{-34} segundos, o una diez millonésima de billonésima de billonésima de segundo), eran esencialmente las mismas y operaban del mismo modo con las partículas. Según los teóricos de las GUT el número bariónico no se conservará exactamente. La naturaleza también impide que se abra del todo la puerta hacia la violación de la simetría CP: si, como resultado, la materia puede comportarse de manera ligeramente diferente a la antimateria, entonces existe la posibilidad de producir un pequeño exceso de la primera sobre la segunda. Esto tal vez suene como el proverbial conejo que sale de la chistera, pero lo cierto es que se trata indiscutiblemente de un principio esencial de todas las GUT.

Mi esperanza es que la bariogénesis —la producción de materia sobre el exceso de antimateria— tenga lugar en el momento en que el electromagnetismo y las fuerzas débiles se unifican, lo cual, de acuerdo con la teoría electrodébil de Weinberg y Salam, ocurre a energías equivalentes a unas cien masas de protones (o neutrones). El superconductor supercolisionador alcanzará ese nivel de energía, de modo que es probable que descubramos la respuesta dentro de unos diez años, alrededor del año 2005.

Sin embargo, producir un exceso de materia sólo es el comienzo. En los sistemas físicos en equilibrio, las reacciones fluyen fácilmente en ambas direcciones: el exceso de materia puede desaparecer tan rápidamente como aparece. Pero el universo del Big Bang está expandiéndose y enfriándose. Una vez que la temperatura haya caído a un nivel demasiado bajo para impulsar en la dirección inversa la reacción productora de materia, el pequeño exceso de bariones producidos se convertirá en un componente permanente del cosmos.

Esta descripción puede inducir a suponer que el universo —y nuestra existencia en él— fue el resultado de una feliz ruptura: un ligero exceso de materia producido como consecuencia de violar ciertas reglas en el momento apropiado. Sin embargo, ello podría ser sólo uno de los incontables resultados posibles de esa minúscula tajada de tiempo que siguió al Big Bang, o algo inevitable si se consideran las leyes de la física que actuaban en aquel momento. Todavía no lo sabemos. Esta búsqueda de antimateria que ha obsesionado a muchos de nosotros durante largo tiempo, nos ha obligado a enfrentarnos a las propiedades clave —y a los más duros desafíos— de la cosmología, a saber: la necesaria extrapolación al cosmos de las leyes físicas que observamos en la Tierra. Tal extrapolación parece funcionar de manera admirable para gran parte de la existencia del universo, pero puede empezar a resquebrajarse a medida que nos acercamos al instante del Big Bang. Esta es, en verdad, *térria incógnita*.

Capítulo 6

Un espía en el cielo

Mucho antes de que nuestra postrera misión en globo se estrellara en las tierras de Dakota del Sur aquel día de mayo de 1977, yo había apartado mi atención de la búsqueda de antimateria urgido por Luie Álvarez, el director de nuestro grupo. A principios de 1974, intuyendo tal vez que ya habíamos ido demasiado lejos para el material de que disponíamos, nos dio, a mí y a mis colegas, un buen consejo. En esencia, nos dijo: «Antes de que os apresuréis a continuar con una versión mejorada del experimento que acabáis de realizar, os propongo que nos sentemos y hagamos un balance. Pensemos detenidamente sobre cuáles son los problemas importantes de la física. Y pensemos de un modo particular en las grandes oportunidades que la física nos ofrece, y que han surgido gracias a las nuevas tecnologías y los recientes resultados experimentales. Tomémonos un mes o dos para reflexionar acerca de ello; estudiemos cuáles son los problemas más interesantes e importantes. Luego decidamos qué queremos hacer a continuación.» Fue el tipo de consejo que es fruto de la sabiduría y la experiencia.

Ya me estaba acercando a los 30 años y tenía poco tiempo que perder. Ninguno de mi equipo lo tenía. Nosotros —me refiero a Andy Buffington, Terry Mast, Rich Muller, Charles Orth y yo mismo— nos tomamos muy en serio las palabras de Luie y comenzamos a evaluar posibles proyectos futuros. Al cabo de semanas de reflexión y discusiones, cada uno tomó su propia decisión.

Andy y Charles optaron por continuar experimentando con la antimateria y los rayos cósmicos. (Colaboré con ellos hasta el incidente de Dakota del Sur.) Rich intervino en el proyecto de un acelerador-espectrómetro de masa para medir diversos tipos de radiactividad. Más tarde, desarrolló un sistema telescópico automatizado para detectar supernovas que, esperaba, sirviese para proporcionar una mejor medición de la constante de Hubble y la desaceleración de la expansión cósmica. Terry consideró y se interesó en muchos proyectos antes de ponerse a trabajar con Jerry Nelson en lo que ahora es el telescopio de diez metros Keck, el más grande del mundo, que está emplazado sobre el Mauna Kea, en Hawai.

Por mi parte, me inspiré en el libro de James (P.J.E.) Peebles, *Physical Cosmology* (1971), que para mi generación de cosmólogos observacionales significa lo mismo que para los naturalistas Victorianos *El origen de las especies*, de Darwin, es decir, un proyecto para la investigación futura²². Una sección del libro de Peebles llevaba por título «Aplicaciones de la bola de fuego primigenia». La primera aplicación de la «posiblemente descubierta bola de fuego primigenia» —una ilusión de la radiación cósmica de fondo vista por Penzias y Wilson— fue «el experimento de arrastre del éter». La discusión sólidamente argumentada llevada a cabo por Peebles acerca de este asunto — incluidas sus referencias eruditas— me hizo comprender que mi futuro estaba en la exploración de la radiación cósmica de fondo. Ésta es una reliquia del Big Bang, un zumbido de microondas de bajo nivel (un baño de luz exactamente a 3° K) que se extiende por el cosmos. La mayoría de los astrofísicos consideraron que este eco de la creación estaba lleno de claves sobre la posterior evolución del universo, si el ingenio científico podía hallarlas. La referencia de Peebles a la idea original era un artículo de 1967 escrito por Dennis Sciama, de la Universidad de Cambridge. Sciama argumentaba que la radiación cósmica de fondo podía ser utilizada como herramienta para comprobar si el marco inercial local rotaba contra la materia distante en el universo. Una medición exitosa del principio de Mach multiplicaría la exactitud de este principio por 5.000. Yo estaba extasiado: se podía usar la radiación cósmica de fondo para aprender cosas sobre la rotación del universo.

En 1949, el famoso matemático Kurt Gödel había hallado una solución para las ecuaciones de la relatividad general de Einstein, en las que todo el universo se encuentra en rotación; era una hipótesis muy audaz que implicaba la posibilidad del viaje en el tiempo. Después aparecieron otros modelos, más convencionales o extraños que los de Gödel, de universos en rotación o retorcidos, pero no todos planteaban la seductora perspectiva del viaje en el tiempo. En lo que sí coincidían, era en que un efecto de rotación provocaría características variaciones de temperatura a través del cielo. Si existían, teníamos que ser capaces de detectarlas. También se podía determinar si el universo se expande de manera simétrica, como sugiere la ley de Hubble, o si lo hace en algunas direcciones más rápidamente que

²² El libro de Steven Weinberg, *Gravitation and Cosmology* (1972), también hizo que un buen número de jóvenes teóricos en partículas se dedicaran al estudio de la cosmología.

en otras. En el caso que se demostrase que ocurría esto último, significaría que el universo —y las condiciones que lo producían— era mucho más complejo de lo que la teoría actual permitía suponer.

Lo que más preocupa a los teóricos con respecto al Big Bang es su requerido espacio-tiempo para comenzar en un solo punto matemático, fenómeno conocido como «singularidad». Por extraño que parezca, este punto debería ser de tamaño cero y densidad infinita. Aquí, las leyes de la física se anulan y el universo queda, efectivamente, más allá de cualquier descripción matemática. Los teóricos rechazan tal perspectiva porque, al igual que Einstein, no desean que las leyes de la física se derrumben y reine el caos. Esta embarazosa perspectiva podría evitarse, sugirieron algunos, si el universo se expandiese asimétricamente. En ese caso, podría oscilar, expandiéndose y contrayéndose de forma alternada, de manera que el «momento decisivo» al final de la fase de contracción pudiera evitarse. Si una dirección era colapsada más rápidamente que las otras, entonces el universo se «desplomaría», se cruzaría y comenzaría a expandirse nuevamente hacia afuera antes de que llegaran las otras direcciones.

Éste era un territorio inexplorado pero importante, por lo que pensé que si lo ponía a prueba experimentalmente, seguramente encontraría algo interesante.

El título del comentario de Peebles —«El experimento del arrastre del éter»—, aludía a una idea que ha impregnado las perspectivas cosmológicas desde los tiempos de los antiguos griegos. Concebido en un principio como un puro fluido «ideal» inmutable a través del cual se movían los cuerpos celestes, más tarde (con Aristóteles) el éter llegó a ser considerado como una sustancia cristalina exquisita. Las esferas cristalinas del éter rodeaban la Tierra, arrastrando con ellas el Sol, la Luna y las estrellas en órbitas perfectas. La cosmología newtoniana abolió la necesidad del éter al sostener que el espacio era un lugar vacío. Pero la idea reapareció un siglo más tarde y en la cosmología victoriana adoptó la forma de una sustancia gaseosa etérea a través de la cual se propagaban las ondas luminosas. Los científicos buscaron pruebas de ese nuevo éter, pero todos sus esfuerzos fueron declarados inútiles por el famoso experimento que en 1886 llevaron a cabo Albert Michelson y Edward Morley.

Los dos físicos estadounidenses razonaron de la siguiente manera: puesto que la Tierra gira alrededor del Sol, se mueve a través del éter. Por ende, en términos del flujo del éter, una dirección debía ir «contra la corriente» y la otra «en el sentido de la corriente». En consecuencia, un haz de luz que apuntara contra la corriente, se movería más lentamente por el laboratorio, mientras que otro que apuntase en el sentido de la corriente, se movería a mayor velocidad. Toda señal clara de una variación en c (la velocidad de la luz) cuando la Tierra rota, probaría que el éter existe. Para su absoluta sorpresa, no encontraron ninguna variación en c . El éter no existía.

La pérdida del éter privó a la ciencia del espacio absoluto de Newton, es decir, de un «marco de referencia universal». Según este acariciado concepto, en el espacio y en el tiempo existen una armazón y una solidez. Una distancia de un metro siempre es un metro, jamás un milímetro más corta o más larga; un segundo siempre es un segundo, y nunca pasa más lentamente o más rápidamente. En verdad, el ser humano no tiene ninguna manera de decir que, por ejemplo, una bola está moviéndose *absolutamente* a una determinada velocidad. Todo lo que se puede decir es que se ha movido una cierta distancia en un cierto período de tiempo *en relación* con un marco de referencia espacial específico como la Tierra. El «verdadero» movimiento de la bola es imposible de conocer, pues mientras la bola rueda, digamos a 30 centímetros por segundo, otros movimientos están teniendo lugar a una escala mayor: la Tierra gira sobre su propio eje y alrededor del Sol, el Sol y su entorno de planetas se mueven a través de la galaxia, la galaxia rota... etcétera.

¿Cuál es, entonces, el «verdadero» movimiento de la bola? Podría decirse que su verdadero movimiento es la suma de todos los movimientos descritos anteriormente. Pero, ¿cómo puede determinarse ese movimiento «verdadero»? ¿Cuál es el último marco de referencia con respecto al cual debe juzgarse el movimiento de la bola? En el siglo XVIII, Newton supuso que este marco de referencia era algo que él llamaba «espacio absoluto», y que, al parecer, identificaba con Dios. Más tarde, la noción de espacio fue encarnada en el éter, del que se pensaba que llenaba el universo entero, pero Michelson y Morley demostraron que tal éter no existía. La ausencia de éter no constituía una sorpresa

para Einstein, cuya teoría sobre la relatividad especial de 1905 no tenía ninguna necesidad de él. Einstein argumentaba que todos los observadores, independientemente de su marco de referencia, perciben que la luz se propaga exactamente a la misma velocidad: 299.727 kilómetros por segundo, ni más rápidamente, ni más lentamente. Este hecho constituye el fundamento de la relatividad especial, de acuerdo con la cual no hay ningún espacio ni tiempo absolutos, ningún marco de referencia final en base al que puedan juzgarse cambios de velocidad.

Pero no todo está perdido, decía Peebles en su *Physical Cosmology*. La radiación cósmica de fondo comparte algunas de las cualidades que los Victorianos habían atribuido erróneamente al éter. La radiación cósmica de fondo impregna todo el espacio, dice Peebles, y en consecuencia puede ser utilizada como sustituto del mítico espacio absoluto concebido por Newton y rechazado por Einstein, pero *sin violar* la relatividad especial. La radiación cósmica de fondo sería un marco universal de referencia mediante el cual podría detectarse el espacio absoluto. De pronto, me di cuenta de que éste podía ser mi punto de apoyo para explorar el universo.

La radiación cósmica de fondo es virtualmente homogénea en todas las direcciones. Es posible que tal homogeneidad no parezca un marco de referencia prometedor para detectar el movimiento del universo, pues no posee ningún «mojón» identificable; es como estar rodeado por una densa niebla. Sin embargo, en virtud del efecto Doppler, es posible detectar el movimiento a través de ella. Si la Tierra no tiene movimiento con respecto al resto del universo, entonces la radiación cósmica de fondo es uniforme en todas las direcciones, con la misma temperatura equivalente en todas ellas. En otras palabras, se diría que la radiación es «isotrópica». Pero si la Tierra se mueve, el efecto Doppler produce una leve variación de temperatura a través del cielo. En la dirección en que la Tierra se mueve, el fondo cósmico parece más caliente; por el contrario, en la dirección de la recesión parece más frío.

(Es algo semejante a conducir a través de una lluvia que cae en sentido vertical; el cristal delantero recibe más lluvia que el de atrás.) El efecto Doppler produce una anisotropía dipolar (un polo caliente y el otro frío).



El avión U-2 de la NASA-Ames volando por encima del puente Golden Gate; al fondo, la ciudad de San Francisco. La gran altura de vuelo de los U-2 se hizo célebre por las misiones de reconocimiento realizadas en tiempos de la guerra fría. En la actualidad estos aviones se usan para investigaciones científicas. (NASA-Ames.)

La cantidad de calor y frío será proporcional a la velocidad del movimiento en comparación con la velocidad de la luz, y la dirección de las líneas dipolares en la dirección del movimiento. Si Mach tenía razón —y los experimentos en laboratorio parecen demostrarlo—, desde el momento en que la galaxia rota, el Sol y la Tierra deben de estar moviéndose alrededor de ella a unos 250 kilómetros por segundo. Sciama y Peebles señalaron que esto significaba que había una anisotropía dipolar a nivel del 0,08 por ciento, casi una parte en mil.

Me di cuenta de que era muy probable que las dificultades técnicas y logísticas del proyecto de arrastre del éter fueran enormes. Por lo tanto, contar con el apoyo de Luie sería decisivo para el éxito del proyecto. Una década después de ganar el premio Nobel, su peso en los círculos científicos y políticos era enorme. Se mostraba absolutamente escéptico respecto de nuestra aventura, e incluso le dijo a Rich Muller que jamás veríamos un dipolo. Riche llegó a la conclusión de que Luie

reaccionaba de una manera exagerada ante el experimento que Michelson y Morley habían llevado a cabo en 1886. Su fracaso a la hora de demostrar la existencia del éter había sido tan dramático, que desde entonces los físicos sentían un prejuicio instintivo contra todo intento de detectar un marco universal de referencia; Luie compartía este prejuicio. Sin embargo, con no poco esfuerzo logramos convencer a Luie de que diese su apoyo al experimento. Luego le cambiamos el nombre y lo bautizamos el Nuevo Experimento del Arrastre del Éter, antes de buscar fondos²³. Bob Birge, por entonces jefe de la División de Física del Laboratorio Lawrence, de Berkeley, proporcionó algún dinero para iniciar el proyecto.

En cierto sentido el escepticismo de Luie era comprensible; el dipolo sería difícil de detectar. La nueva señal de arrastre del éter sería sumamente tenue, probablemente variase en unas tres milésimas de grado, que era el límite de lo que nuestros instrumentos podían detectar en ese entonces. Tendríamos que distinguir la leve diferencia de temperatura sin confundirla con innumerables «ruidos», como los provenientes de los objetos celestes (estrellas, polvo interestelar y galaxias). Desde el Big Bang habían ocurrido muchas cosas en términos de evolución cósmica, y todo generaba «ruido». Además, existía la radiación térmica de la Tierra y de los instrumentos que usábamos. También la atmósfera era una fuente de ruido de microondas, pues la radiación de microondas es emitida por los átomos de oxígeno y el vapor de agua. Por todo ello, el instrumental debía ser colocado a gran altura — por encima de la atmósfera—, donde no sólo pudiese controlar la radiación cósmica de fondo, sino la galaxia y la atmósfera. Una vez que supimos a qué altura se encontraban esas fuentes de ruido durante nuestras mediciones de anisotropía, estuvimos en condiciones de restarlas de la medición de la radiación total. Cualquier residuo podía ser la señal de la radiación cósmica de fondo. En síntesis, «escuchar» la anisotropía cósmica sería como escuchar un susurro durante una ruidosa fiesta en la playa mientras las radios resuenan, las olas rompen contra la escollera, la gente grita, los perros ladran y los todo terreno rugen en las dunas.

Nos enfrentábamos, al menos, a dos grandes cuestiones. Primero, ¿cómo podíamos construir un instrumento que fuera lo bastante sensible para detectar la anisotropía,

²³ En ocasiones, ni siquiera el término «nuevo» bastaba. Cuando mi novia, Constantina Economou, visitó mi laboratorio y vio el cartel en el que estaba escrito el nombre del proyecto, dijo divertida: «¿No habéis oído hablar del experimento de Michelson y Morley?» Nosotros lo estudiábamos en clases de filosofía.

y al mismo tiempo diseñar la medición de modo que no quedase colapsada por la radiación proveniente del cielo, la atmósfera y el instrumento mismo? Segundo, ¿en qué tipo de «plataforma» haría el instrumento sus observaciones? ¿Una montaña, un globo o alguna otra cosa?

Yo sabía que Brian Corey y David Wilkinson, de la Universidad de Princeton, planeaban también la búsqueda del dipolo, y lo más probable era que se valieran de un globo. Dirk Muehlner y Rainer Weiss, del MIT, también proyectaban un experimento en globo. Adrián Webster, de Cambridge, había comprobado la viabilidad de las observaciones desde lo alto de las montañas, así como Paul Boynton, de la Universidad de Washington. Nos preguntábamos quién sería el primero en hallar la anisotropía, pero los problemas técnicos eran tan difíciles de solucionar, que no podíamos permitirnos ningún error originado por el fantasma de la competencia. De todos modos, siempre he tenido algo de perfeccionista — algunos dirán que de obsesivo—, y siempre he confiado en el poder de hacer las cosas lo mejor posible.

Mientras reflexionábamos acerca de qué clase de plataforma usar, sin perder de vista a nuestros competidores de la Costa Este, empezamos a reclutar nuevos miembros para nuestro equipo. Un colaborador importante fue Marc Gorenstein. Lo había conocido cuando yo era un estudiante graduado del MIT. El había crecido en Boston y la ciencia siempre le había atraído. Era un tanto romántico, el tipo de muchacho que a los diez años se asombró cuando supo que la gente estaba hecha de átomos. Además de Marc, Rich y yo mismo, el equipo del Nuevo Experimento de Arrastre del Éter incluía a Jon Aymon, quien fue el responsable de los trabajos informáticos del plan. Ideó el programa necesario para transferir datos de las cintas de casete a nuestro ordenador «tritador de números». Él y yo fuimos los principales responsables del procesamiento de datos y del análisis previo de los programas. Otro aliado muy valioso fue nuestro amable maestro artesano Hal Dougherty, un veterano de muchos proyectos del Laboratorio Lawrence, de Berkeley. Él construyó la mayor parte de los artefactos mecánicos del proyecto, además de un modelo utilizado para inspeccionar el diseño mecánico del detector y el sistema de rotación. Luego estaba John Gibson, quien hizo los componentes electrónicos y mecanismos domésticos tales como los sensores de temperatura.

Robbie Smits diseñó y construyó el sistema de rotación, que resultó muy rápido y estable.

Otro miembro decisivo del equipo fue Tony Tyson, quien estaba de visita en el Laboratorio Lawrence, de Berkeley, y seis meses más tarde dejaba los Laboratorios Bell. Tony fue también mi compañero de habitación durante el tiempo que estuvo con nosotros. Era un experto en instrumental supersensible, gracias a su experiencia con los detectores de ondas gravitatorias. Conocía diversas maneras de evitar que nuestras mediciones fuesen obstaculizadas por las posibles vibraciones de la plataforma de observación; nuestro trabajo con globos, que por lo general están relativamente libres de ruido, no nos había preparado para enfrentarnos a este último problema.

Durante casi una década, los astrónomos habían estudiado la radiación cósmica de fondo valiéndose de instrumentos tales como receptores de radio y bolómetros, que son sensibles a la extremadamente tenue radiación de microondas del cielo. Decidimos utilizar un receptor de radio conocido como *diferencial microwave radiometer* (radiómetro diferencial de microonda), o DMR, cuyo antepasado había sido inventado en los años cuarenta por Robert Dicke, de Princeton (líder de los científicos que en 1964 indicaron a Penzias y Wilson el correcto significado de su descubrimiento de la radiación cósmica de fondo).

El DMR no medía la temperatura absoluta de un punto determinado del cielo, sino la diferencia de temperatura entre dos puntos, de ahí el término «diferencial». Mientras que un radiómetro de una antena diría «la temperatura en el punto A es de $2,725^{\circ}$ K», un radiómetro diferencial de doble antena nos indicaría que «la diferencia de temperatura entre el punto A y el punto B es de $0,002^{\circ}$ K». Como en aquellos días los buenos receptores tenían un ruido que era equivalente a 400° , un radiómetro absoluto tenía que ser estable en más de una parte en cien mil. Pero si podíamos combinar bien las antenas, entonces el DMR lo sería en una parte en mil. Así, diseñamos un DMR asimétrico y lo ubicamos sobre una plataforma que podía girar 180° hacia adelante y hacia atrás. De esta forma, cada visión de antena se intercambiaba y la señal del cielo variaba de signo mientras toda falsa señal de cualquier asimetría de DMR permanecía constante. Este doble control de cada medición incrementaba la sensibilidad y la fiabilidad de todo el instrumento.

Sabíamos que la construcción de semejante artilugio supondría una tarea técnicamente difícil, pero tal dificultad dependería, sin embargo, de dónde lo emplazáramos. Nuestro objetivo era llegar tan alto como fuese posible por encima de la superficie terrestre, esto es, de los radares militares, del oxígeno atmosférico, el vapor de agua y demás fuentes de interferencia de microonda. Por ese entonces, yo había empezado a fantasear sobre la posibilidad de ubicar nuestros instrumentos en satélites en órbita alrededor de la Tierra y ya estaba haciendo planes para sugerir tal posibilidad a la NASA. Sin embargo, esta perspectiva todavía era remota y, entretanto, debía contentarme con soluciones más vulgares.

Un sitio viable era la cima del White Mountain, al este de California, donde la Universidad de California había propuesto levantar un observatorio. Era un lugar frío y seco, a 4.200 metros sobre el nivel del mar, en el que los científicos quedaban sin aliento y sufrían los síntomas de la enfermedad de altura; en síntesis, pintoresco para unas vacaciones pero poco apropiado para trabajar. La única ventaja de semejante situación residía en el hecho de que podíamos construir el radiómetro diferencial de microondas exactamente como lo queríamos. Además, el laboratorio estaría en condiciones de contener cualquier objeto de tamaño y forma razonables y la posible reparación del instrumental sería relativamente sencilla. También hablamos de lanzar el artilugio en globo, pues de ese modo llegaría a una altura mayor —tanto como 36.000 metros—. Después de mis recientes experiencias, la idea me entusiasmaba poco.

Entonces, en el otoño de 1973, tuvo lugar un hecho fortuito. Escuché una conferencia de Charles Townes, un científico de Berkeley laureado con el premio Nobel y famoso por sus experimentos con el rayo láser. Townes también había desempeñado un papel importante en el desarrollo del observatorio Aerotransportado Kuiper (así llamado en honor del afamado astrónomo Gerard Kuiper), un avión de transporte militar C-141 reconvertido en observatorio volante. Me dije a mí mismo: «¿Por qué no poner el DMR en un avión?» Podría llegar tan alto como un globo y nos proporcionaría un mayor control sobre el instrumento. En un principio Rich se mostró muy escéptico ante la idea, pero a Luie le intrigó. Le gustaban los aviones y sabía muchísimo sobre ellos; en 1946 había ganado el trofeo Collier por su desarrollo de instrumentos de aterrizaje durante la Segunda Guerra

Mundial, con lo que contribuyó a salvar la vida de muchos pilotos aliados. Luie conocía a Hans Mark, por aquellos días, director de la NASA-Ames, y ello nos proporcionaba una carta de presentación inmejorable ante el inevitable proceso burocrático que la aprobación de una propuesta suponía. De inmediato, Luie escribió una carta a Hans explicándole nuestras necesidades.

Visité las instalaciones de la NASA-Ames situadas en Mountain View, unos 50 kilómetros al sur de San Francisco, para conocer el observatorio Aerotransportado Kuiper. Pronto encontré dos problemas. El primero era que el C-141 sólo disponía de una ventana para observaciones astronómicas, mientras que el DMR tenía dos antenas de cuerno apuntando en direcciones diferentes. Por lo tanto, no nos servía. El segundo problema era que el avión no estaba capacitado para alcanzar la altura necesaria a fin de eliminar la mayor cantidad de ruido atmosférico posible. Al parecer, no nos quedaba otra opción que recurrir a los globos. Entonces, a Luie y a mí se nos ocurrió una alternativa: el avión espía U-2. Construido en los años cincuenta, a comienzos de la Guerra Fría y antes del advenimiento de los satélites espías, el avión de reconocimiento U-2, o *Dark Lady* para sus intrépidos pilotos, era la mayor baza de los Estados Unidos en su intento por controlar las fuerzas armadas soviéticas y el desarrollo de su armamento. En esencia, los U-2 eran planeadores dotados de potentes motores. Sumamente ligeros, eran capaces de alcanzar la estratosfera volando a más de 21.000 metros de altura, y de manera encubierta violaban el espacio aéreo de la Unión Soviética a fin de fotografiar actividades que tenían lugar mucho más abajo. De hecho, volaban tan alto que los pilotos llevaban «trajes espaciales», antepasados de los que años más tarde usaron los astronautas. Al principio, los soviéticos no protestaron públicamente por esos vuelos, sino que lo hacían utilizando canales diplomáticos mientras abrigaban la esperanza de abatir uno de esos intrusos voladores. Sus cohetes antiaéreos eran lentos y carecían de la precisión necesaria, pero empezaron a hacerlos más rápidos y precisos. Para que los U-2 resultasen más difíciles de localizar, sus constructores pintaron la parte inferior del avión de color azul oscuro de modo que se confundiera con la atmósfera superior. Aun así, muchos de ellos fueron abatidos. Cuando yo era niño, el mundo quedó estupefacto al enterarse de que los soviéticos habían derribado a Gary Powers.

Fue un incidente diplomático de la mayor importancia, y el U-2 dejó de ser un secreto.

Luie y yo coincidimos de inmediato en que el U-2 podía ser una plataforma ideal para nuestro instrumento. El avión volaba a gran altura y era sumamente estable, justo lo que necesitábamos para nuestros fines. Decidimos ir a Ames a hablar acerca de nuestro experimento. Hans Mark era un hombre corpulento, con el pelo cortado a cepillo y un acento alemán que le daba todo el aspecto de un general. Luie no lo presionó para que nos ofreciera el avión espía. Esperamos, y por fin él dijo lo que esperábamos oír: «Deberíais probar el U-2, es perfecto».

Estábamos emocionados. Lanzaríamos nuestro DMR a bordo de un avión espía. Resultaba difícil de creer. Recuerdo el extraño placer que sentí cuando conseguí un ejemplar del *Manual de instrucciones del U-2*. El apoyo entusiasta que recibimos de parte de Hans Mark nos hizo confiar en que el Nuevo Experimento de Arrastre del Éter sería capaz de vencer la burocracia de la NASA. Luie recibió una carta fechada el 8 de octubre de 1974 en la que Mark le decía: «Ciertamente, sería divertido para todos nosotros trabajar junto a su grupo en este proyecto». Nos hallábamos en el buen camino.

A pesar de nuestras incertidumbres iniciales, estuvimos encantados con el equipo de ingeniería del U-2 que encontramos en la Lockheed. Habían participado en la construcción de los primeros modelos, allá por los años cincuenta, y lo conocían a la perfección. Marc Gorenstein y yo viajamos al aeropuerto de Burbank, que era el lugar de nacimiento de algunas muestras de tecnología militar de alto secreto (por ejemplo, el U-2 y el SR-71 Blackbird). El espíritu de cooperación que encontramos en los expertos de la Lockheed fue inmejorable. Aseguraban que la tecnología del reconocimiento fotográfico estaba volviéndose anticuada, de modo que no veían la hora de conquistar nuevos campos.

Nuestro primer desafío importante era encontrar la manera de integrar el radiómetro diferencial de microondas con el U-2. No podíamos simplemente enchufar el instrumento en el avión espía como quien conecta una bombilla a un tomacorriente. El U-2 era un pájaro delicado, un avión reducido a su mínima expresión. Cuando en la década de 1950 Kelly Johnson diseñó en la Lockheed el U-2, su intención era que volara lo más alto y lo más lejos posible con la menor

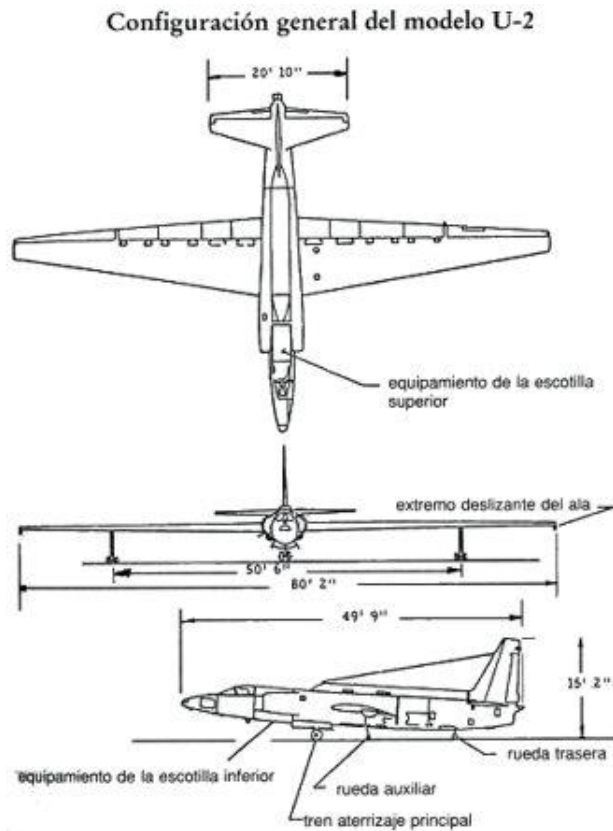
cantidad de combustible (de un tipo especial que no hirviera a gran altura), y para ello eliminó todo puntal, viga o tornillo que no fuera absolutamente imprescindible²⁴. El U-2 se mantenía unido por una delgada «piel» de metal que se volvía rígida gracias a la presión del aire (como ocurre con los globos). A fin de proporcionar una portilla de visión adecuada para el DMR no podíamos hacer un agujero en el techo del U-2, pues de esa forma la piel metálica se debilitaría y el avión perdería estabilidad durante el vuelo. Incluso podía ocurrir que se partiese; los pilotos nos contaron muchas historias horribles acerca de U-2 que funcionaban perfectamente durante unos segundos para de pronto hacerse trizas. Sugerimos, en broma, que había un modo sencillo de evitar todos esos inconvenientes y, a la vez, obtener nuestros datos astronómicos: volando al revés. Por fortuna, Bill Ferguson, de la Lockheed, resolvió nuestro problema cuando descubrió que, en el mayor secreto, las Fuerzas Aéreas habían dotado al avión de una ventanilla superior para controlar la llegada de misiles balísticos intercontinentales de prueba (ICBM). Pocas personas lo sabían. Después de ingentes esfuerzos, Bill Ferguson consiguió la escotilla que necesitábamos para nuestro experimento.

Con este problema a cuestas, Hal Dougherty, nuestro jefe de mecánicos, hizo una maqueta a escala 1:1 del compartimiento de la carga útil del U-2. De este modo pudimos ajustar todas las partes en nuestro laboratorio. La habilidad de Hal a la hora de visualizar un aparato cualquiera y luego construir un modelo de él, es tan extraordinaria como la de Einstein para describir cómo sería viajar en un haz de luz. En apenas un día resolvía problemas que a otros ingenieros les habría llevado semanas o incluso meses, y con ello no sólo ahorraba tiempo sino también dinero. No contábamos con unos fondos demasiado abundantes, de manera que la imaginación de Hal nos permitía mantenernos financieramente solventes.

El DMR tenía que estar totalmente automatizado, pues el piloto debía ocuparse de los controles del avión y no había lugar para un pasajero. También teníamos que asegurarnos de que el DMR no pusiera en peligro el U-2 y su piloto. No debía emitir señales que interfiriesen con la radio de este último ni podía ser demasiado pesado, a fin de que no amenazase el desarrollo del vuelo. En particular, era imprescindible

²⁴ No tenía depósitos de combustible, pues éste era almacenado en las alas (fue el primer avión de alas «húmedas»). El combustible daba peso a las alas; cuando el avión aterrizaba éstas se inclinaban hasta tocar el suelo. Cada ala iba apoyada sobre unas ruedas especiales que se desprendían en el momento del despegue.

que el peso del DMR fuese distribuido de manera uniforme a ambos lados del avión, pues el menor desequilibrio podía hacer que éste se ladease, lo cual, siendo el U-2 tan delicado, constituía un verdadero peligro. También comamos el riesgo de que afectase de modo adverso las mediciones del DMR al inclinar el sobrepeso, con el consiguiente aumento de la interferencia en ese lado.



Configuración general del avión U-2, obtenida de U-2 Investigator's Handbook (1976).

Uno de nuestros mayores problemas consistía en asegurarnos de que el DMR no fuese afectado por el conjunto de ruidos electromagnéticos y térmicos provenientes de la Tierra, la atmósfera, el cielo y el mismo U-2. La radiación dispersa podía deslizarse por difracción sobre la boca de la antena de cuerno y, luego, en el receptor. Si eso ocurría, el instrumento confundiría tal radiación con una variación de la radiación cósmica de fondo. Incluso las más leves interferencias podían suponer un problema, puesto que el DMR era tan sensible que si uno movía la mano

delante de él, la aguja comenzaba a agitarse (la temperatura de nuestra mano es de unos 300 °K). «Cuando lo encendimos por primera vez —recuerda Marc— captó todo lo que había en la habitación.» Rich tuvo algunos problemas a la hora de diseñar pantallas protectoras que se elevasen sobre el U-2 y protegiesen el equipo de la radiación de la Tierra, cuya temperatura era de 290° K. Pero las capas protectoras no eran una solución ideal ya que interferían con la aerodinámica del avión. Luie escribió a Hans Mark informándole que el problema «parecía inicialmente el más difícil al que debíamos enfrentarnos». Más tarde, con la ayuda de la Lockheed, resolvimos esta cuestión de un modo menos ostentoso. Los ingenieros de la firma aeroespacial diseñaron una superficie plana con cubierta de bajo perfil para instalarla en la ventanilla del U-2 por donde debían asomar las antenas. El extremo superior de éstas estaba casi al nivel de la superficie plana de la escotilla del avión, pero la aerodinámica lisa las protegía del azote del viento. Para que este arreglo funcionase, las antenas tenían que ser prácticamente perfectas.

Yo no era un experto, de modo que pasé mucho tiempo estudiando la tecnología y la teoría de las antenas. Viajé a Boston para visitar las instalaciones de la TRG Corporation (ahora propiedad de Alpha Corporation) a fin de hablar con sus ingenieros de antenas, quienes determinaron las características y el diseño de ellas. Obtuvimos un bello par de antenas de 33 gigahercios (GHz)²⁵, elegidas porque en esta frecuencia existe un mínimo de emisión atmosférica de microondas, lo cual nos proporcionaba una visión con menos obstáculos de la radiación cósmica de microondas. La direccionalidad de las antenas (su capacidad de ver en línea recta con un mínimo de energía desde los lados, como un ser humano con visión-túnel extrema), fue optimizada utilizando una técnica llamada «*apodizing*». Esto involucra acanaladuras cortadas en la pared interna de la antena, paralelas a la boca del cuerno. Las acanaladuras obstruyen la mayor parte de la radiación fuera del eje cuando trata de introducirse en el cuerno y viajar por su pared.

Seguimos preocupados por la estabilidad y la simetría del U-2. Aunque el avión era bastante estable cuando se trataba de tomar bellas fotos de reconocimiento, ignorábamos si lo sería para la investigación cosmológica. Tenía que volar

²⁵ Treinta y tres gigahercios es una frecuencia de 33.000 millones de ciclos por segundo y corresponde a una longitud de onda de luz igual a 0,91 centímetros.

exactamente al nivel del horizonte; la más leve inclinación haría que un cuerno viese más o menos a través de la atmósfera de la Tierra y, por lo tanto, de una región de más o menos interferencia de microondas. Para corregir esto, decidimos que los pilotos siguiesen trayectos de vuelo en forma de largas y estrechas pistas de carrera. El avión despegaría y volaría sobre un trayecto recto, entonces se inclinaría rápidamente 180° y volaría en la dirección exactamente opuesta a lo largo de un trayecto paralelo a la «pista» que acababa de abandonar. De esta manera, toda falsa señal provocada por la inclinación o la asimetría del avión tendería a anularse.



Alrededor del radiómetro instalado a bordo del avión U-2, de izquierda a derecha, Luis Tenorio, Charles Lineweaver, John Gibson, Giovanni De Amici, George Smoot y Jon Aymon. Todos ellos formaron parte del grupo DM R COBE del Laboratorio Lawrence de Berkeley. (Lawrence Berkeley Laboratory.)

A pesar de esta preocupación, nuestra paranoia sobre la posible interferencia atmosférica permaneció intacta, así es que agregamos otra medida de seguridad: un radiómetro extra, el 54 GHz DMR. La emisión atmosférica de microondas es unas cuatrocientas veces mayor que el 33 GHz, de modo que el nuevo radiómetro detectaría la más ligera fluctuación en las señales atmosféricas y por lo tanto cualquier inclinación, por leve que fuera, del U-2. Después del vuelo podíamos comparar la señal del 54 GHz con la del 33 GHz para distinguir entre las señales causadas por la anisotropía cósmica y las provocadas por la atmósfera. (El 54 GHz

DMR funcionó maravillosamente, pues midió la inclinación del avión con una precisión de más de un sexto de grado.)

También teníamos que trabajar horas extraordinarias para eliminar de los cuernos fuentes de calor dispersas. Pero nos resultaba imposible eliminarlas todas, de modo que recurrimos a una solución secundaria similar a la técnica de las pistas de carrera. Se trataba de una solución del tipo «si no puede derrotarlos, únase a ellos», sólo que uno podría llamarla «si no puede eliminar todas las fuentes de calor, asegúrese de que ambos cuerpos comparten la misma exposición al calor». Eso significaba que los cuernos de la antena tenían que ser, tecnológicamente hablando, tan semejantes como fuera posible, de manera que ninguno de ellos fuese ni más ni menos «ilusorio» que el otro debido a señales falsas. (La misma ilusión estaba bien; la ilusión desigual era mala.)

El desarrollo de los radiómetros requirió muchísimo trabajo y todos nos quemamos las cejas durante semanas e incluso meses. Nuestras vidas personales se vieron afectadas. La lentitud de nuestro avance nos deprimía. Marc Gorenstein recuerda que un día iba en su Chevy Malibu del 68 por la colina en que se encuentra el Laboratorio Lawrence, de Berkeley. Había sido una jornada de trabajo de lo más desalentadora: el DMR se había negado a funcionar correctamente. Marc se sentía, según sus propias palabras, «descorazonado». Cuando llegó al final de la colina, cogió por la calle Oxford, a lo largo de la cual los estudiantes se relajaban sobre la hierba; entonces observó los automóviles aparcados junto al bordillo y pensó: «Hay que ver esos coches. Si yo me subiera a cualquiera de ellos e hiciera girar la llave del contacto, *funcionaría*, se pondría en marcha y me llevaría a donde quisiese ir. Sin embargo, cada uno de ellos es una maquinaria muy compleja.»

Fue un momento simple pero importante, una afirmación llana de que la gente hace funcionar miles y miles de máquinas muy complicadas. Parecía una especie de epifanía, y renovó la fe de Marc en el DMR.

Fueron los pilotos del U-2 quienes nos levantaron la moral. Eran hombres orgullosos y capaces, y no podríamos haber puesto nuestro DMR en mejores manos. «Soy el mejor piloto de U-2 que he conocido en mi vida —declaró en una ocasión Jim Barnes. Luego se echó a reír—. Por supuesto, todos aquí piensan que son los mejores.»

Llegamos a conocer muy bien a los pilotos del U-2. Ivor *Chunky* Webster, por ejemplo. Era un británico la mar de divertido que se ajustaba perfectamente a la imagen que uno tiene de un viejo piloto de la RAF; cualquiera podía imaginárselo eludiendo los proyectiles de los aviones nazis sobre los cielos de Inglaterra. Se había unido al proyecto U-2 gracias a un programa de intercambio con las Reales Fuerzas Aéreas. Chunky era un hombre campechano, pero también el tipo de piloto que parecía tener un sexto sentido cuando de su avión se trataba. Un día, años atrás, estaba pilotando un U-2 que había despegado de la Base Edwards de las Fuerzas Aéreas. Nelly Johnson, el inventor del U-2, se encontraba en tierra controlando el vuelo. Chunky envió un mensaje a la base diciendo que el avión no funcionaba del todo bien. Le parecía que una de las alas estaba ligeramente torcida. Los expertos de tierra se lo tomaron con escepticismo. Cuando alguien le preguntó a Johnson qué pensaba al respecto, éste respondió: «Si Chunky dice que hay un ala torcida, es porque hay un ala torcida». Cuando Chunky aterrizó, los técnicos examinaron el avión. El ala estaba casi imperceptiblemente torcida. Así de bueno era Chunky.

Los pilotos tenían un complejo código de honor, una de cuyas reglas era que jamás debían permitir que los patines de las alas tocaran el suelo al aterrizar. «Muchacho —decía Barnes—, si dejas arrastrar el patín de una de las alas, todos te tomarán el pelo sin que puedas evitarlo.»

Barnes recuerda que cuando allá por los años cincuenta era piloto de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos (USAF), alguien le preguntó si estaba interesado en unirse a un proyecto secreto. En un principio no le dieron detalles. El alto mando lo citó una y otra vez, dándole información fragmentaria, previniéndole que se trataba de un proyecto ultrasecreto. Le hablaron claramente de los peligros a los que se expondría: «Va a entrar usted en un entorno hostil —le dijeron— sobre el que la ciencia médica aún no sabe nada; sólo nosotros lo sabemos. Volará usted en un nuevo tipo de avión extremadamente frágil. Todos los sistemas de apoyo vital a bordo son nuevos. Nunca se ha hecho nada semejante. Va a entrar usted en el mundo de lo desconocido.» Luego le aconsejaron que, si estaba completamente seguro de que quería asumir esa responsabilidad: «Vaya a su casa y duérmase pensando en esto». No era necesario, ya que estaba al tanto de todo, y así lo dijo.

Basándose en lo que ya había aprendido, «sonaba tan excitante que no podía resistirme. Odio decirlo, pero no tomé en consideración el riesgo. Nunca lo hago». Algo similar le ocurrió a Bob Ericson. En 1956 era un piloto de las USAF en la base que éstas tenían en Tinker, Oklahoma City. Era soltero y ganaba 560 dólares al mes. Joe McCarthy había muerto ese mismo año, y Stalin dos años antes. Pero la Guerra Fría era cada vez más dramática: pronto los soviéticos enviarían sus tanques a Hungría y lanzarían el *Sputnik*. Estados Unidos estaba desesperado por saber qué ocurría detrás del Telón de Acero y en el interior de los laboratorios supersecretos en que la Unión Soviética desarrollaba sus armas. Un día, Ericson fue llamado al despacho de su jefe. Un oficial le dijo que el Pentágono estaba trabajando en un «programa especial» fuera del marco de las Fuerzas Aéreas regulares, y le preguntó si le interesaba unirse al proyecto. Ericson respondió que sí. Durante los meses siguientes asistió a sesiones de información de alto secreto. En cada una de ellas recibía más datos sobre el «programa especial». Al parecer, estaba relacionado con tareas de reconocimiento... control de los tanques y las tropas soviéticas... un nuevo tipo de avión, y esa clase de cosas. Era como observar un rompecabezas que se va armando pieza por pieza. Ocasionalmente, el oficial que dirigía las sesiones le decía a Ericson que se fuera a su casa y pensara bien en el paso que se disponía a dar. ¿Estaba seguro de que todavía deseaba participar? Ericson aseguró que sí, a pesar de los riesgos.

Como todos los pilotos, Barnes y sus colegas disfrutaban contando historias. Les encantaba provocar entre su público dudas, temores y admiración. Al escuchar tales relatos nos asombraba que uno pudiese regresar sano y salvo de un vuelo en un U-2. De acuerdo con sus descripciones, los motores «llameaban» o el avión volaba demasiado rápido y, de pronto, se partía.

Barnes recordaba un día, años antes, en la base de prácticas ubicada en Mojave Desert. Uno de sus compañeros, llamado Buster, estaba volando sobre la base en un U-2. En un momento dado informó a los oficiales de tierra que algo andaba mal en una de las alas del avión. «Voy a efectuar un vuelo lento para ver qué le ocurre», dijo. Barnes le dijo entonces que se elevara hasta una altura de unos 600 metros. «Mientras lo observábamos, le comenté al que estaba a mi lado: "Hubert, está perdiendo potencia"». No acabé de decirlo cuando vimos que el ala del avión de

Buster se inclinaba y se partía. Describió un gran giro y antes de que diese dos vueltas completas cayó en picado. Ante mis propios ojos. Increíble. No fue el primero que vi morir.»

Ericson nos hablaba también del año 1962, cuando el mundo estuvo al borde de la guerra nuclear. Las fotos que tomó desde el U-2 fueron las primeras en revelar la presencia de bases secretas de misiles soviéticos en Cuba. Esto fue antes de que el presidente Kennedy diese a publicidad el envío de tales misiles. «Lo único que aquellas fotos hicieron por mí fue obligarme a permanecer en tierra durante tres o cuatro meses. Mis jefes pensaban: "Caray, Ericson sabe demasiado, no podemos permitir que lo *derriben*"». Sus fotos también revelaron delgadas líneas blancas arqueadas hacia arriba. Quienes interpretaron dichas figuras le dijeron que se trataba de misiles cubanos en el momento de ser lanzados contra el U-2. Habían disparado contra él y nunca se había enterado.

Barnes desechaba como un «cuento de viejas» la leyenda según la cual los pilotos de los U-2 llevaban una cápsula de cianuro para que la tragasen en caso de que fueran derribados. Lo que llevaban era otra cosa. Lenta y dramáticamente extraían de su bolsillo una moneda de un dólar de plata en una de cuyas caras habían hecho un agujero del diámetro de la mina de un lápiz. El agujero terminaba a un sexto de pulgada antes de llegar a la otra cara. «Si uno "destornillaba" este pequeño disco, sacaba una funda minúscula que contenía una aguja finísima recubierta con la sustancia más mortal conocida por el hombre: curare superconcentrado.» Ciertas tribus de indígenas usaban el curare para impregnar las puntas de sus flechas; el curare que contenía el dólar de plata era 2.000 veces más potente. Con él, decía Barnes, un piloto que se viese obligado a saltar de su U-2 podía matar una oveja o cualquier otro animal para alimentarse, o un soldado enemigo, o, si no tenía otra alternativa, «podía usarla de alguna otra forma».

Finalmente estuvimos preparados para llevar a cabo una prueba a gran escala de nuestro nuevo radiómetro diferencial de microondas. Una noche, dos semanas antes del primer vuelo, Marc Gorenstein y yo cargamos el DMR en una carretilla de madera y lo ubicamos en la trasera de nuestra furgoneta, a la que habíamos bautizado *Old Yellow*. Cubrimos el instrumento con un encerado y lo aseguramos con cadenas. Luego condujimos a través de la noche hasta el aparcamiento del

Laboratorio Lawrence. Una vez allí, desenvolvimos el DMR y apuntamos sus cuernos gemelos en dirección al cielo oscuro. Nuestro contador comenzó a mostrarnos lo que el DMR estaba detectando. Una mancha invisible de vapor de agua pasó sobre nuestras cabezas; el dispositivo explorador señaló un aumento de la temperatura. Bien, eso significaba que el instrumento funcionaba, puesto que el vapor de agua era una fuente de radiación dispersa. El paso de tales nubes nos recordaba por qué era tan importante llevar el DMR a la estratosfera, muy por encima de las nubes.

También cargamos un par de grandes espejos pulidos hechos especialmente para nosotros por Hal Dougherty. Los colocamos en ángulo a fin de que reflejasen la radiación directamente sobre nuestras cabezas en cada antena de cuerno (que estaban separadas a 60°). Si ambas antenas apuntaban en dirección a la misma zona del cielo mediante espejos idénticos, entonces los cuernos detectarían una diferencia de temperatura de cero, en el caso de que funcionaran correctamente. Al girar los cuernos, éstos señalaron una diferencia de temperatura próxima a cero, lo cual no era lo bastante cerca para nuestras necesidades. Llevamos el DMR de vuelta al laboratorio y ajustamos los dos lados del radiómetro para hacerlos más simétricos. La noche siguiente regresamos al mismo lugar para hacer una nueva prueba. Al cabo de un par de intentos funcionó perfectamente: las dos antenas de cuerno detectaron la misma cantidad de radiación.

Pocos días más tarde pusimos el DMR en la furgoneta y cubrimos los ochenta kilómetros que separan Berkeley de las instalaciones de la NASA— Ames. Allí sometimos a prueba nuestra creación a bordo de un U-2 que estaba en el hangar. Marc y yo ocupamos por turnos el lugar del piloto; mientras uno operaba el DMR presionando varios botones, el otro ponía blancos emisores de microondas (fuentes de diferentes niveles de poder de radiación) frente a los cuernos a fin de probar la sensibilidad de éstos. Cuando todo estuvo controlado, hicimos rodar por la pista el U-2 con el instrumento a bordo. Como parte de la prueba, pusimos en funcionamiento la radio y otros elementos del equipo para ver si alguno de ellos interfería con el DMR. No detectamos ningún problema. Estábamos preparados para llevar a cabo nuestro experimento.

El primer vuelo del U-2 portador del DMR fue fijado para el 7 de julio de 1976, tres días después del bicentenario de la independencia de los Estados Unidos y dos semanas antes de que la primera sonda Viking fuese lanzada sobre Marte.

Fue al caer la tarde; el sol desaparecía detrás de las montañas que bordeaban la Costa Oeste y el cielo azul ya oscurecía. El piloto se puso su traje espacial y su casco y caminó hasta el avión; parecía un astronauta que se dispusiera a partir rumbo a la Luna. Sin embargo, su misión (a través del DMR) estaba mucho más allá de ésta, mucho más allá de nuestra galaxia incluso, y lo llevaría hacia la profundidad del cosmos. Se apretujó en la cabina, cerró la escotilla transparente e hizo los controles de rigor. Tal vez haya rezado una plegaria en silencio, no lo sé. Encendió los motores y avanzó por la pista; las alas del avión, inclinadas debido al peso del combustible, se deslizaban sobre ruedas que más tarde se desprenderían. Luego aceleró y alzó el vuelo. Las ruedas adicionales cayeron. De pronto, el avión pareció ladearse, casi como un cohete. Quedamos asombrados ante semejante visión: en un segundo el U-2 estaba a ras de tierra, y al siguiente contemplábamos su tubo de escape, una llama blanca contra el índigo del cielo. En el momento en que pasó sobre el puente Dumbarton, se encontraba a una altura de 9.000 metros. Una vez alcanzada la estratosfera, el piloto conectó el DMR, que empezó a rotar para un lado y para el otro. Podía asegurar que estaba funcionando porque el panel de instrumentos incluía una pequeña luz que parpadeaba cada vez que rotaba. Los cuernos cambiaban de posición cada 32 segundos, comparando automática y repetidamente las temperaturas de distintas partes del cosmos.

Muy pronto, dos años de dura labor de equipo serían puestos a prueba. Ningún instrumento como aquél había volado jamás en la estratosfera. Esperábamos que nuestro esfuerzo reportara beneficios y nada marchase mal. En tierra, yo analizaba los primeros resultados a medida que llegaban. No estaba seguro de qué hallaríamos, pero tenía la certeza de que los datos, fueran cuales fueren, serían interesantes.

Capítulo 7

Un universo diferente

En el transcurso de los dos meses siguientes a ese primer vuelo quedó claro que el experimento funcionaba. Comenzaron a llegar los datos del radiómetro diferencial de microondas. El sistema había sido puesto rigurosamente a prueba en varios vuelos de ingeniería, y habíamos pasado a la etapa que llamábamos de «vuelos científicos». El U-2 demostró ser fenomenalmente estable, el nivel de vuelo, de un sexto de grado de promedio, era justo el que necesitábamos para reducir al mínimo las señales falsas. Después de que algunos de sus problemas iniciales fueran resueltos, el DMR se dedicó a su tarea principal: medir diferencias minúsculas en la radiación cósmica de fondo en diferentes partes del cielo. Mientras el plan de vuelos se llevaba a cabo, conseguimos aumentar la sensibilidad del DMR desarrollando nuevos programas de ordenador para analizar los datos. Estábamos preparados para utilizar la radiación cósmica de fondo —ese débil resplandor de la inmensa energía de la creación— como una herramienta con la que explorar la dinámica del universo.

Por esos años —a finales de la década de 1970— la teoría clásica del Big Bang consideraba el origen y la evolución del universo como un asunto relativamente ordenado. Siguiendo el suceso primordial que había tenido lugar 15.000 millones de años atrás, la gravedad hacía que las galaxias se condensaran lentamente en pequeñas regiones de una densidad más alta que la media (semillas cósmicas) en un medio por lo demás uniforme. Se consideraba que el extremo del espacio estaba escasamente poblado de estas galaxias que avanzaban a través del tiempo sin ser apenas perturbadas por otros cuerpos celestes. Una parte del espacio tomada al azar era muy semejante a cualquier otra; todo era relativamente homogéneo. Sabíamos que las semillas gravitatorias de estas estructuras debían de haber sido plantadas antes de que el universo existiera, lentamente, para desarrollarse más adelante. Sin embargo, la supuesta uniformidad relativa de la formación y distribución de galaxias no inspiró una investigación urgente de la naturaleza de esas semillas (esto ocurría antes del descubrimiento de los gigantescos supercúmulos de galaxias). Por ello, yo estaba muy interesado en abordar algunas

de las grandes cuestiones concernientes a la dinámica del universo, tales como si efectivamente rotaba o si, por el contrario, se expandía de manera uniforme en todas las direcciones.

Las respuestas no se hicieron esperar. Al cabo de seis vuelos científicos completos empezó a resultarnos muy claro que los datos del DMR no aportaban la menor prueba de la rotación del universo. Fue ésta una sorpresa sumamente importante, ya que cualquiera puede ver que *dentro* del universo —planetas, estrellas y galaxias— todo rota. Personalmente, estaba convencido de que así debía de ser. Todos los sistemas, desde el protón a las galaxias, rotan, de modo que tenía sentido afirmar que el universo también lo hace. Yo sabía que la relatividad general admitía la rotación a pesar de la inevitable pregunta: «¿Con respecto a qué rota el universo?». De acuerdo a nuestros resultados, calculábamos que si el universo rota, lo ha hecho a menos de cien millonésimas de rotación en los últimos mil millones de años. A este nivel, habíamos mejorado la exactitud de las pruebas del principio de Mach en un factor grande. Pero si el universo no rotaba, significaba que el viaje por el tiempo iba a ser difícil.

También descubrimos que el universo se está expandiendo a una velocidad notablemente uniforme en todas las direcciones. No hallamos ningún signo de asimetría. «Si se lo estudia más detenidamente, el Big Bang, el mayor cataclismo que podamos imaginar, se muestra como un evento sutilmente orquestado», escribí cuando llevábamos a cabo nuestras observaciones. «O antes del comienzo las condiciones eran muy regulares, o los procesos que aún no conocemos hacían el universo sumamente uniforme.» Esta conclusión era, en verdad, bastante inocua y no perturbaría a nadie, pues la uniformidad del universo podía considerarse compatible con la teoría clásica del Big Bang. Sólo años más tarde, cuando tuvieron lugar otros descubrimientos, sería considerada un problema.

No obstante, lo que desconcertó a la gente —en particular a los astrónomos— fue un descubrimiento del todo inesperado. Topamos con la evidencia de que el universo era absolutamente distinto a como lo habíamos imaginado.

La Vía Láctea, al igual que todas las galaxias espirales, rota; es un gigantesco disco de estrellas que gira lentamente cuando éstas lo hacen alrededor de su centro. Sabíamos que en la radiación cósmica de fondo debíamos ver una señal de esta

rotación. Debido al efecto Doppler causado por el movimiento de nuestro Sol alrededor de la galaxia, la radiación de fondo parecía un poco más caliente que el promedio en una parte del cielo (la dirección de la progresión del Sol) y un poco más fría en la opuesta (la dirección de la regresión). También sabíamos que esa diferencia de temperatura sería pequeña. Si nuestros datos no lograban revelar el dipolo, entonces sabríamos que algo fallaba en nuestros instrumentos o en nuestro método de análisis.

A principios de diciembre, cinco meses después de nuestro primer vuelo, sentí que estábamos a punto de revelar la esperada señal del dipolo. Luchando con un lector de cinta asistido por ordenador propenso a detenerse inesperadamente, Jon Aymon y yo estudiamos las casetes de datos con la información recogida durante más de 21 horas de vuelo del U-2. Sólo desechamos seis minutos de datos por estar contaminados con diversas formas de interferencia, lo cual es una muestra de lo bien que funcionaba el sistema. Introdujimos los datos en el gran ordenador-triturador de números del Laboratorio Lawrence y empezó a escupir resúmenes de cada conjunto de datos. Después de procesar y verificar los datos de cada vuelo, los agregaba a la partida anterior y a mis programas. En el mapa celeste que estábamos formando de manera acumulativa, hallamos indicios de que se estaba formando un dipolo. Si efectivamente era así, le dije a Jon, debíamos estar en condiciones de predecir el aspecto de los datos obtenidos en el vuelo más reciente. Hice los cálculos y tracé un esbozo del modo en que los puntos tenían que caer en el mapa; luego observé los datos reales. El parecido era notable.

Resultó estimulante. Pero yo quería comprobar su significación, por lo que sugerí a Jon que escribiese un programa para poner a prueba los resultados simulando los datos sin ninguna señal, sólo el ruido del instrumento. Si esto también daba un buen acoplamiento, indicaría que después de todo, los resultados no eran tan significativos. Lo observé como lo que era: mero ruido. Nuestra confianza aumentó. Habíamos diagramado los datos sobre una gran esfera celeste que mostraba las constelaciones, las estrellas más brillantes, un escorzo de la Vía Láctea y el sistema celeste de coordenadas señalado en él. Puse marcas de colores en el globo indicando las variaciones de temperatura. Trabajamos en esto toda la noche, y al amanecer estuvimos en condiciones de contemplar el esquema que buscábamos: la

anisotropía dipolar mostraba una parte del cielo más caliente (desplazamiento hacia el azul) y la opuesta más fría (desplazamiento hacia el rojo).

El grado de anisotropía era pequeño, tan solo un uno por mil. Pero no todo era como se esperaba. «Mira eso —le dije a Jon—. ¿Qué crees que significa?» Aunque la anisotropía era cercana a la magnitud que habíamos esperado, su dirección era prácticamente la opuesta. El cielo era más caliente en la dirección de Leo y más frío en la de Acuario, lo que significaba que la Tierra se movía hacia la primera y se alejaba de la segunda. Éste *no* es el sentido en que la galaxia rota. «A menos que una de las señales sea errónea — dijo Jon— sólo hay una explicación.» Ambos sabíamos cuál debía de ser la respuesta: la galaxia entera no sólo rota, tal como debe ser, sino que también se mueve a través del espacio. Nadie había sospechado semejante cosa. Y comprobamos que se desplazaba muy rápidamente, a 600 kilómetros por segundo, es decir, más de dos millones de kilómetros por hora.

Cuando llegó la mañana John y yo estábamos exhaustos, pero también excitados por lo que acabábamos de descubrir. No veíamos la hora de compartir las noticias con el resto del equipo. Sabíamos que las consecuencias del hallazgo serían enormes.

Pensémoslo de este modo. Cuando Copérnico anunció que la Tierra giraba alrededor del Sol, alguien seguramente cogió papel y pluma y se dijo: «Muy bien, hagamos algunos cálculos. Si Copérnico está en lo cierto y la Tierra traza una órbita casi circular alrededor del Sol²⁶, la circunferencia de la órbita debe de ser... (garabatos, garabatos)...de unos 960 millones de kilómetros. Y puesto que un año tiene 365 días, o unas 8.800 horas, o unos 530.000 minutos, o unos 32 millones de segundos, por lo tanto... (garabatos, garabatos)...la Tierra gira alrededor del Sol a una velocidad aproximada de 30 kilómetros por segundo. ¿Cómo es posible, entonces, que nada caiga de ella? Copérnico debe de estar chalado.»

La anterior es una versión siglo XVI de lo que hallamos, que se dio en llamar «el problema de la velocidad peculiar». Los contemporáneos de Copérnico se sorprendieron al enterarse de que la Tierra se mueve. De igual modo, en la década de 1970 muchos de nuestros colegas se mostraron incrédulos a la hora de admitir que nuestra galaxia se estuviese moviendo, a través del espacio, a tan elevada

²⁶ De hecho, la órbita de la Tierra es ligeramente elíptica.

velocidad relativa a la radiación cósmica de fondo. Los teóricos estaban dispuestos a aceptar un movimiento galáctico de, digamos, 60 kilómetros por segundo, pero no algo mayor en orden de magnitud. Nuestros resultados sólo podían ser correctos si existía una masa celeste tan gigantesca como insospechada, cuya gravedad estuviera arrastrando la Vía Láctea hacia ella. Según la teoría predominante, la materia se distribuye de modo bastante homogéneo a través del cosmos, y nadie suponía que pudiese haber cuerpos de tamaño extraordinario en ninguna parte. En un artículo dirigido a la *Physical Review Letters*, decíamos: «La gran velocidad peculiar de la Vía Láctea es inesperada, y representa un desafío a la teoría cosmológica [...] El universo puede ser mucho menos homogéneo de lo que hasta ahora hemos creído.» Si el resultado era correcto, estábamos seguros de que causaría un enorme revuelo.

Pero una cosa me preocupaba: ¿podía el dipolo haber sido un efecto estacional? Cuando la Tierra está ante una cara del Sol, por ejemplo en primavera, se mueve de un modo relativo a la galaxia, y cuando está del otro lado (otoño) se mueve en una dirección opuesta de 180°. De manera que ¿cómo podíamos estar seguros de que el dipolo no era, sencillamente, un artefacto del cambio estacional sin ninguna relación con el movimiento galáctico a través del cosmos?²⁷ Para verificar el problema del potencial estacional, pedimos a las tripulaciones de los U-2 que realizaran algunos vuelos adicionales a fin de que el DMR pudiera explorar nuevamente partes del cielo observadas anteriormente a lo largo del año. Esto requería que los pilotos fuesen a la máxima velocidad, volando de noche y más tarde de lo que lo habían hecho hasta entonces. Cuando intercalamos los nuevos datos del DMR en el conjunto original para corregir cualquier efecto estacional, contuvimos la respiración. Para nuestro alivio, no hubo ningún cambio estacional: el dipolo aún estaba allí.

Confiando en que los datos fuesen válidos, pensé en anunciar nuestros resultados en la reunión de la Sociedad Americana de Física que tendría lugar en Washington D. C. en abril de 1977. Nuestros competidores, en especial el equipo de la Universidad de Princeton encabezado por Brian Corey y David Wilkinson, estaban en

²⁷ El informe dado a conocer en 1991 por ciertos científicos británicos según el cual había sido detectado un planeta que giraba alrededor de un pulsar distante, resultó ser erróneo debido a que no habían tomado en cuenta el movimiento de la Tierra en torno al Sol. Lo que detectaron fue la Tierra.

la pista del dipolo a partir de observaciones realizadas en globos pero yo no estaba seguro de cuánto habían avanzado. Era importante dejar constancia de nuestro trabajo, y la reunión de la APS era una ocasión inmejorable. No conseguimos un lugar en la agenda de oradores porque no estuvimos seguros de nuestros resultados hasta después del plazo de admisión de resúmenes e invitaciones. Afortunadamente, Jim Peebles, cuyo libro había inspirado nuestro experimento del U-2, daba en calidad de invitado una conferencia sobre cosmología y me brindó generosamente unos minutos para que hablara. La situación tenía algo de poético, pues era como si él estuviese allí para completar el ciclo de la idea del nuevo experimento del arrastre del éter.

Antes de la reunión, yo había ensayado unas diez veces lo que iba a decir. Fue un gran día para mí; me puse traje y corbata, cosa que no solía hacer. Mi novia, Constantina Economou, fue para animarme con sus aplausos.

De pie delante de mis colegas en el gran salón de actos, me sentía nervioso e inexperto. Peebles hizo una amable introducción y me cedió el podio. Empecé mi charla sin más preámbulos y expliqué que, en tanto que la Tierra y el sistema solar se mueven hacia Leo a unos 350 kilómetros por segundo —más de diez veces la velocidad de nuestro planeta al girar alrededor del Sol—, la Vía Láctea lo hace a unos 600 kilómetros por segundo. «Se trata de un volumen muy grande para moverse a semejante velocidad», dije irónicamente. Recuerdo que pensé: «Apuesto a que Jim es el único aquí que comprende lo que esto implica». Luego abordé tres cuestiones, todas ellas sencillas, y antes de que pudiese darme cuenta, Peebles estaba hablando otra vez. Nuestra detección de un movimiento galáctico de elevada velocidad presentaba un «verdadero dilema para los teóricos» dijo casi con indiferencia.

Mi exposición había resultado a todas luces insuficiente. Ese día el público estaba mayoritariamente compuesto por físicos, a quienes tan extraordinario movimiento de objetos físicos les parecía natural y aceptable. Nuestros resultados apenas si despertaban su interés y mucho menos alteraban su querida visión de las cosas. Sin embargo, los astrónomos reaccionarían de manera muy diferente.

Seis meses después de aquella conferencia en Washington, Marc Gorenstein expuso nuestros hallazgos ante la Sociedad Americana de Astronomía, en el transcurso de

una reunión que tuvo lugar en Atlanta. La reacción de la audiencia resultó fría, por no decir glacial. Marc fue interrogado minuciosamente, seguramente porque todos creían que en nuestras mediciones o en nuestras interpretaciones debía de haber algo equivocado. Las consecuencias de los resultados amenazaban hasta tal punto la sabiduría astronómica vigente que pocos astrónomos estaban dispuestos a tomarnos con seriedad.



George Smoot (izquierda) junto a Jim Peebles en una conferencia en 1992. (El Escorial — Conversaciones en Madrid.)

La exposición de Marc atrajo la atención de Walter Sullivan, del *New York Times*, quien el 14 de noviembre de 1977 publicó un artículo sobre nuestro trabajo con el título: «Las galaxias atraviesan el universo a una velocidad superior a los dos millones de kilómetros por hora». En él explicaba, sucintamente, el desafío que nuestros resultados planteaban a la cosmología ortodoxa. En primer lugar, el movimiento extraordinario de nuestra galaxia requiere la existencia de cuerpos masivos hasta ahora no detectados en el universo, lo cual significaba que en éste la materia no está distribuida de manera tan homogénea como se había pensado. En segundo lugar, este hecho eleva a un nuevo nivel de interés e importancia los medios por los cuales ha evolucionado el universo después del Big Bang. La

inesperada existencia en el universo actual de estructuras enormes, significa que las semillas cósmicas de las cuales creció deben de haber estado presentes en el universo primitivo. De otro modo, no podrían haberse desarrollado tanto como lo hicieron. Por lo tanto, un efecto de nuestros resultados fue enfocar la atención sobre la naturaleza de esas semillas y el modo de detectarlas.

Los astrónomos nos atacaron desde dos frentes: el empírico y el teórico. Robert Roeder, un destacado astrónomo canadiense de la Universidad de Toronto, se preguntaba cómo, puesto que nuestro mapa de la radiación cósmica de fondo se desplegaba en el plano del sistema solar, podíamos estar seguros de que la anisotropía no era, sencillamente, polvo que giraba alrededor del Sol, semejante al de la luz zodiacal causada por partículas provenientes de la colisión de asteroides. Señaló también que, para el período de diciembre a mayo, la señal parecía estar en la misma dirección en la que la luz zodiacal era más brillante.

En parte, tenía razón. Antes de publicar nuestros datos, pensé que había explicado adecuadamente todos los efectos provocados por el polvo zodiacal. Pero nunca se sabe; quizá el sistema solar contenía partículas de polvo mayores de lo que habíamos considerado, y que podían haber sido la causa de las temperaturas diferentes que habíamos detectado.

En los meses que siguieron Roeder me envió cartas en las que se explayaba sobre sus objeciones. Después de analizar los datos por nosotros aportados, había confirmado la existencia de correlaciones inquietantes entre nuestra señal anisotrópica y el plano del sistema solar. (Casi toda la materia de éste, desde el polvo hasta los planetas, gira aproximadamente en el mismo plano.) Nuestra señal estaba de cinco a diez grados fuera del plano de la luz zodiacal. Asimismo, la parte más caliente de la señal anisotrópica se encontraba en el plano de la eclíptica (la trayectoria que sigue el Sol a través de la esfera celeste). Además, la señal anisotrópica está firmemente alineada con el punto donde la eclíptica cruza el ecuador celeste (que se halla en el mismo plano que el de la Tierra). Quizá todas éstas no fueran más que coincidencias. Pero aun así, eran del tipo que quita el sueño a los astrónomos. Yo no tenía ninguna respuesta definitiva, y sólo más tarde pudimos eliminar las objeciones de Roeder.

Debo de haber hablado sobre nuestro descubrimiento en una docena de reuniones; Marc y Rich también dieron muchas charlas. En casi todos los casos, las críticas se centraban en nuestra medición de la velocidad. Algunos astrónomos de Berkeley dudaban incluso de la existencia del dipolo. Las objeciones teóricas se basaban en el hecho de que nuestros hallazgos ponían en tela de juicio un axioma fundamental de la cosmología moderna: la ley de Hubble. Según ésta, establecida por Edwin Hubble en la década de 1920, la expansión constante del espacio es responsable de la correlación lineal entre la distancia a una galaxia y la velocidad de su alejamiento. Una galaxia puede tener una velocidad peculiar independiente de la expansión cósmica, pero se suponía que esta velocidad era insignificante, como varios expertos me habían asegurado antes de nuestro experimento con el U-2. ¿Cómo podían las galaxias moverse tan rápidamente como afirmábamos y atenerse no obstante a la ley de Hubble? Es decir, si las galaxias tendían a moverse a velocidades extremadamente elevadas en direcciones al azar, entonces debía de haber mucha mayor «dispersión» con respecto a la línea central en el diagrama de Hubble, y la relación no podía ser tan rígida como se había sostenido.

La consecuencia de que nuestra galaxia estuviese siendo arrastrada por una masa distante inconcebiblemente enorme constituía, por supuesto, un problema importante, ya que ningún modelo teórico del universo incluía tales estructuras, que, por otra parte, nunca habían sido detectadas. Si tal fuente gravitatoria masiva existía, se objetaba, ¿por qué no desgarraba nuestra galaxia? Los astrónomos habían catalogado numerosas galaxias desgarradas por encuentros cercanos con otras galaxias. Semejantes cataclismos demuestran que una galaxia es como un montón de plumas: si se la perturba, se dispersa. En los años setenta resultaba difícil comprender por qué una atracción gravitacional lo suficientemente poderosa para acelerar la Vía Láctea a 600 kilómetros por segundo no podía también destruirse por el efecto de marea. Y la Vía Láctea no era la única galaxia con esta velocidad peculiar. Una docena de galaxias vecinas —el Grupo Local— se movían también bajo la influencia de la estructura distante y jamás vista. Generar esta velocidad sin desbaratar el Grupo Local requeriría una concentración de masa muy grande y lejana, para que el cambio en la atracción gravitatoria a lo largo de millones de años luz fuese pequeño (lo bastante para evitar que la galaxia fuese

destruida). Años más tarde, otros astrónomos emprendieron la búsqueda de semejante estructura y la encontraron; le pusieron por nombre «*great attractor*». Pero por grande que sea, creo improbable que no existan otras. Debe de haber muchas en el universo.

En cualquier caso, en los años setenta no existía ninguna teoría que explicase cómo habían llegado a formarse tales fuentes gravitacionales masivas. Las semillas primordiales, o «arrugas», que daban origen a estructuras en el universo, eran consideradas como comparativamente pequeñas y generaban una atracción gravitatoria débil; en consecuencia, los cúmulos galácticos resultantes debían ser también comparativamente pequeños.

Todas éstas eran objeciones poderosas, y yo no tenía modo de responder a ellas. Para algunos, nos hallábamos peligrosamente cerca de poner en duda los fundamentos de la cosmología moderna. Los científicos, como es de comprender, son remisos a aceptar ideas extraordinarias si no vienen acompañadas por pruebas igualmente extraordinarias, y muchos astrónomos no consideraban que las pruebas que aportábamos lo fueran. Debo admitir que no les reprocho su cautela. Se comportaban con nosotros del modo en que Luie Álvarez siempre lo hacía cuando pretendíamos haber detectado tal o cual efecto: nos interrogaba sin piedad, a menudo de una manera brutal, para asegurarse de que habíamos puesto todos los puntos sobre las íes. En el ámbito de la ciencia es imprescindible ser así de severo. ¿Cuáles habrían sido las consecuencias de la derrota de la «fusión fría» si los físicos no hubieran estudiado exhaustivamente las afirmaciones iniciales?

De todos modos, no fuimos los primeros astrofísicos en ser interrogados sin piedad por desafiar el concepto ortodoxo de homogeneidad cósmica. Vera Rubín ya nos había arrebatado ese honor... un cuarto de siglo antes.

Un día del mes de diciembre de 1951, que estaba nevando, Rubín, de 23 años, y su marido fueron invitados por el padre de ella a una reunión de la Sociedad Americana de Astronomía (AAS) en el Haverford College, de Pennsylvania. Hacía tres semanas que había dado a luz a su primer hijo. Graduada en el Vassar College, había trabajado luego en su tesis bajo la dirección de George Gamow en la Universidad Cornell. Nunca antes había asistido a una reunión de la AAS, y ahora figuraba en la lista de los oradores. Puesto que era «una estudiante regordeta que

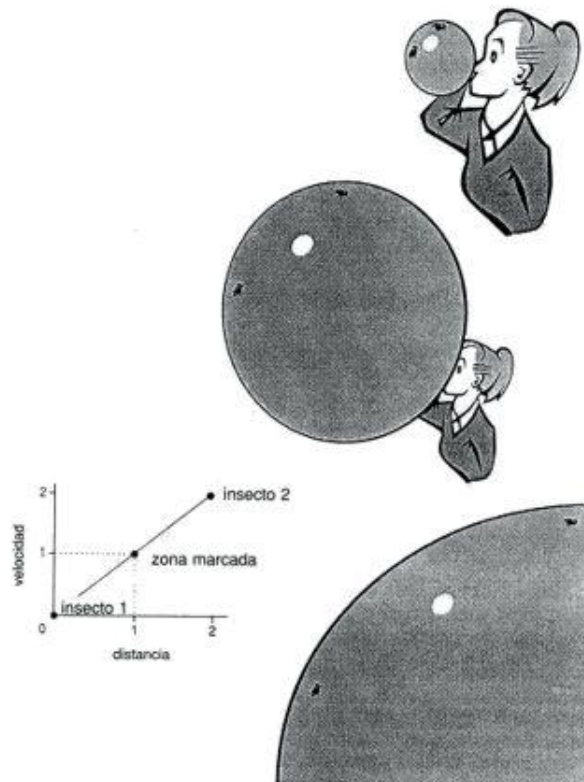
nunca había tenido nada que ponerse», según sus propias palabras, decidió comprarse un vestido azul para la ocasión. Cuando entró en el salón de conferencias, estudió los rostros de los asistentes con ansiedad. No conocía a nadie. Su padre y su marido tomaron asiento. Ella empezó a hablar. Aunque el título de su charla era «La rotación del universo», el organizador de la reunión pensó que sonaba demasiado extraño y lo cambió por el de «Rotación de la metagalaxia».

Rubin planteó una pregunta aparentemente simple: ¿explica adecuadamente el flujo de Hubble cómo la densidad cósmica de las galaxias cambia con el tiempo? Si a medida que el espacio se expande las galaxias se «mueven» apañándose unas de otras —del modo en que las manchas de un globo se apartan a medida que lo hinchamos—, ¿tienen las galaxias movimientos adicionales no relacionados con la expansión? Retrospectivamente, era una pregunta razonable. La misma rotación de la Tierra no es una rotación simple en torno a un eje norte-sur; el planeta también sufre oscilaciones cíclicas más sutiles que se repiten cada tantos miles de años. (Por ejemplo, a causa de una oscilación conocida como «precesión de los equinoccios», la Estrella del Norte, o Polaris, es desplazada cíclicamente de su posición —y luego es restablecida en ella— como el punto alrededor del cual rota el cielo septentrional.) De igual modo, Rubin quería saber si las galaxias se mueven independientemente del flujo de Hubble. Era como preguntar si las manchas de un globo se mueven por sí solas a través de su superficie a medida que éste se expande.

Para averiguarlo, analizó más de cien galaxias a fin de ver si se alejaban a la velocidad exacta predicha por el flujo de Hubble. Según la ley de Hubble, que relaciona el desplazamiento al rojo con la distancia, el desplazamiento al rojo de una galaxia —que revela su ritmo de alejamiento— es proporcional a su distancia. Así, Rubin comparó los desplazamientos al rojo de las galaxias (medidos por otros astrónomos) con sus distancias (que ella estimó según su brillo); ciertamente, constituía una maniobra arriesgada que ella basó en el supuesto no probado de que todas las galaxias del mismo tipo tienen un brillo absoluto similar. Su objetivo era ver si las galaxias se movían independientemente del efecto de la expansión del universo. Encontró que así era, en efecto.

Algunas galaxias, dijo al público, se movían mucho más rápidamente o más lentamente de lo que habrían debido hacerlo si la ley de Hubble fuera inmutable. (De igual modo, más tarde nosotros encontramos que nuestra galaxia, la Vía Láctea, se mueve mucho más rápidamente de lo que se había sospechado hasta entonces, esto es, a 600 kilómetros por segundo en una dirección angular al flujo de Hubble.) Estas noticias fueron sorprendentes.

Modelo del espacio en expansión



La hipótesis de Rubin era osada: implicaba que la ley de Hubble no era sacrosanta y que el flujo de Hubble estaba lejos de ser suave y parejo. Su charla, recuerda Rubin, fue «muy, muy mal recibida... Se armó una gran batahola». Lo que más desconcertaba a la gente era que su análisis no incluyera el cálculo de error. Éste representa una estimación de error en los datos, y, por ende, una indicación del índice de variación de los resultados en el caso de que las mediciones fuesen efectuadas de nuevo. La propia Rubin admite con modestia que en aquel tiempo no sabía cómo efectuar un cálculo de error. «Pensaron que mi análisis era poco sólido,

y sin duda lo era», reconoce. Para atemperar los ánimos, un distinguido oyente, descendiente del famoso físico Karl Schwarzschild, se puso en pie y dijo las cosas anodinas que en tales circunstancias los investigadores maduros suelen decir a los jóvenes estudiantes. «Ha sido una exposición muy interesante —dijo—. Tal vez no tenga suficientes datos, pero era algo interesante de hacer.» Un crítico insistió en preguntarle: «¿Por qué no incluye un cálculo de error?» La respuesta de Rubin fue: «Bien, toda la historia es tan... nebulosa». Se oyeron varias carcajadas. También ella se echó a reír. «De modo que todo terminó en una anécdota simpática.» Después del café, los Rubin se marcharon a su casa. «No creo que las cosas hayan salido mal en absoluto —recuerda haber dicho ella—. Resultó una conferencia muy buena; si la hubiera memorizado, podría haberla dado diez años más tarde. Simplemente me fui a casa y cuidé de mi hijo.»²⁸ Los periódicos se hicieron eco de la historia. El *Washington Post* publicó un artículo en portada con el encabezamiento: «Joven madre encuentra centro de la creación».



Vera Rubin, que indicó en su tesis de graduación que las galaxias tenían velocidades peculiares. (Carnegie Institute of Washington.)

²⁸ Décadas más tarde, Rubin tropezó con un astrónomo que en 1951 había formado parte del comité de la AAS encargado de seleccionar los oradores. Según le confesó, en el seno del comité se había producido una «discusión muy seria» a la hora de decidir si se le permitía hablar.

Las revistas de astronomía no quisieron publicar el trabajo de Rubin y éste prácticamente fue ignorado por sus colegas. El astrónomo tejano-francés Gerard de Vaucouleurs, sin embargo, la tomó en serio. Le interesaba la posibilidad de que el universo fuese menos homogéneo de lo que se pensaba, es decir, que la densidad galáctica pudiera ser mucho mayor en algunos lugares. Sospechaba que tales regiones densas podían ejercer suficiente atracción gravitacional para atraer ciertas galaxias a las velocidades de las que Rubin informaba.

La idea de los cúmulos de galaxias no era nueva. Ya en la década de 1930 Fritz Zwicky, un astrónomo suizo que trabajaba en CalTech, había sugerido la posibilidad de que las galaxias se unieran en cúmulos tan grandes como diez millones de años luz²⁹, y esas «células de cúmulos» atravesaran el universo del mismo modo que «la espuma de jabón divide la espuma de jabón». Pero Vaucouleurs hablaba de cúmulos mucho más densos que los concebidos por Zwicky. Como reconoció más tarde, la obra de Rubin le inspiró el deseo de publicar sus datos indicando que al otro lado del hemisferio galáctico septentrional existía una «corriente» de galaxias. Las galaxias del llamado cúmulo de Virgo se situaban principalmente dentro de un disco enorme, al que llamó «supercúmulo». «Se me ocurrió que este cinturón de galaxias tenía que ser una asociación física real», no una coincidencia, dijo Vaucouleurs en el transcurso de una entrevista concedida a Alan Lightman en los años ochenta. «Tuve el incentivo, o el coraje, de dar a conocer esto porque Vera Rubin acababa de publicar un resumen de su tesis de doctorado.» A causa de la hostilidad que había despertado su idea, Rubin no volvió a tocar el tema durante dos décadas. «Pero — dijo Vaucouleurs—, probablemente yo sea más batallador, y si está allí, diré que lo está.» No obstante, la comunidad astronómica reaccionó ante su trabajo con un «completo y significativo silencio».

Los comentarios de los críticos de Vaucouleurs están reflejados en la pizarra de su despacho en la Universidad de Texas en Austin. Incluso aparece una cita de Zwicky, quien en 1959 habría dicho: «Los supercúmulos no existen».

Y ésta fue, durante años, la visión ortodoxa contra la que chocaron nuestros resultados iniciales con el U-2.

²⁹ El supercúmulo más grande conocido en la actualidad tiene más de 50 veces ese tamaño.

Entre las muchas objeciones planteadas a nuestros hallazgos, una era incuestionablemente válida y no teníamos más remedio que responder a ella. ¿Podía la velocidad extrema de la galaxia ser una ilusión provocada por un efecto «local», astronómicamente hablando? Nuestras observaciones solamente habían estado dirigidas al hemisferio norte. «Si ustedes ven la misma anisotropía en el hemisferio sur —decían nuestros críticos—, entonces les creeremos.»

De modo que fuimos al sur. Si en el hemisferio meridional veíamos el mismo efecto de dipolo, los críticos tendrían que guardarse sus opiniones para sí.

Desde el siglo XIX Sudamérica se había convertido en una base de creciente importancia para los astrónomos. Fue allí donde los astrónomos de Harvard fotografiaron las «variables Cefeidas», lo que permitió a Henrietta Leavitt deducir la relación período-luminosidad de las Cefeidas, la llave que abrió la puerta al universo en expansión. Más recientemente, en 1987, los astrónomos descubrieron y estudiaron la primera supernova cercana a nuestra galaxia en siglos, y que no es visible desde el hemisferio septentrional.

En un comentario, la revista británica *Nature* admitió que sería prudente efectuar los vuelos del U-2 desde el hemisferio sur, pero advertía que, considerando las difíciles relaciones que a lo largo de la historia habían mantenido nuestro país y América del Sur, «quizá los U-2 aún no sean bienvenidos fuera de los Estados Unidos». Sin embargo, el verdadero obstáculo para nuestra expedición sudamericana no era la política, sino el dinero. En enero de 1977 le escribí a Hans Mark informándole de que había pedido a la NASA que nos financiase un viaje al hemisferio meridional, pero que la respuesta de este organismo «hasta ahora ha sido suspender todos nuestros vuelos U-2 a partir de septiembre de 1977». Uno de los motivos, expliqué, era que el control de dichos aviones estaba siendo transferido de una rama de la NASA a otra. Además, los funcionarios se preguntaban por qué queríamos detectar de nuevo el dipolo si ya lo habíamos hecho una vez. «Actualmente — me lamenté— nuestro caso está siendo revisado en las instalaciones de la NASA, y, mientras esto ocurre, *no obtenemos datos.*»

Fue un período frustrante. Pensé que, si la expedición propuesta presentaba un abanico más amplio de experimentos, tal vez consiguiéramos que la NASA se interesara por nosotros una vez más. Quizá pudiésemos atraer a otro equipo

científico interesado en compartir los vuelos de nuestro U-2 para sus fines particulares. «Por favor, averigua si existe alguien que necesite hacer vuelos en el hemisferio sur —le pedí a Mark—. Nuestro equipo es compatible con un gran número de instrumentos, de modo que podríamos compartir el mismo vuelo o incluso hacer vuelos alternados.» Así es como se llevan a cabo muchos trabajos científicos a finales de este siglo: se pasa tanto tiempo solicitando fondos y llenando formularios como en el laboratorio. En nuestro caso, el pedido de fondos valió la pena; el dinero finalmente llegó. Compartimos el U-2 con otros experimentos.

Pero entonces surgió otra cuestión: ¿a qué lugar del hemisferio sur iríamos? Nuestras primeras opciones fueron Australia, Argentina y Chile. Australia fue pronto descartada, pues estaba demasiado lejos. El U-2 no tenía suficiente autonomía de vuelo; habríamos tenido que desmontarlo y llevarlo en un transporte aéreo, lo que suponía demasiados gastos. Argentina y Chile resultaban muy atractivos, pues quedaban muy por debajo del ecuador y, por ende, ofrecían una visión amplia del cielo meridional. Desgraciadamente, ambos países estaban al borde de una guerra. Resultaba demasiado peligroso. Finalmente, optamos por Perú. Tampoco era una solución ideal; en 1975 el país había sufrido un golpe militar y desde entonces estaba sumido en el caos político, social y financiero. Con todo, era lo mejor que podíamos conseguir en aquel momento.

«Rodeada de áridas colinas, Lima se asienta, desolada, en el lugar donde el inhóspito desierto peruano se encuentra con el mar», escribió Milton Viorst en el *Atlantic Monthly*, en 1978. «Un viento frío procedente del Pacífico mantiene la ciudad envuelta en nubes grises la mayor parte del año. Lima casi siempre está húmeda, pero nunca llueve, de modo que la penumbra es apenas iluminada por algún árbol o una flor ocasional.» El explorador Francisco Pizarro la llamó «la Ciudad de los Reyes», aludiendo a su glorioso pasado, cuando los Andes relucían con un oro aún sin esquilmar. A finales del siglo XX casi todo el oro había desaparecido y el país luchaba por mantener solvente su flota pesquera. Lima se había convertido en una de las mayores concentraciones urbanas del Tercer Mundo, con una población de cinco millones de almas.

El piloto del U-2 Bob Ericson recuerda haber llegado con un grupo de avanzada a fin de examinar las instalaciones del aeropuerto Jorge Chávez, situado sobre la costa,

cerca de Lima. Lo primero que hizo fue ir, en compañía de un colega, a la embajada de los Estados Unidos, donde hablaron con el agregado aeronáutico. Les informaron que llevaría «semanas» hacer los arreglos para el U-2. Según el relato de Ericson: «El funcionario de la embajada nos dijo: "Vuelvan en unos quince días". De modo que regresamos al hotel y nos emborrachamos. Despertamos por la mañana y, entre los vapores de la resaca, nos preguntamos: "Pues bien, ¿qué hacemos ahora?" Así es que yo y ese muchacho, Jack Well, fuimos a la base aérea dispuestos a reconocer el terreno. Encontramos al encargado de la oficina de operaciones en el campo de aviación. Me dijo: "Le he conseguido un hangar. Sí, he conseguido esto y lo de más allá...". Nos acompañó y nos presentó al jefe de la Armada peruana. Se trataba de la persona con la que el agregado aeronáutico trataba de concertar una reunión. Tomamos té o algo que se le parecía. El hombre dijo: "Sí, sí, arreglaremos esto, haremos esto otro y podemos hacer aquello...". Regresamos al hotel. Esa noche nos emborrachamos de nuevo, y al día siguiente volvimos a la embajada y le dijimos al agregado aeronáutico: "Vamos a dejar la ciudad, hemos planeado y proyectado todo; ya no lo necesitamos."»

El material científico del U-2 fue enviado por un transporte militar. Casi todos los componentes del U-2 son especiales y requieren que sean embarcados con él, como el combustible, el tren de aterrizaje, etcétera. Como todo ello debía pasar por la aduana, tenía que ser enviado a Perú de antemano. El combustible iba en tambores de 190 litros que fueron ubicados dentro del avión. El equipo estaba integrado por unas dieciocho personas de la NASA y de la Lockheed, y era dirigido por James Cherbonneau, ex director del proyecto U-2 de la NASA y él mismo ex piloto del avión. Los preparativos y la logística me recordaban un safari o una expedición.

En el aeropuerto Jorge Chávez, la aviación comercial ocupaba un extremo del campo, y las instalaciones militares, el otro. Establecimos nuestra base cerca de estas últimas, donde la presencia de personal de los Estados Unidos era poco más que una chabola de dos habitaciones. Era la base para el agregado aeronáutico de los Estados Unidos y una vía para el correo diplomático con destino a Sudamérica.

Sobre el tejado de la chabola instalamos un polarímetro automatizado, que exploraba las pruebas de polarización (una dirección preferida de vibración de la radiación) en la radiación cósmica de fondo. Este experimento, que era el proyecto

de tesis de mi discípulo graduado Phil Lubin, proporcionaría una verificación importante de la fuente del dipolo. Si la radiación estaba polarizada, entonces sabríamos que se trataba de una señal cósmica. Los estudios de polarización funcionan mejor en climas secos, por lo que Perú parecía el lugar ideal para las observaciones de Phil. Por desgracia, las mediciones se vieron frustradas, al menos en parte, por la elevada humedad, la nubosidad frecuente y el polvo. Debido a una coincidencia por demás exasperante, mientras estuvimos allí —se trataba de un desierto— llovió por primera vez en ocho años. Aunque el asfalto apenas si se humedeció, los periódicos dieron cuenta del suceso con grandes titulares.

Trabajar en Perú no era nada parecido a hacerlo para la NASA-Ames. Por ejemplo, en Perú se necesitaban tres semanas para conseguir repuestos. La gente enfermaba y se sentía como perdida. Peor aún, nuestro equipo sufrió lo indecible al cruzar el ecuador, pues en los trópicos la humedad es mucho mayor, y cuando el avión abandonó el aire frío para descender sobre Lima el equipo, casi congelado, condensó la humedad. Como resultado de ello el agua se acumuló dentro de la pequeña y sensible guía de ondas que conecta los cuernos del radiómetro diferencial de microondas con el receptor. Tuvimos que separar este último para secarlo. Mientras lo hacíamos, las luces del aeropuerto se apagaron debido a un fallo energético. Y allí estábamos, en medio de la oscuridad, sudorosos y de pie sobre las escaleras sosteniendo en nuestras manos mecanismos de lo más delicado. Alguien encontró una linterna y a duras penas continuamos con nuestras reparaciones. Separamos las partes mojadas, las pusimos a secar y luego nos marchamos al hotel a descansar un poco.

Muy tarde, esa misma noche, Phil y yo cogimos nuestro Volkswagen alquilado y volvimos al aeropuerto para ver si los instrumentos ya estaban secos. Al llegar allí tuvimos que pasar un control de la Armada peruana. Después de mostrarle nuestros pases al guardia, nos dirigimos al hangar donde se encontraba el U-2. De pronto, de la oscuridad surgió el grito de «¡Alto!», seguido por un sonido aterrador. Nuestros faros iluminaron a un infante de marina de unos diecisiete años que nos apuntaba con su metralleta. Pisé el freno. Nadie le había advertido que iríamos. (En un país donde los golpes de estado son una parte ocasional de los procesos políticos, los soldados suelen ponerse nerviosos con suma facilidad.) Le mostramos nuestros

pases y le explicamos que formábamos parte del equipo del U-2. Nos hizo señas de que siguiésemos adelante. Llegamos al hangar. Los instrumentos estaban secos, de modo que volvimos a colocarlos en su lugar y los probamos. Funcionaron. El U-2 pronto nos traería los datos que necesitábamos para demostrar que nuestros anteriores resultados eran válidos, o, en caso contrario, para mostrarnos que habíamos sido víctimas inocentes de un efecto hemisferio norte/sur en la anisotropía de la radiación cósmica de fondo.

Una vez que el programa de vuelos del U-2 fue completado, Constantina y yo hicimos un viaje que nos sirvió para recordar la fascinación que la humanidad siempre ha sentido por el cosmos. Estábamos impacientes por conocer la espectacular geografía de Perú y sus principales yacimientos arqueológicos, de modo que visitamos Cuzco, la capital de los incas precolombinos, y lugares tan remotos como la fortaleza de Sacsahuamán. La ingeniería inca es verdaderamente imponente, con sus enormes piedras traídas desde canteras lejanas y unidas unas a otras de un modo tan perfecto (y sin utilizar ningún tipo de argamasa) que uno no podría meter en las juntas ni la hoja de un cuchillo. Nuestro guía se mofaba de los que especulaban con la posibilidad de que semejante arquitectura fuese obra de «antiguos astronautas». Uno de los momentos más extraordinarios del viaje lo vivimos cuando tomamos el tren que une Cuzco con Machu Picchu. Ahí nos dimos cuenta del importante papel que había desempeñado la cosmología en la mitología incaica, como en general ocurre con todas las grandes civilizaciones antiguas.

Cuando el gobernante inca Pachacutí mandó reconstruir Cuzco a mediados del siglo XV, dividió la ciudad en dos sectores: norte y sur. Más tarde, el casco viejo fue dividido en cuartos, simbolizando con ello las cuatro direcciones del imperio y las cuatro esquinas del cosmos. En el corazón de la ciudad, está el Coricancha, o Templo del Sol, en cuyos santuarios interiores había varias magníficas imágenes de oro representando al sol. Un componente importante del ritual de los incas era la celebración de los solsticios de verano e invierno.

De Machu Picchu, tomamos otro tren hasta el lago Titicaca, en el altiplano, y allí visitamos a los indios uro, que viven en islas flotantes construidas con cañas. Por fin, encontramos un aeroplano que nos llevó a Arequipa y, luego, a Lima. Una vez

en el aeropuerto examiné nuestro polarímetro, lo reajusté para que explorara una parte nueva del cielo, y cambié las cintas magnéticas por otras nuevas.

Un par de semanas más tarde dimos por terminados los vuelos del U-2 y el experimento del polarímetro, y regresamos a los Estados Unidos con una verdadera montaña de datos. Comenzamos a analizarlos. No me llevó mucho tiempo confirmar que el dipolo era, en efecto, de origen cósmico y no un fenómeno local, y exactamente tal como lo habíamos descrito en el hemisferio septentrional. Conclusión: vivíamos en un universo muy diferente del que habíamos aceptado hasta entonces.

En la cosmología acababa de producirse una revolución y me sentía orgulloso de haber desempeñado un papel en ella. Habíamos derribado la vieja teoría de que las galaxias están distribuidas de modo uniforme por todo el universo y planteábamos un panorama completamente nuevo. Algunas regiones del universo están virtualmente desprovistas de galaxias y existen como vastas extensiones de nada; en otras, miles de millones de galaxias forman inmensos supercúmulos galácticos que ejercen una enorme influencia gravitacional sobre otras galaxias distantes cientos de millones de años luz. Nuestra propia Vía Láctea, como descubrimos, es una de esas «víctimas galácticas» y está siendo arrastrada a 600 kilómetros por segundo hacia un gran supercúmulo que aún no hemos detectado.

Esta descripción del universo —descomunales concentraciones galácticas alternadas con vacíos inimaginables— es muy distinta a la aceptada por los astrónomos a principios de los años setenta. Esta nueva visión hace que sea más urgente comprender los mecanismos que formaron las estructuras cósmicas después del Big Bang. Las conglomeraciones masivas de galaxias deben de haber crecido a partir de semillas cósmicas presentes en los primeros instantes del universo. Esas semillas debían evidenciarse como fluctuaciones en la radiación cósmica de fondo (fluctuaciones que representan regiones primordiales de densidad ligeramente más elevada). Estas arrugas en el espacio-tiempo habrían desencadenado la condensación local de materia bajo la influencia de la gravedad, produciendo embriones de galaxias y supercúmulos. Hasta ahora, ninguna de esas semillas ha sido vista. La radiación cósmica de fondo, hasta donde nosotros o cualquier otro haya podido determinar, era completamente uniforme en todas las direcciones. Esto

sólo podía significar una cosa: todas las teorías cosmológicas estaban erradas, o nadie había buscado seriamente las semillas.

Yo estaba convencido de que la teoría del Big Bang era válida y las galaxias y estructuras galácticas se habían formado por colapsos gravitacionales sobre semillas galácticas. Por lo tanto, preparé mi mente para una mejor y más amplia búsqueda, para llevar hasta el límite las capacidades técnicas y humanas. La cosmología moderna descansaba sobre cuatro pilares: el oscuro cielo nocturno; la composición de los elementos; el universo en expansión y la existencia de la radiación cósmica de fondo. Las arrugas —si las encontrábamos— significarían un quinto pilar. Su descubrimiento podría convertirse en el más trascendental acontecimiento de la cosmología moderna.

A finales de los años setenta pensaba que la búsqueda de las arrugas no nos llevaría demasiado tiempo —cinco años, quizá, a lo sumo diez.

Capítulo 8

El corazón de la oscuridad

Vera Rubín había intentado, sin éxito, persuadir a los astrónomos de que muchas galaxias muestran un movimiento inusual o velocidades peculiares superpuestas en la expansión general del universo de Hubble. En diciembre de 1950, cuando la joven de 22 años Vera Rubin presentó sus datos en el transcurso de una reunión de la Sociedad Americana de Astronomía en el Haverford College, Pennsylvania, pocos estaban preparados para escucharla. Su mensaje era tan contrario al saber recibido que la audiencia hizo oídos sordos a sus datos y sus argumentos. Posteriormente, Rubin dejó de estudiar las velocidades peculiares y pasó los años cincuenta y sesenta criando a sus hijos, completando su doctorado y trabajando con Geoffrey y Margaret Burbidge en la Universidad de California en San Diego. En sus observaciones anteriores se había basado en desplazamientos al rojo de las galaxias determinados por los astrónomos; con los Burbidge aprendió a reunir sus propios desplazamientos al rojo utilizando para ello un gran telescopio.

Más adelante, trabajando con Kent Ford en el observatorio nacional de Kitt Peak, Arizona, no lejos de donde Slipher había efectuado sus famosas mediciones del desplazamiento al rojo de las galaxias, Rubin se embarcó en una serie de observaciones que, una vez más, socavarían las visiones ortodoxas del universo. Pero en esta ocasión el notable descubrimiento de Rubin fue aceptado de inmediato y entró a formar parte del rompecabezas más atormentador de la cosmología.

En noviembre de 1977, Rubín y Ford comenzaron a poner a prueba una nueva técnica para estudiar el movimiento de las estrellas dentro de las galaxias espiral, de las cuales nuestra Vía Láctea es un ejemplo. Las galaxias espirales aparecen como discos planos en los que la mayor parte de las estrellas están concentradas en un centro extremadamente brillante y son más raras a medida que se alejan hacia la periferia oscura. Todas las estrellas de los bordes giran en la misma dirección alrededor del centro masivo, constituyendo una galaxia en rotación. Esto es análogo al sistema solar, en el que los planetas giran en torno de nuestro Sol masivo, bajo su influjo gravitacional.

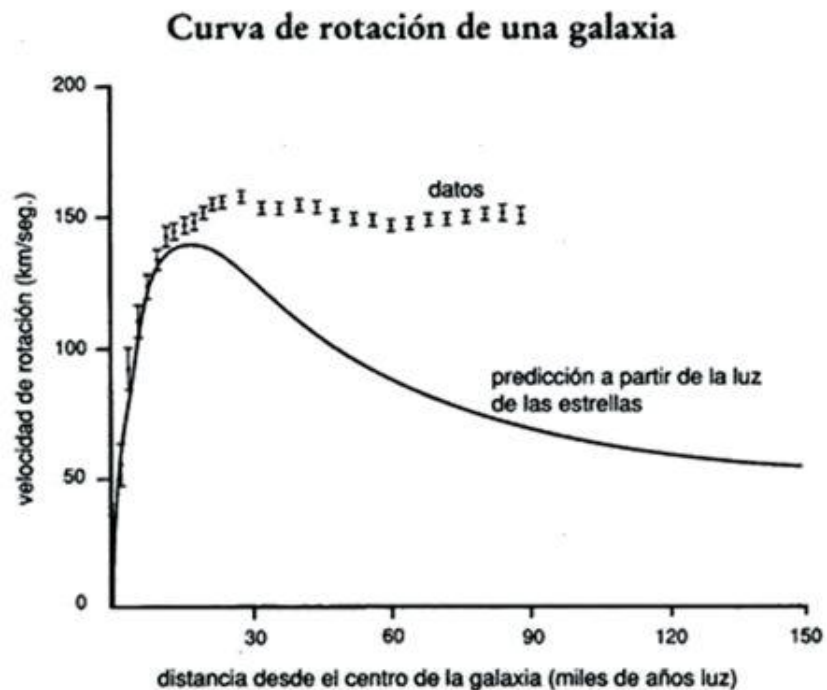
Ford había desarrollado un intensificador de imagen con el que él y Rubin registraban el espectro de toda una galaxia, desde las estrellas más brillantes cercanas a su centro hasta los bordes más tenues de los brazos de la espiral, utilizando *placas fotográficas*. Consiguieron determinar la velocidad de las estrellas a todas las distancias partiendo del centro. Constituía un gran hallazgo. La ley de la gravedad de Newton hace una predicción sencilla pero firme sobre la velocidad de esas estrellas, según el lugar que cada una de ellas ocupe en la galaxia.

Uno de los grandes triunfos de la cosmología fue la extrapolación de la ley de Newton del movimiento terrestre y la gravedad (la manzana que cae) a la Luna y los planetas. Según Newton, los planetas ubicados en la periferia del sistema solar (como Plutón) trazan sus órbitas a velocidades muy inferiores a las de aquellos que están más cerca del centro del Sol masivo (como Mercurio). Esta predicción fue confirmada por la observación: Plutón gira a más de un millón y medio de kilómetros por hora, y Mercurio a una velocidad diez veces mayor. Lo mismo sería válido para las galaxias espirales: cuanto más lejos esté una estrella del centro, tanto menor será la velocidad de su órbita.

Ansiosa por poner a prueba su técnica la primera noche, Rubin dejó a Ford operando el intensificador y el telescopio tan pronto como fue expuesta la primera placa fotográfica, y corrió al cuarto de revelado del observatorio. Rubin quedó sorprendida ante lo que vio: la relación predicha entre la velocidad de una estrella y la distancia a la que se encuentra del centro de la galaxia, no era válida. Los resultados demostraban que incluso las estrellas más periféricas de la galaxia giraban casi a la misma velocidad que las cercanas al centro. Sólo había dos explicaciones posibles: o bien la ley de la gravedad de Newton fallaba a escala galáctica, lo que habría sacudido los fundamentos mismos de la física, o las galaxias no son lo que parecen.

Cuando la observamos, la masa galáctica parece que se concentra hacia el centro y disminuye a medida que nos acercamos a los bordes. Sin embargo, las estrellas de la periferia se mueven como si estuvieran sumergidas en una masa mucho mayor; tanto, de hecho, que esta masa no vista debe de extenderse mucho más allá de la periferia. Si tal inferencia es correcta, las galaxias no son lo que parecen; la parte visible —las estrellas que vemos— debe de hallarse sumergida en una inmensa

cantidad de masa invisible. Enfrentados con tan dramática conclusión, Rubin y Ford se apresuraron a revisar sus mediciones. En cada caso que examinaban aparecían las mismas pautas: las estrellas de la periferia de las galaxias espirales se mueven demasiado velozmente, siempre y cuando, claro, lo que vemos de las galaxias represente toda la masa presente. Después de recolectar datos de diez de estas galaxias, Rubin y Ford estaban listos para publicar su descubrimiento, y así lo hicieron en 1978. La materia no vista, que por inferencia debe de ser un componente importante de las galaxias, fue llamada «materia oscura». Los astrónomos tuvieron que aceptar el hecho de que aquello que durante generaciones habían estado viendo a través de sus telescopios, era una fracción de la materia del universo; las estrellas que iluminan nuestro cielo nocturno tal vez no sean sino una parte pequeña de aquello que la creación produjo.



Las barras muestran las mediciones de la velocidad de estrellas que se encuentran alrededor de una galaxia espiral, mientras que la línea muestra las velocidades esperadas al considerar que la luz de las estrellas permite determinar toda la masa que constituye la galaxia. La diferencia revela la existencia de materia oscura en el universo en una cantidad mucho mayor que la materia que emite luz. (Christopher Slye.)

La elevada calidad de los datos aportados por Rubin y Ford fue, sin duda alguna, un factor importante para que la realidad de la materia oscura fuese rápidamente aceptada. Pero hubo otras razones. Durante años aparecía cada tanto un científico que sugería que los halos oscuros que rodean las galaxias espirales son capas de materia invisible³⁰. Sin embargo, semejante noción estaba tan fuera de la teoría convencional que nunca fue tomada muy en serio. El astrónomo suizo Fritz Zwicky venía sosteniendo desde la década de 1930 la existencia de materia invisible, basándose en el inusual movimiento de las galaxias. Entonces, en 1974, Jeremiah Ostriker, James Peebles y Amos Yahii, de la Universidad de Princeton, predijeron que debía de existir algo similar a la materia oscura. Sus cálculos sobre la estabilidad gravitacional de las galaxias espirales suponían que tales estructuras se fragmentarían cuando rotasen debido a las vibraciones provocadas por su composición dispar. Sin embargo, si el disco visible estaba sumergido en una masa mucho mayor (invisible), entonces tales vibraciones serían amortiguadas y, por consiguiente, la espiral permanecería estable. Así, conjeturaron que la existencia misma de nuestra Vía Láctea implica la realidad de materia invisible.

En el ámbito de la ciencia ocurre en ocasiones que diferentes hilos de prueba de un mismo fenómeno se entrelazan para dar forma a una argumentación convincente. Ése precisamente fue el caso de la materia oscura. Durante los dos años siguientes a la publicación del artículo de Rubin y Ford informando sobre la inesperada velocidad de las estrellas periféricas y en las galaxias espirales, la materia oscura se convirtió en una obsesión para los cosmólogos. Los problemas inmediatos consistían en averiguar cuánta materia oscura había y en qué consistía. Por supuesto, hay también cuestiones más profundas que son fundamentales para nuestra comprensión del universo: ¿qué papel desempeña la materia oscura en la formación de las galaxias?, ¿qué implica dicha materia para la formación del universo?, ¿cuál es el destino del universo? De un modo inevitable, estas últimas cuestiones se entrelazan con los problemas principales planteados por el presente libro,

³⁰ En la actualidad los astrónomos piensan que los halos galácticos tienen 30 veces el diámetro de cada galaxia visible. Si estos halos fuesen visibles sin necesidad de aparato alguno, entonces nuestro cielo sería aún más espectacular de lo que es; desde la Tierra podríamos ver más de mil galaxias con halos más grandes que la luna llena.

particularmente con la búsqueda de las semillas primordiales a partir de las cuales se desarrolló nuestro universo.

Lo que le ocurre al universo está determinado por sus contenidos, tal como habrían querido Mach y Aristóteles. Si en el universo hay suficiente masa, algún día las fuerzas gravitatorias serán lo bastante fuertes para llevar la expansión posterior al Big Bang a detenerse e incluso invertirla, conduciéndolo a una catastrófica Gran Implosión. Si, por el contrario, la masa para que esto ocurra es insuficiente, la expansión continuará eternamente y la temperatura del universo descenderá de manera permanente. A menudo se llama a esto el Gran Frío. Cualquiera que sea el destino que nos aguarda —y nadie está seguro de cuál pueda ser—, aún nos queda mucho tiempo por delante: al menos 50.000 millones de años. Sin embargo, tal vez podamos librarnos de tan desagradables perspectivas. Si la densidad de masa en el universo llega precisamente a un equilibrio en el límite entre el camino al último colapso y la expansión indefinida, entonces la expansión de Hubble puede hacerse cada vez más lenta, quizá bordear la costa hasta detenerse, pero nunca llegar a invertirse. Esta especie de estado de felicidad de la materia es llamado la «densidad crítica».

Se calcula que la densidad crítica es de alrededor de cinco millonésimos de billonésimo de billonésimo ($5 \cdot 10^{-30}$) de gramo de materia por centímetro cúbico de espacio, o alrededor de un átomo de hidrógeno por cada metro cúbico, lo que resultaría ciertamente muy poco en una habitación estándar³¹. Suena inconcebiblemente pequeño, y lo es. Se trata de un cifra media y apenas nos da una idea de los extremos que abarca nuestro universo, que van desde densidades increíblemente altas en algunas regiones, al vacío total en otras. Si conociéramos la densidad crítica, ello significaría que, al menos en teoría, podríamos empezar a trazar un esbozo de nuestro futuro. Todo lo que tenemos que hacer es calcular toda la masa del universo y comparar el resultado con la densidad crítica. La proporción de la densidad actual de la masa del universo con respecto a la densidad crítica, se conoce, de manera inquietante, por la última letra del alfabeto griego: Omega. Una Omega menor de 1 conduce a un universo abierto (el Gran Frío), en tanto que si es

³¹ Este valor no es preciso puesto que no conocemos muy bien la expansión de Hubble.

mayor de 1 conduce a un universo cerrado (la Gran Implosión). Un Omega igual a 1 produce un universo plano.

Los términos «plano», «abierto» y «cerrado» se refieren a la curvatura del espacio. En 1915 Einstein presentó su teoría general de la relatividad, según la cual la gravedad es provocada por la curvatura del espacio-tiempo. Einstein creía que el universo es tan masivo que curva gravitacionalmente el espacio sobre sí mismo, semejando una esfera. El resultado, decía, es un universo ilimitado (que no tiene límites), pero finito: si uno conduce una nave espacial en línea recta durante miles de millones de años, nunca llegará a los límites del cosmos sino que, con el tiempo, regresará al punto de partida. Esto se debe a que el espacio se curva sobre sí mismo, y ese hipotético astronauta habría «circunnavegado» el cosmos de igual modo que los primeros exploradores circunnavegaron el globo.

Si esto resulta difícil de creer, imaginemos cómo debe de haber asombrado a aquellos que circunnavegaron la Tierra con Magallanes, quienes suponían que el planeta era plano. Habían partido desde Europa y viajado a través de un océano aparentemente plano para, al cabo de tres años, regresar nuevamente a Europa. La razón de ello, claro está, es que la Tierra no es plana sino redonda, y la nave de Magallanes se había desplazado en círculo. Hoy en día, a muchas personas la noción de un universo curvo les suena tan extraña como a aquellos marineros la idea de que la Tierra era redonda.

En contraste, un universo abierto es curvo, pero curvo de un modo opuesto en direcciones ortogonales, como una silla de montar, de manera que nunca se cierra sobre sí. En un universo abierto una nave espacial que viaje en línea recta nunca volvería a su punto de partida. El espacio en un universo plano es tan plano como en un espacio euclidiano, pero con pequeñas ondulaciones. El universo plano es básicamente liso, pero con arrugas dispersas provocadas por concentraciones locales de masa (la Tierra, la Luna, el Sol, por ejemplo), como la superficie de una lámina de caucho cubierta de trozos de mármol. Este universo plano, casi euclidiano, es el modelo que Einstein y De Sitter formularon en 1932.

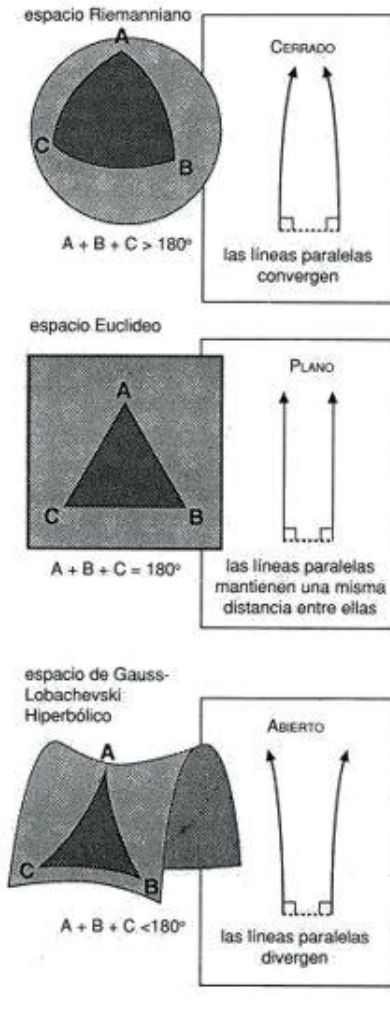
Lo que nunca debe olvidarse es que la forma, la masa y el futuro del universo están inextricablemente ligados; no constituyen tres temas separados sino uno solo. Estos

tres aspectos se unen en Omega, la relación de la actual densidad con la densidad crítica como predicción del destino del cosmos.

La tarea de medir la densidad actual del universo supone un gran desafío, y la mayor parte de las mediciones hechas hasta el presente sólo aportan cifras aproximadas. Comenzamos estimando la cantidad de materia visible en forma de galaxias, a lo cual añadimos cifras de materia oscura deducidas por las observaciones de Rubín y Ford sobre la velocidad de las estrellas en las galaxias. La masa estelar y cualquier otra materia visible en el universo no equivalen más que a un uno por ciento de la densidad crítica, o quizá menos. Cuando se incluye la materia oscura en la que supuestamente están sumergidas las galaxias espiral, la cifra aumenta a poco más del diez por ciento de la densidad crítica, lo que da un Omega de 0,1 (un décimo) y un destino muy frío para el universo. Sin embargo, puede inferirse la existencia de más bolsas de materia oscura. Cuando los astrónomos midieron las velocidades relativas de pares de galaxias pensando que giraban una en torno a la otra, hallaron que el halo oscuro de una galaxia se extendía casi tan lejos como su cercana compañera de órbita, lo que implicaba más materia oscura. Este enfoque puede aplicarse a cúmulos de galaxias y supercúmulos de galaxias, y en cada caso tales estructuras celestes se mueven como si estuvieran sumergidas en envolturas cada vez más grandes de materia oscura. Además, las velocidades peculiares de galaxias de las profundidades del espacio —medidas por varios equipos de investigadores de los Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña y Australia—, requieren todavía más materia oscura. Las galaxias están siendo atraídas a enorme velocidad por masas invisibles.

Si sumamos todas las fuentes potenciales de materia oscura y agregamos la insignificante cantidad de materia visible, llegamos a una densidad media del universo cercana a la densidad crítica, es decir, un Omega aproximado de 1. (Sin embargo, existe todavía cierta incertidumbre y estos resultados son discutibles.) En cualquier caso, la materia oscura podría constituir el 99 por ciento de la materia del universo, lo que parece una apreciación moderada.

Geometría del espacio



La forma del espacio depende de la cantidad de materia que hay en él. El espacio es Riemanniano, Euclídeo o Hiperbólico (cerrado, plano o abierto respectivamente) según su densidad sea mayor, igual o menor que la densidad crítica. (Christopher Slye.)

En la década de 1970 Robert Dicke y Jim Peebles dieron diversas charlas explicando el motivo por el cual el Omega *debe* ser aproximadamente a 1. A menudo llamaban a estas charlas «El problema de lo llano». Su argumentación era, más o menos, la siguiente: sabemos que considerando sólo las estrellas se obtiene un Omega mayor de 0,01, y el hecho de que el universo no se «colapse» significa que el Omega es menor de 2. Puesto que actualmente la densidad es cercana a la densidad crítica, en el pasado debió de ser aún más aproximada. Cuanto más retrocedemos hacia el Big Bang, tanto más cerca se encuentra éste de un Omega de 1. Si nos remontamos

hasta los primeros tres minutos siguientes al Big Bang, cuando, según Gamow y Weinberg, acababan de crearse el helio y los elementos ligeros, veremos que la densidad del universo era cercana a la del agua y el Omega debía de estar a un cien millonésimo de 1. En un segundo, el Omega estaría dentro de una diez mil billonésima parte de 1 (10^{-16}). Y en el menor tiempo imaginable, el tiempo de Planck (10^{-43} segundos) —justo en el nacimiento del universo— estaría, aproximadamente, dentro de 10^{-60} de 1. Semejante proximidad a 1 hace que mucha gente piense que no se trata de una simple cuestión de azar: algo exige que el Omega sea prácticamente 1.

Una segunda razón teórica por la que el Omega debe ser casi de 1, reside en el hecho de que, en este caso, es más fácil la creación de estructuras, es decir, galaxias, cúmulos y supercúmulos. En el transcurso de los años ochenta, observaciones astronómicas precisas revelaron que el Universo está mucho más estructurado de lo que jamás se había imaginado. Por ejemplo, mi colega Marc Davis comenzó un programa para llevar a cabo un examen sistemático del cielo, obteniendo los desplazamientos al rojo y las distancias de miles de galaxias. En la actualidad sabemos que éstas no se encuentran dispersas de manera más o menos azarosa a través del espacio, como antaño creíamos, sino que se trata de conjuntos, como cúmulos y supercúmulos, semejantes a una espuma cósmica cuyas paredes de burbujas son concentraciones de galaxias, y el interior de aquéllas vastas regiones de espacio vacío. Basándose en inferencias de las velocidades peculiares de la Vía Láctea y de galaxias vecinas, un grupo de astrónomos que se autodenominan los Siete Samurais³², han inferido la existencia de lo que han dado en llamar el *Great Attractor* (ver capítulo VII), distante unos 150 millones de años luz y de este mismo tamaño, en la dirección del supercúmulo de Hidra del Centauro. Poblado por decenas de miles de galaxias, tal cuerpo representaría una concentración de materia inimaginablemente enorme.

Un trabajo de la mayor importancia para comprender la estructura del universo, fue publicado en 1986 por Valerie Lapparent, Margaret Geller y John Huchra. Además de esta «espumosa» disposición de galaxias a través del espacio, encontraron pruebas de estructuras aun mayores que se extienden por cientos de millones de

³² Los Siete Samurais son David Burstein, Roger Davies, Alan Dressler, Sandra Faber, Donald Lynden-Bell, R. J. Terlevich y Gary Wegner.

años luz (en comparación, la Vía Láctea apenas si tiene 60.000 años luz de un extremo al otro). Una de estas masivas capas de galaxias, llamada la Gran Muralla, es un calidoscopio de miles de galaxias. Para equilibrar tan inmensa concentración, existen también grandes vacíos. Uno de los más famosos es el llamado Gran Vacío de Boötes, cuya anchura es de unos cien millones de años luz.

Como resultado de estos datos observacionales y teóricos, parece claro que nuestro universo es mucho más grumoso de lo que pensábamos hasta no hace mucho tiempo. Sin embargo, las grandes concentraciones de masa que vemos en forma de cúmulos, supercúmulos y estructuras de orden superior, se ven de sobra compensadas por la materia oscura asociada. La cantidad de materia oscura que se halla presente en estas estructuras —en vez de estar dispersa entre ellas— determina cuan grumoso es el universo.

Gracias a nuestras observaciones de la radiación cósmica de fondo y otras mediciones, ya sabíamos que en el universo primitivo las variaciones primordiales — las arrugas— eran pequeñas. Las arrugas eran las semillas donde la materia se acrecentó gravitacionalmente formando estructuras. Debido a que esas arrugas eran tan pequeñas, la existencia de materia en el universo ha de ser limitada, si la estructura que vemos hoy se formó en los 15.000 millones de años transcurridos desde el Big Bang. Si la densidad *media* del universo se aproxima a la densidad crítica, algunas regiones tendrían un Omega efectivo mayor de 1, y otras, menor. Aquellas regiones con un Omega mayor de 1 sufrirían finalmente un colapso y formarían estructuras, en tanto que las regiones menos densas devendrían vacíos, conduciendo a la estructura en forma de espuma del universo actual. Si el Omega estuviera bien por debajo de 1, muy pocas regiones se colapsarían. Por el contrario, si estuviese muy por encima de 1, todo sufriría un colapso. Cuanto más cerca de 1 se halla Omega, tanto más fácil es formar la estructura del universo que hoy observan los astrónomos.

¿Qué es esta materia oscura que parece constituir la mayor parte del universo? La materia con la que más familiarizados estamos se forma de protones y neutrones, conocidos colectivamente como bariones, y de los electrones que los acompañan. ¿Es también la materia oscura de naturaleza bariónica, pero sin brillo y, por lo tanto, invisible? No existe ninguna razón teórica para descartar esto último. Los

cálculos de la nucleosíntesis (la formación de núcleos de los protones y neutrones en el universo primitivo) durante el Big Bang y en los sucesos subsiguientes, permiten estimar la densidad de la materia bariónica, sea ésta visible u oscura. Una densidad de la materia bariónica del ciento por ciento de la densidad crítica, nos daría el consuelo de saber que toda materia se compone de las mismas partículas fundamentales de las cuales todo lo que vemos, incluidos nosotros mismos, está compuesto. Toda cifra menor del ciento por ciento nos obligaría a aceptar que el universo está compuesto de tres tipos de materia: la bariónica visible, que conocemos desde hace mucho; la bariónica oscura, que, aunque nueva para nosotros, está hecha con las mismas partículas fundamentales; y una tercera, completamente desconocida.

De acuerdo con los cálculos de Dave Schram y sus colaboradores de la Universidad de Chicago, la materia bariónica generada durante los procesos de nucleosíntesis del Big Bang y sucesos subsiguientes no constituyen más que el diez por ciento de la materia del universo. Por lo tanto, no podemos por menos de aceptar el hecho de que el 90 por ciento de la materia del universo es invisible y totalmente desconocida —quizá incognoscible— para nosotros. Un misterio tan grande como poderoso está revelándose, y la existencia de materia oscura —bariónica y no bariónica— constituye una parte importante de él.

No escasean los candidatos para la más exótica de nuestras «canteras»: la materia oscura bariónica. Puede aparecer de muchas maneras, tales como nubes de gas o polvo, grandes objetos semejantes a planetas, diversas formas de estrellas degradadas y agujeros negros. Es verdad que algunos de estos cuerpos se encuentran entre los más enigmáticos del universo, pero se sabe que existen, y en cantidad suficiente para dar cuenta de todo el complemento que constituye la materia oscura bariónica.

Es improbable que el hidrógeno y el helio, en forma de polvo o de gas —tenuemente distribuidos o como nubes— fuesen un componente mayoritario de la materia oscura bariónica, ya que serían fácilmente detectables, en particular por afectar la visibilidad de galaxias situadas más allá de ellos. No obstante, si el gas se condensase para formar objetos densos, tales como las estrellas marrones enanas u objetos del tamaño de planetas, entonces grandes cantidades de materia oscura

podrían quedar, efectivamente, fuera del alcance de la vista. Mis colegas Ken Greist, un teórico, y Bernard Sadoulet, un físico francés que está al frente de nuestro Centro de Astrofísica de Partículas, en Berkeley, llama a esta clase de cuerpos «*massive compact halo objects*» (objetos de halo masivo compacto), o MACHO. Además de enanas marrones y objetos similares a planetas, MACHO podría incluir agujeros negros y estrellas extinguidas, tales como enanas blancas o estrellas de neutrones, como ha propuesto mi colega Joseph Silk, de Berkeley.

Los intrigantes agujeros negros son, quizá, los más difíciles de detectar y cuantificar. Ya en el siglo XVIII algunos científicos especulaban sobre la posibilidad de que existiesen mundos tan masivos que nada escapara a su atracción gravitatoria, ni siquiera la luz. A principios del presente siglo, J. Robert Oppenheimer se valió de la teoría de la relatividad general de Einstein para explicar cómo pueden formarse tales objetos: el agujero negro deformaría tan profundamente el espacio adyacente que la velocidad de escape excedería la velocidad de la luz, que nada puede sobrepasar; de ahí que nada, ni siquiera la luz, sea capaz de abandonarlo. Los agujeros negros pueden habitar los centros de las galaxias, incluida la nuestra.

El centro de la Vía Láctea emite una intensa radiación gamma, el «grito de la muerte», tal vez, de aquellas estrellas que caen en ellos. También pueden estar distribuidos en halos galácticos, donde llegarían a constituir una parte sustancial de la materia oscura bariónica.

La detección de este tipo de materia es, en principio, factible, pues está compuesta de las mismas partículas fundamentales con las que hemos llegado a familiarizarnos. Pero requerirá cierta ingeniosidad. Si la mayor parte de la materia oscura bariónica se compone de alguna forma de MACHO, entonces se halla altamente concentrada y no la detectaremos directamente sino por el modo en que afecta otros objetos visibles. Por ejemplo, hace casi una década, Bohdan Paczinski, un astrónomo de Princeton, sugirió un modo de hacerlo. Cuando un MACHO pasara frente a una estrella distante, su gravedad desviaría ligeramente la luz de aquélla, haciendo que por un instante su brillo fuese más intenso. Charles Alcock, del Laboratorio Lawrence Livermore, es quien encabeza el equipo de nuestro Centro de Astrofísica de Partículas, de Berkeley, que está trabajando en esta teoría. La

búsqueda se dirige hacia la Gran Nube de Magallanes, una pequeña galaxia a unos 160.000 años luz de distancia de la Vía Láctea.

Si la idea MACHO es correcta, en nuestra galaxia hay miles, o quizá decenas de miles de tales cuerpos, y cada uno de ellos tiene el potencial suficiente para provocar un incremento transitorio en el brillo de una estrella. Por supuesto, en la Gran Nube de Magallanes hay más de diez millones de estrellas, de modo que la observación requerirá tiempo y paciencia.

No debe olvidarse que la «cantera» de ésta y otras búsquedas está constituida por un mero diez por ciento de la cantidad probable de materia oscura del universo. El otro 90 por ciento no es bariónico, pues está compuesto de partículas diferentes de protones, neutrones y electrones asociados. Si la busca de materia oscura bariónica es considerada difícil, la de la variedad no bariónica lo es mucho más. Hay que tener en cuenta que las condiciones imperantes en los instantes inmediatamente posteriores al Big Bang eran verdaderamente extraordinarias, de modo que puede haberse producido toda clase de materia. Algunas de estas exóticas formas de materia pueden haber sido bastante estables, abundantes y con masa suficiente para convertirse, en el componente dominante, pero invisible, del universo. Aunque esta variedad exótica de masa influiría gravitacionalmente sobre la materia visible —de ahí las velocidades peculiares observadas en las galaxias— fracasa a la hora de interactuar electromagnéticamente y es, por lo tanto, invisible. ¿Qué es?

Los astrofísicos han observado dos formas principales de partículas no bariónicas de materia oscura: caliente y fría. Cada una de ellas ha sido, en su momento, la candidata favorita. Los adjetivos «caliente» y «frío» se refieren a las velocidades esperadas de las partículas: las calientes se mueven a gran velocidad, mientras que las frías son de movimiento lento. (Puede concebirse la materia oscura bariónica como una forma de materia oscura fría, ya que es, también, de movimiento lento.)

Uno de los candidatos más promisorios de materia oscura caliente era el neutrino, del que existen tres tipos: el neutrino electrón, el neutrino muón y el neutrino tau. Estas partículas subatómicas se encuentran en todas partes; miles de millones de ellas atraviesan zumbando nuestro cuerpo en este mismo instante. Hasta finales de los años setenta se consideraba que los neutrinos eran, al igual que los fotones, partículas sin masa. Científicos estadounidenses y soviéticos han aportado, de

manera independiente, pruebas de que los neutrinos electrones pueden tener una ligera masa de unos 30 electrón— voltios³³, aproximadamente un 0,0000001 por ciento de la masa de un átomo de hidrógeno. Si esto es así, la masa total de neutrinos del cosmos podría explicar la presunta cantidad de materia oscura no bariónica, e incluso podría bastar para cerrar el universo (es decir, desencadenar un colapso final). Desde entonces, los experimentos y las observaciones de neutrinos de la supernova 1987 A han demostrado que la masa del neutrino electrón es significativamente inferior a 30 electrón-voltios.

No obstante, algunos teóricos de partículas especulan que el neutrino tau puede tener una masa igualmente grande.

De modo general, se objeta la existencia de cualquier forma de materia oscura caliente. Esto se relaciona con la velocidad de las partículas y los requisitos necesarios para iniciar el proceso de condensación de galaxias a partir de la materia ordinaria. Sabemos que las galaxias se formaron en épocas relativamente tempranas de la evolución del universo, quizá tanto como 500 millones de años después del Big Bang. El proceso de condensación de la materia primordial debe de haber empezado poco después de que la materia y la radiación se separasen, es decir, entre diez mil y cien mil años después del Big Bang. Esto plantea un problema para la materia oscura caliente, ya que las galaxias se habrían formado mucho más tarde de lo que sabemos que lo hicieron.

Las partículas de materia oscura caliente deben de haber estado moviéndose a velocidades cercanas a la de la luz desde poco después del Big Bang. Como resultado de ello, cualquier concentración primordial de materia habría sido aplastada a medida que las partículas salían en tropel hacia enormes distancias. Esto significa que las estructuras más pequeñas que podrían haberse formado bajo la influencia de la materia oscura caliente, tendrían un tamaño de unos diez millones de años luz. Semejante escala corresponde a supercúmulos galácticos, no a galaxias individuales. A partir de los primeros se condensarían más tarde las segundas. Con esta así llamada «dinámica arriba-abajo», las galaxias se habrían formado mucho más tarde de lo que sabemos. En consecuencia, la materia oscura caliente debe ser eliminada como candidata a materia oscura no bariónica, pues no

³³ A escala atómica es conveniente referirse a la masa en términos de electrón-voltio, una unidad de energía. Esto refleja el dicho de Einstein de que la masa y la energía son caras opuestas de la misma moneda.

puede formar galaxias lo bastante temprano. A menos, por supuesto, que alguna otra cosa proporcione estructuras estables del tamaño de galaxias con las que la materia oscura caliente entre en interacción.

Se ha propuesto, en principio, una de tales posibilidades: las cuerdas cósmicas.

Suena como una película de ciencia ficción: un objeto enormemente largo, con forma de cuerda e impresionantes capas de atracción gravitatoria a través del universo. Como si de un azote cósmico se tratara, desgarraría la Tierra y la destrozaría, dejando tras de sí un mundo sin vida. Por extraño que parezca, se ha defendido la existencia de tales objetos. Fueron propuestos hace varios años, tal vez para ilustrar la desesperación de los cosmólogos en su intento por explicar cómo la estructura —particularmente aquella a gran escala— se ha condensado desde el universo primitivo.

Las cuerdas cósmicas son un ejemplo de defecto topológico en el cosmos, y, ciertamente, el más famoso. El concepto de cuerdas cósmicas tiene que ver con la simetría y cómo, en ocasiones, ésta se rompe. El agua es un buen ejemplo: si uno se sumerge en ella, verá que parece exactamente la misma en todas las direcciones; carece de estructura. Cuando se congela, adquiere una simetría distinta. El hielo consiste en largos enrejados cristalinos de átomos orientados en direcciones específicas. El grado de simetría del agua está relacionado con su temperatura, y a ciertas temperaturas aquella sufre una «transición de fase», que se da cuando su estado se transforma de líquido en sólido.

Algo similar ocurrió después del Big Bang. En el nacimiento de nuestro cosmos, el universo primordial era extremadamente caliente y denso. Todas las fuerzas estaban unidas en una única fuerza simétrica, llamada «primitiva». El cosmos del Big Bang se expandió y se enfrió. A medida que la temperatura descendía, la simetría original se rompía y la fuerza primitiva se fragmentaba en subfuerzas, cada una de las cuales se manifestaba de manera diferente. En la actualidad, estas fuerzas se diferencian en electromagnéticas y nucleares fuerte y débil. En otras palabras, el proceso por el que el agua se convierte en hielo es análogo a aquel que engendró el universo que nos rodea. Y el ingrediente clave es la temperatura.

El universo del Big Bang se expandió hasta adquirir un tamaño inmenso, enfriándose a medida que crecía. Al llegar a cierto punto, se enfrió lo suficiente para

que la simetría se rompiera y las fuerzas se diferenciasesen, congelándose en incontables lugares a través del espacio. Partiendo de cada uno de estos lugares, la ruptura de la simetría se extendió por el universo a la velocidad de la luz. Inevitablemente, estas regiones en continua expansión de la simetría rota chocaron unas con otras. Cuando esto ocurrió, la simetría rota de las regiones en expansión no encajó de modo perfecto con aquéllas contra las que había chocado, lo que tuvo dramáticas consecuencias.

La analogía más sugerente es la de un estanque en un día frío. El agua empieza a cristalizarse en diferentes puntos del estanque y, a medida que el hielo se extiende, las zonas congeladas se encuentran. Pero los cristales de una región raramente encajan a la perfección con los de otras regiones, y éste es el motivo por el cual un estanque —o un cubo de hielo, para poner por caso— aparece atravesado por tenues líneas blancas que en realidad son fracturas que muestran dónde los cristales se han alineado incorrectamente³⁴.

En el universo en proceso de enfriamiento, la ruptura de la simetría puede haber sido la causa de que las diferentes regiones se alinearan de manera imperfecta. Como resultado de ello, los defectos formados en el espacio conservaron el estado supermasivo y supercaliente del Big Bang. Estos fallos pueden haberse manifestado de modos diversos, incluyendo monopolos magnéticos, muros de dominio, texturas o cuerdas cósmicas. Los monopolos magnéticos serían defectos de dimensión cero, es decir, «puntos» sin altura, anchura ni profundidad. Los muros de dominio serían bidimensionales, y semejarían inmensas láminas extendidas a través del espacio. Por último, las texturas serían tridimensionales y las cuerdas cósmicas objetos unidimensionales, con longitud pero sin anchura ni altura. Erizadas de energía primitiva estas cuerdas serían, en efecto, aterradoras.

Entre quienes primero hicieron conjeturas acerca de las cuerdas cósmicas figuran los investigadores Alexander Vilenkin, de la Universidad Tufts, Thomas W. B. Kibble, del Imperial College de Inglaterra y el teórico ruso Yakov Zeldovich. Pero su defensor más decidido fue Neil Turok, un joven inglés, alto y delgado, que usa gafas de montura negra semejantes a las de Clark Kent y mantiene un divertido aplomo frente a sus críticos. Sabio itinerante que ha trabajado en Princeton y otras

³⁴ Lo mismo puede observarse en un diamante defectuoso: ciertas partes del enrejado cristalino están imperfectamente alineadas. Algunos defectos son fracturas.

universidades, se valió, al igual que sus colegas, de ordenadores mediante los que se simulaba la evolución de las cuerdas después del Big Bang. Tan masivos como galaxias y a la vez tan delgados como hilos (y quizá tan largos como la amplitud del cosmos), estos objetos cruzaban velozmente el universo, tal vez separándose en ocasiones y enroscándose como una cuerda de violín, por poner un ejemplo, plegada sobre sí misma. Estas cuerdas cósmicas podrían haber sido el catalizador que ayudó a la materia oscura caliente a comenzar la primitiva formación de galaxias.

Se trataba de una idea excitante y los medios de comunicación estaban encantados con ella, pero finalmente perdió atractivo. Uno de los motivos fue que las simulaciones por ordenador demostraron que las cuerdas cósmicas serían demasiado inestables y débiles para formar estructuras galácticas. «Cuanto mejores eran estas simulaciones, tanto más desaparecían las virtudes de las cuerdas cósmicas», reconoció Turok, como si esta declaración fuese una especie de bandera blanca. «Quienquiera que desee mis códigos de cuerdas, puede tenerlos.» A finales de los años ochenta, el interés de los cosmólogos por la materia oscura bariónica había cambiado del calor al frío. Unos pocos, como Turok y sus colegas David Spergel (de Princeton) y David Bennett (de Livermore), continuaron enarbolando la bandera del defecto en un intento por mantenerse honestos. A principios de la década de 1990 señalaron que otro defecto —las texturas— tal vez fuera una alternativa viable, pero no lograron convencer a sus colegas.

La materia oscura fría no bariónica podría parecer el primo lerdo de la variedad caliente que, si bien avanza por el cosmos a una pequeña fracción de la velocidad de la luz, cubre muchos de los requisitos necesarios para la primitiva formación de galaxias. Dadas su baja velocidad y su pequeña tasa de interacción con la luz, las partículas de materia oscura fría tal vez hayan empezado a acumularse bajo la influencia de las ondulaciones primordiales, formando rápidamente semillas del tamaño de galaxias. Luego, la materia bariónica habría aumentado estas semillas formando galaxias dentro de los mil millones de años que siguieron al Big Bang. Los cúmulos y supercúmulos galácticos se formarían más tarde otorgando un marco hipotético trastocado a la creación de la estructura global del universo. Si esta idea es correcta, entonces habitamos un sistema solar bariónico engendrado a partir de

semillas no bariónicas. Según ha escrito Scott Tremaine, la exploración de la materia oscura no bariónica podría transformar la astronomía. Sugiere este astrofísico que estamos experimentando «la primera etapa de una revolución contra la cosmología "baricéntrica", descendiente directa de la revolución de Copérnico contra la cosmología geocéntrica».

La simulación por ordenador dio un considerable estímulo a la pretensión de la materia oscura fría de ser la sustancia preponderante en el universo. Por ejemplo, los modelos de la formación de galaxias elaborados por Joel Primack y George Blumenthal, de la Universidad de California en Santa Cruz, y basados en las propiedades de las materias bariónica y no bariónica, imitaron minuciosamente el proceso tal como es entendido en el cosmos. Y Marc Davis, mi colega de Berkeley, demostró que aquellos modelos computarizados basados en materia fría, produjeron una estructura a gran escala del universo más fiable que los basados en materia caliente. El teórico canadiense Dick Bond y su colega inglés George Efstathiou llevaron la teoría todavía más allá.

Aunque las propiedades de la materia oscura fría parecían estar en consonancia con la evolución del universo tal como lo entendemos, la cuestión de su identidad suponía un verdadero desafío. En respuesta, los cosmólogos aparecen con una familia de partículas hipotéticas, colectivamente conocidas como «*weakly interacting massive particles*» (partículas masivas de interacción débil) o WIMP, nombre acuñado por Michael Turner, de la Universidad de Chicago. Descendientes de grandes teorías unificadas y supersimétricas, las WIMP deben ser estables y tener una larga vida, poseer la misma masa y sólo pueden interactuar débilmente con la materia bariónica. Al igual que el concepto de antimateria dado a conocer por Dirac en la década de 1920, la teoría de la supersimetría sostiene que para toda partícula ordinaria existe una partícula especular supersimétrica. Por ejemplo, cada fermión (partículas como los quarks y los leptones) tienen su contrapartida en la forma de un bosón (partículas como los fotones y los gluones). Todavía no se ha detectado ninguna de estas partículas especulares, pero ello no ha desalentado a los físicos a la hora de asignarles nombres por demás extraños. Para cada fotón hay, en teoría, una partícula supersimétrica llamada fotino; para cada quark un squark; para cada neutrino un sneutrino, etcétera.

Además de las WIMP existen otros candidatos a la materia oscura no bariónica, tales como un neutrino pesado o una pequeña partícula llamada axion. Al poseer el doble de masa que el protón, el neutrino pesado no sería en absoluto un verdadero neutrino y, en todo caso, para que pudiese existir requeriría una revisión del modelo estándar de la física de partículas. El axion, bautizado así por Steven Weinberg y Frank Wilczek de manera independiente, podría ser un candidato a la materia oscura si tuviese una masa diminuta de menos de mil millonésimos de la masa de un electrón y su vida fuese prácticamente infinita. De acuerdo a la teoría, estas partículas hipotéticas se habrían producido en grandes cantidades en la época en que los protones y los neutrones se formaban del agregado de quarks, e incluso podrían haber sido la forma dominante de materia en esos tiempos.

La lista de materia oscura no bariónica continúa ampliándose, y de un modo cada vez más caprichoso. Algunas sugerencias incluyen las llamadas «pepitas de quark» y pequeños agujeros negros, y ambos casos exigen condiciones iniciales poco comunes. Cabe preguntarse si tales formas posibles de materia surgen de la fantasía de hombres y mujeres desesperados que buscan, frenéticamente, soluciones a problemas desconcertantes. ¿O acaso son un signo legítimo de que, a partir del descubrimiento de la materia oscura, la cosmología se encuentra en una especie de *térria incógnita* más allá de nuestra comprensión inmediata?

Cualquiera que sea el caso, recientemente varios equipos de investigadores han llevado a cabo experimentos destinados a detectar la presencia de WIMP y otras partículas de materia oscura no bariónica, lo cual, considerando lo poco que se conoce acerca de este mundo en las sombras, constituye un desafío técnico considerable. Por ejemplo, físicos del Laboratorio Nacional de Boorkhaven están tratando de detectar axiones valiéndose de un cilindro de cobre rodeado por un imán superconductor; cuando los axiones pasasen por el campo magnético, harían vibrar ligeramente el cilindro y emitirían microondas. Otros grupos planean detectar WIMP en rayos cósmicos. Tal es el caso del formado por Bernard Sadoulet y sus colegas, quienes esperan medir vibraciones e ionización generada por WIMP con disparos a través de un detector frío. Este artefacto será puesto a prueba en Stanford, en un agujero de más de dieciocho metros de profundidad que brinda adecuada protección contra los rayos cósmicos y otras interferencias.

También en Stanford, el físico Blas Cabrera está desarrollando un detector que contiene superconductores; éstos perderían su superconductividad en el momento en que una WIMP pasase delante de ellos calentándolos ligeramente. En Inglaterra, Peter Smith, del Laboratorio Rutherford-Appleton, espera colocar detectores de WIMP a más de 900 metros de profundidad en una mina ubicada en la costa noreste del país. Uno de los detectores contiene un cristal de yoduro de sodio que emitirá un flash de luz o un centelleo si sus núcleos o electrones son cubiertos por una WIMP. En Italia, Ettore Fiorini, de la Universidad de Milán, tiene pensado instalar detectores de WIMP en el túnel Gran Sasso, en los Apeninos.

Mientras esperamos oír noticias de la primera observación de una de estas partículas, debemos considerar que aún subsiste un problema preocupante. La fuerza teórica de la materia oscura fría no bariónica —su facilidad para agrupar las primeras formaciones de galaxias— también puede ser su debilidad. El efectivo agrupamiento a escala galáctica dejaría menos materia oscura en escalas mayores, esto es, más allá de las galaxias y sus halos oscuros. Podría darse el hecho de que la materia oscura fría no bastase para explicar la cantidad total de agrupamiento a escalas mayores —cúmulos de cúmulos de galaxias—. Sería necesario añadir algo más, lo que significa regresar de nuevo a la materia oscura caliente. Y así sucesivamente.

Cuando en 1977 Vera Rubin y Kent Ford descubrieron que la materia oscura es, efectivamente, un legítimo enigma cosmológico, Rubin pensaba que sería resuelto en poco más de una década. La década ha pasado con creces y no hemos avanzado mucho en la solución del desafío. Como dice Vera Rubin: «Pensé que llegaríamos a saber más. Es realmente decepcionante darse cuenta de que estamos tan lejos de la respuesta como entonces.»

Sin embargo, durante la búsqueda nuestra apreciación del universo y sus orígenes se ha agudizado de manera considerable. Nos enfrentamos a una gran paradoja: con su estructura espumosa de galaxias, sus cúmulos, supercúmulos y demás estructuras masivas, resulta evidente que el universo actual está agrupado en grado sumo; aun así, nuestras mediciones de la radiación cósmica de fondo nos permiten saber que la distribución de materia en el universo primitivo era prácticamente uniforme. El desafío consistía en explicar cómo la primitiva homogeneidad

generalizada evolucionó hacia una asombrosa heterogeneidad, y la materia oscura —de cualquier modo— forma parte de la cuestión. La respuesta potencial no tardó en llegar: inflación.

Capítulo 9

El universo inflacionario

El 14 de febrero de 1982, el físico de la Universidad de Stanford Blas Cabrera, recibió un inusual regalo para el Día de los Enamorados: una señal en el detector que había instalado en el sótano de su laboratorio. El aparato estaba destinado a detectar partículas llamadas «monopolos magnéticos» (polos magnéticos aislados, norte o sur), consideradas verdaderas reliquias del Big Bang. Cabrera acababa de conectar, por primera vez, su nuevo y maravilloso detector superconductor. ¿Era posible que hubiese descubierto tan rápidamente la presencia de una de esas partículas elusivas? Los medios de comunicación dieron cuenta del suceso. El *New York Times* publicó un artículo en primera página. Cabrera se negó a admitir cámaras de televisión por temor a que «convirtieran el laboratorio en un zoológico». Sin decidirse a identificar la señal como un verdadero monopolo, aguardó la llegada de la siguiente. Pasaron los días, las semanas y los meses. El físico de Harvard Sheldon Glashow envió a Cabrera una rima un tanto jocosa:

*Las rosas son rojas, blancos los nardos,
Ha llegado la hora del monopolo dos.*

Pero el monopolo dos no apareció. Después de una espera de diez años, Cabrera abandonó toda esperanza. La mayoría de los físicos sospecharon que el «monopolo» de 1982 había sido, sencillamente, un fallo técnico, incluso una broma de estudiante. Durante los años ochenta decenas de otros equipos científicos en todo el mundo trataron de detectar monopolos; todos fracasaron. La fascinación de los medios de comunicación por el monopolo se convirtió en cinismo. En 1985, el *Wall Street Journal* bautizó la búsqueda de tales objetos como «uno de los mayores chascos en la historia de la ciencia».

Sin embargo, había mucho en juego, y ésa es la razón por la cual, aún hoy, esa búsqueda continúa. Varias hipótesis tratan de explicar todas las fuerzas conocidas mediante una sola ecuación, una ecuación que «uno puede usar como una camiseta», bromea León Lederman. Estas hipótesis son conocidas como «*grand*

unified theories» (grandes teorías unificadas), o GUT, y predicen que los monopolos deben de existir. De modo que, ¿dónde se encuentran estas partículas tan esquivas?

Irónicamente, la respuesta tal vez ya haya sido encontrada —en el mismo campus de California septentrional— tres años antes del erróneo descubrimiento de Cabrera. En diciembre de 1979 Alan Guth propuso una hipótesis que significó una espectacular extensión de la cosmología del Big Bang. La idea de Guth, conocida como «teoría de la inflación», fue un ultrarrápido y, a la vez, ultrabreve Big Bang dentro del Big Bang, un proceso que se produjo en el primer instante de la creación y que esencialmente estableció las condiciones para la futura evolución del cosmos. Guth no fue el primero en llegar a esta solución radical. Ideas similares se les ocurrieron a Katsuhiko Sato, en Japón, y a Alexei Starobinsky (y más tarde a Andrei Linde) en la ex Unión Soviética. Ninguno de ellos dio a publicidad sus intuiciones, pero Guth lo hizo, y con ello sacudió el mundo de la cosmología.

De pronto, la teoría de la inflación parecía resolver una serie de problemas que los cosmólogos habían abordado hacía tiempo, y sin duda merece ser reconocida como la tercera revolución intelectual importante que tuvo lugar en el ámbito de la cosmología. Sus predecesores fueron, en primer lugar, Galileo y Newton, quienes demostraron que la física terrestre y la celeste son la misma cosa. Luego llegó Einstein, cuya teoría de la relatividad general describía el universo en expansión. La inflación es importante porque vincula dos temas que en apariencia no guardan relación entre sí: la astrofísica (la ciencia de lo increíblemente grande) y la física cuántica de partículas (la ciencia de lo increíblemente pequeño).

La inflación es un concepto extremadamente poderoso, y explica las tres cuestiones principales de la cosmología. Primero: la paradoja de un universo temprano increíblemente uniforme, según lo revela la suavidad de la radiación cósmica de fondo, y la evidente desigualdad del universo actual. Segundo: explica la ausencia de monopolos magnéticos y demás posibles reliquias del universo primitivo, la ausencia de rotación del universo, el carácter llano del espacio, su homogeneidad y hasta por qué la constante cosmológica de Einstein no era completamente errónea. Tercero: explica el motivo por el cual el universo está expandiéndose. Además, y de acuerdo con la teoría de la inflación, el universo es muchísimo más grande de lo que

nunca nadie había supuesto, y el punto que ocupamos en este rincón del universo, mucho más diminuto de lo que imaginábamos.

Es ésta una importante serie de logros para tratarse de una sola teoría. Siempre y cuando sea válida.

Como graduado en el MIT, mi campo de investigación era la física de partículas. Mi consejero de tesis y director de investigación era mi enérgico, entusiasta, amable, servicial y buen amigo David H. Frisch. En 1968, mientras se acercaba el momento de mi examen global, le pedí a Dave y a su colega Louis Osborne que me preparasen un cuestionario semejante al que tendría que responder en mi examen oral. En la sala donde los miembros del grupo nos reuníamos —y a menudo almorzábamos— había una mesa, unas sillas, una gran pizarra en la que elaboraba las respuestas y una estantería con todos los números de *The Physical Review*, la publicación de física más importante. Después de unas pocas sesiones, adquirí más fluidez en mis respuestas y a Dave y a Osborne se les agotó su reserva de preguntas. Entonces, Dave señaló la estantería y me dijo: «¿Ve usted la colección de *The Physical Review*? Examínela.» Pensé que lo que pretendía era que yo eligiese un tema y explicase algún artículo o resultado. En cambio, agregó:

«Observe cómo cada año el volumen anual de esta revista aumenta de tamaño. La distancia entre la cubierta anterior del primer número y la posterior del último número de diciembre crece rápidamente. ¿Cuánto tiempo pasará hasta que las cubiertas de los volúmenes anuales se desplacen a una velocidad mayor que la de la luz?»

Él sabía perfectamente que se trataba de una pregunta chocante a la vez que invitaba a pensar. ¿Cómo podían las portadas moverse más rápido que la luz? «Bien —pensé—, hipotéticamente es posible, pero, ¿qué pasaría con los números prácticos?» Finalmente, llegó el momento de enfocar la pregunta y responder a ella, ya que, después de todo, se suponía que yo estaba tratando de aprender cómo aprobar el examen oral, y eso significaba que debía satisfacer a los examinadores. Comprendía que, además de invitar a pensar, la cuestión planteada estaba en la tradición del MIT —establecida y dirigida por Vicki Weisskopf— de enseñar a los estudiantes a evaluar.

En los problemas que plantea la física, muchos factores pueden ser importantes, pero por lo general sólo predominan uno o dos de ellos. Si el físico es capaz de evaluar las cosas de un modo rápido y correcto, sabrá qué puede pasar por alto y qué necesita ser estudiado y tratado cuidadosamente. Después de echar un vistazo a la estantería, hice un tosco gráfico de la distancia entre las portadas anuales con respecto al año. La curva se elevaba rápidamente con el paso de los años. Presentaba un crecimiento exponencial, que es la curva del interés compuesto, o inflación. El factor fijo de cada año era mayor que el del anterior. El tiempo típico para duplicar era de unos seis años. En consecuencia, resultaba fácil calcular cuándo un volumen anual de *The Physical Review* sería más largo que un año luz³⁵. Frisch y Osborne siguieron presionándome para que explicase cómo las portadas podían moverse y alejarse a una velocidad más rápida que la de la luz. ¿Existía acaso un conflicto con la relatividad especial? ¿Impedía algo que las portadas se alejasen unas de otras más rápidamente que la luz? Ninguna de estas cuestiones era demasiado difícil de manejar.

Este rompecabezas es análogo a ciertas preguntas planteadas por la cosmología: ¿pueden las galaxias alejarse unas de otras más velozmente que la luz en un universo en expansión? Imaginé una situación en que los registros eran colocados muchos años más adelante para cada número de la revista, con cada año en una fila posterior a la anterior. Si yo dispusiese de muchos investigadores, cada uno en el lugar adecuado y escribiendo un artículo, podrían, sin prisa, redactar un trabajo breve y deslizarlo en la ranura adecuada del ejemplar. Para cuando las portadas de los volúmenes anuales estuviesen apartadas un año luz o más, parecerían alejarse a un ritmo que excede la velocidad de la luz aunque ninguna de ellas se hubiera movido mucho. En otra duplicación del tiempo, las portadas de los volúmenes anuales parecerían moverse a más del doble de la velocidad de la luz. De año en año las portadas parecerían alejarse a un ritmo proporcional a su número de ejemplar (o fecha de publicación). Esta es la ley de Hubble para *The Physical*

³⁵ Los números de *The Physical Review* correspondientes al año 1968 ocupaban algo más de un metro de estantería. Si cada seis años la extensión continuaba duplicándose, en 186 años, esto es, en el 2254, las portadas parecerían alejarse unas de otras a la velocidad de la luz. Es decir, si todos los números de ese año fuesen almacenados juntos, llegarían a un año luz. De hecho, en 1970 *The Physical Review* se escindiría en cuatro secciones separadas: A, B, C y D. Siguió creciendo, pero no al mismo ritmo. Sin embargo, aparecieron nuevos números. La última vez que comprobé la cantidad total de artículos científicos publicados, dio aún como resultado una curva de crecimiento exponencial. Espero que en los últimos tiempos las restricciones presupuestarias hayan contribuido a aminorar un poco la velocidad.

Review. En lugar de físicos escribiendo artículos y ubicándolos en la revista, el universo está generando espacio y poniéndolo entre las galaxias. Ninguna galaxia tiene que moverse; sencillamente hay que poner más espacio entre ellas.

«Vale, vale —convinieron Frisch y Osborne—. Es posible, pero, ¿podría hacerlo sin poner nada muchos años más adelante de modo que la información se trasladase a través de esos años luz?» No. Sin registros los investigadores no sabrían dónde poner sus colaboraciones y las ubicarían cerca de sus vecinos. En consecuencia, *The Physical Review* deambularía por todo el mapa del modo en que lo haría un borracho que ha perdido su capacidad de coordinación y el sentido de la dirección.

Éste es precisamente el mismo problema que se nos plantearía con la creación del universo. Es sencillo tener partes del universo moviéndose separadamente a velocidades mayores que la de la luz (sin violar la relatividad especial) si el espacio está expandiéndose, pues en tal caso, dos partes separadas por una distancia mayor que la velocidad de la luz dividida por la tasa de expansión deben desplazarse más velozmente que la luz aunque ninguna de ellas esté moviéndose muy rápidamente con respecto a sus vecinos o el espacio-tiempo local. Lo que resulta imposible es mantener las cosas sincronizadas y emparejadas. Es justamente este problema de sincronización lo que lleva a defectos o a emparejamientos incorrectos y un universo desigual. El universo no es en absoluto así.

El problema central es la asombrosa uniformidad del universo temprano, según lo revela la radiación cósmica de fondo. Como ha quedado demostrado por nuestras observaciones y las de otros equipos de investigación, la radiación cósmica de fondo es idéntica (al menos en una parte en diez mil) desde todas las direcciones del cosmos. Recibimos radiación de incontables regiones diferentes del universo que no han estado en contacto mutuo desde los primeros instantes del Big Bang. Aun así, cada una de ellas manifiesta temperaturas casi idénticas. En ausencia de una interacción directa entre estas regiones dispares, ¿cómo es posible semejante uniformidad? ¿Cómo puede establecerse y mantenerse?

Tradicionalmente, los cosmólogos del Big Bang adoptaron el supuesto arbitrario de que el universo es uniforme porque ya lo era en un comienzo. Semejante supuesto resulta insatisfactorio, no sólo porque es como jugar a ser Dios —«Que así sea»—,

sino porque no explica nada y solicita que se pregunte por qué era uniforme en un primer momento. Los astrofísicos, como la mayoría de los científicos, se sienten más a gusto si tienen a mano un mecanismo que les permita hacer que las cosas sean como son sin la necesidad de supuestos arbitrarios. Esto es lo que el concepto de inflación ofreció a la cosmología. Irónicamente, en un principio la teoría de la inflación no fue concebida para explicar la uniformidad de la radiación cósmica de fondo sino, al menos en parte, para explicar la ausencia de una partícula misteriosa. En 1978, el veinteañero Alan Guth era un colega que llevaba a cabo investigaciones en Cornell. Su amigo Henry Tye acudió a él y le sugirió que se imaginase cuántos monopolos magnéticos habían sido generados por el Big Bang. «En ese entonces, me pareció absurdo ponerme a pensar en ello —dijo Guth más tarde—. Nunca había trabajado en cosmología.» Décadas antes, Paul Dirac, famoso a causa de la antimateria, había previsto la existencia de monopolos magnéticos; decía que debían de ser partículas masivas con una sola carga (mono) magnética (polo norte o sur)³⁶.

Guth se olvidó de la sugerencia de Tye hasta la primavera siguiente, cuando oyó una conferencia pronunciada por Steven Weinberg en Cornell. Weinberg es un conocido físico teórico de partículas cuyo libro *The First Three Minutes*, que trata sobre el Big Bang y el origen de la materia, acababa de ser publicado. En su exposición, Weinberg habló de utilizar los cálculos de la gran teoría unificada para explicar la abundancia cósmica de bariones, esto es, materia ordinaria con protones y neutrones. Guth quedó impresionado; quizá los problemas que planteaba la cosmología no fueran tan intratables como había pensado. Así, se unió a Tye en su reflexión acerca de los monopolos, en particular sobre su abundancia teórica.

Tye y Guth concluyeron que los monopolos, que habrían sido producidos por la simetría rota al final de la era de los GUT del Big Bang (alrededor de 10^{-34} segundos), debían de ser tan comunes como los átomos de oro³⁷. Este mineral es

³⁶ Estamos acostumbrados a que los imanes sean dipolos, esto es, que tengan dos polos: norte y sur. Los físicos de aceleradores de partículas a menudo construyen imanes cuadrípolos, con cuatro polos magnéticos (norte, sur, norte, sur) configurados simétricamente. Mono es la palabra griega para «uno».

³⁷ La ruptura de la simetría conduce a defectos topológicos; para la simetría de los GUT rota en 10^{-34} segundos, los más simples son los monopolos magnéticos. El mismo argumento de la causalidad que esgrimimos acerca de la sincronización y la uniformidad, podría aplicarse a la formación de defectos. En 10^{-34} segundos la luz sólo puede cubrir una distancia de 10^{-24} centímetros, de modo que es posible que haya un promedio de un defecto por región de este tamaño. Esta pequeña región se ha expandido desde entonces a unos tres metros. Así, sería de esperar un monopolo magnético por cada habitación de medidas corrientes.

raro y precioso, pero puede comprarse en cualquier joyería. De modo que, ¿dónde estaban los monopolos? Durante años los investigadores buscaron en vano estas partículas extremadamente pesadas (una sola podría pesar tanto como una bacteria) en los lugares más extraños: rocas lunares, hielo antártico e incluso aguas residuales. Guth pensó que quizá los monopolos eran tan esquivos porque no existían en las cantidades predichas por el modelo estándar de Big Bang. ¿Se requería, tal vez, algo más?



Alan Guth, pionero de la teoría de la inflación. (Donna Coveney, Mit.)

El monopolio magnético fue el primero de los dos enigmas que condujeron a Guth a la teoría de la inflación. El segundo concernía a la cualidad de «plano» del espacio. A finales de 1978 Guth asistió en Princeton a una conferencia del físico Robert Dicke, un pionero en la investigación del Big Bang, titulada «¿Por qué es el universo tan plano?». Dicke señaló que sabemos que el espacio de nuestro universo observable es, en efecto, extremadamente plano.

Mientras Guth contemplaba el carácter esquivo de los monopolos y lo fenomenalmente plano que es el universo, dio con la noción sencilla, pero profunda, de la inflación. Si en el primer instante posterior al Big Bang, antes de que hubiese envejecido 10^{-12} segundos, el universo sufrió un estallido de expansión enormemente rápido y acelerado, entonces este enigma y otros, como el de un universo primitivo prácticamente uniforme, tendrían solución. Aunque muchos de

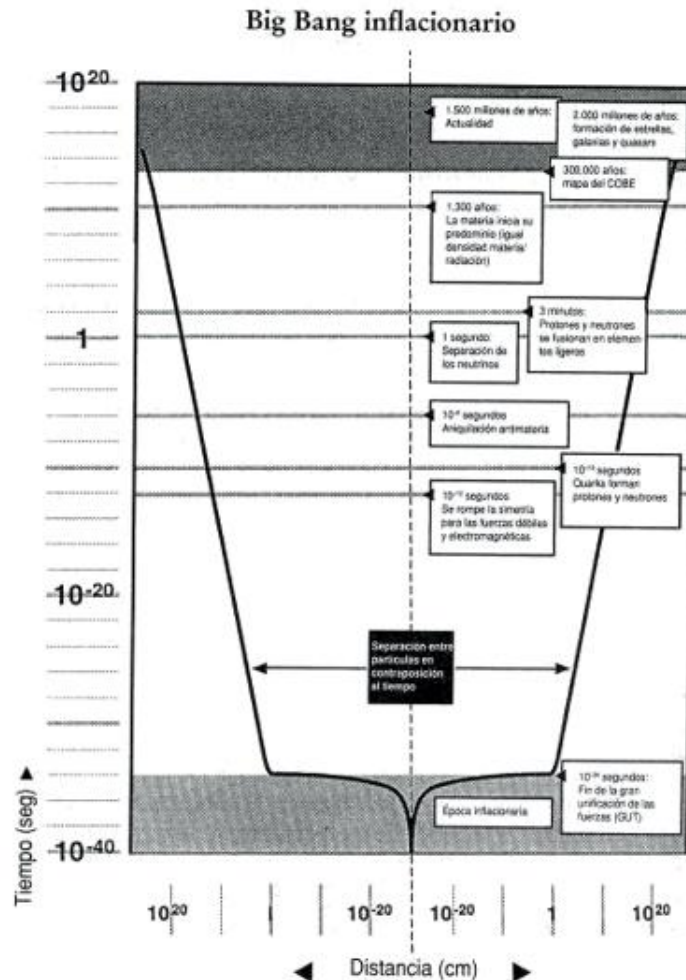
tales fenómenos están interrelacionados, nos abriremos camino entre ellos considerándolos detalladamente de uno en uno.

En primer lugar, abordaremos la cuestión de la uniformidad del universo primitivo del modo en que lo revela la suavidad de la radiación cósmica de fondo: ¿de qué modo esta uniformidad pudo establecerse y mantenerse durante la vida temprana del cosmos? El fenómeno de la inflación cósmica lo resuelve con una facilidad casi embarazosa.

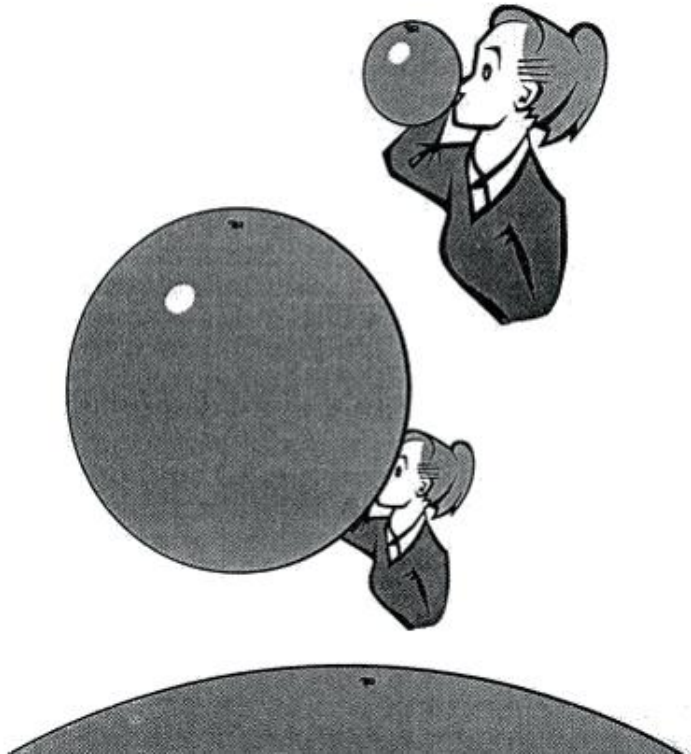
Si nos remontamos al primer instante de inflación, hallaremos la respuesta. Un parpadeo después del primer instante de la creación (digamos de 10^{-35} segundos) la totalidad de la masa y la radiación potenciales de nuestra parte del universo estuvo sumida en una «sopa» primigenia de energía, parcelada dentro de una diminuta región del tamaño de una billonésima de protón (alrededor de 10^{-25} centímetros). En efecto, todo estaba conectado con, y era equivalente a, todo lo demás —la homogeneidad primigenia—. Entonces el universo experimentó una erupción de espacio incomprensiblemente rápida, de modo que a los 10^{-32} segundos se había expandido, al menos, diez metros. Cuando la inflación terminó, esa región de diez metros procedió a expandirse, al ritmo mucho más pausado característico del Big Bang, hasta adquirir su tamaño actual, mayor de un billón de años luz. En esta pequeñísima fracción de segundo el universo se expandió por un factor de más de cien veces de lo que lo hizo en los posteriores 15.000 millones de años. La homogeneidad que en ese instante existía en tan diminuta región, se extendió a través de una región del universo mucho mayor de lo que actualmente podemos ver. La inflación no requiere el supuesto arbitrario de condiciones iniciales, ni el contacto entre regiones dispares del universo. Sencillamente sostiene que la inevitable homogeneidad inicial de la materia se convirtió en la condición universal a través de un crecimiento breve pero explosivo. Si esto fuese todo lo que la teoría de la inflación implica, entonces, por elegante que pueda parecerse la solución, estaríamos en condiciones de juzgarla débil. Pero ocurre que abarca muchos problemas cosmológicos. Las grandes teorías, por definición, explican muchos fenómenos.

Consideremos, por ejemplo, las reflexiones de Guth acerca de que los monopolos no fueron detectados porque muy pocos de ellos son compatibles con la teoría de la

inflación. Guth y Tye habían calculado que, de acuerdo con la teoría corriente del Big Bang, los monopolos serían tan comunes como el oro. Otros teóricos, basándose en ciertos modelos de la gran unificación, incluso sugirieron que en el universo debe de haber tantos monopolos como bariones (protones y neutrones). Sin embargo, todos estos cálculos dan por sentado el ritmo relativamente lento de la expansión convencional del Big Bang. La expansión ultrarrápida prevista para el período inflacionario, no obstante, diluye el número de monopolos hasta el punto de que apenas podríamos encontrar uno en la región de 15.000 años luz de nuestro universo observable.



La inflación crea un espacio uniforme



Así como el globo es inflado por orden de magnitud, la superficie curva y uniforme se convierte rápidamente en indetectable (aunque presente).

La ausencia de rotación del universo, señalada por las observaciones que realizamos con el U-2, resulta menos enigmática en un universo inflacionario. Incluso en el caso de que en sus primeras etapas el universo rotara, la enormemente grande y rápida expansión que tuvo lugar durante la etapa inflacionaria, disminuiría el ritmo de rotación a unos niveles despreciables. Este efecto a menudo es observado en aquellos que patinan sobre hielo. Cuando al dar vueltas sobre sí misma una patinadora artística recoge los brazos, gira más rápidamente. Cuando extiende los brazos, lo hace más lentamente. (Se trata de un efecto inercial: la conservación del momento angular.) Cuando el universo se expande —en un sentido figurado, cuando abre los brazos— su ritmo de rotación disminuye. Solemos concebir los cuerpos celestes —lunas, planetas, estrellas y galaxias— en rotación. Pero el universo no rotaría de un modo notable. Las condiciones, necesarias para el principio de Mach serán parcialmente satisfechas.

De todas las consecuencias de la teoría de la inflación, la predicción más sorprendente es que el universo es plano. Esto corresponde a una predicción según la cual Ω —la relación entre la densidad crítica del universo y su densidad actual— debe ser igual a 1. La tasa de aceleración de la expansión durante el período inflacionario exagera en gran medida los rasgos existentes del universo. Como resultado de ello, toda desviación (por pequeña que sea) de Ω a cualquier lado de 1 en el primer instante del universo, llevaría a un colapso o una expansión rápidos y al Gran Frío. Sólo con un Ω exactamente igual a 1, el universo podría sobrevivir y evolucionar hasta su estado actual.

Como hemos visto en el capítulo anterior, el valor de Ω puede ser, y ha sido, medido, probándose así la validez de la teoría de la inflación. En la actualidad, un alcance razonable para Ω es de 0,3 a 2, y muchas mediciones astronómicas indican algo cercano a 1. Esto puede parecer aproximado en extremo, pero dadas las restricciones en las mediciones cosmológicas con que nos manejamos, el resultado es muy alentador. Si nuestras estimaciones hubieran sido distantes en un orden de magnitud o dos, entonces la teoría de la inflación habría desempeñado un papel muy pobre en esta prueba y quizá se consideraría que ha fracasado. Por lo tanto, estamos en condiciones de decir que el vaticinio de un Ω igual a 1 tiene muchas posibilidades de ser defendido. Ligada a esta predicción, por supuesto, se encuentra la predicción adicional de que gran parte de la materia del universo debe de ser la enigmática materia oscura. La materia visible en las galaxias representa menos del uno por ciento de la masa crítica; así, si la masa crítica es de 1, la mayor parte de la materia ha de ser oscura. Para que la inflación siga siendo un modelo viable, los astrofísicos tienen que encontrar la materia oscura o pruebas muy sólidas de su existencia.

El concepto de inflación parece sumamente valioso a la hora de resolver toda una gama de problemas cosmológicos. Pero si no hubiese habido algún mecanismo que hiciera funcionar el concepto, no habría llamado tanto la atención. Este avance se produjo mediante la unión de ideas de ámbitos diversos, lo que permitió el hallazgo del mecanismo.

En la última semana de junio de 1979 asistí en Copenhague a un simposio sobre «El universo en grandes desplazamientos al rojo», que tuvo lugar en el Instituto Neils

Bohr. Una mañana Dennis Sciama y yo salimos del hotel en que nos hospedábamos para dirigirnos a pie hasta el instituto.



Stephen Hawking (izquierda) y George Smoot en una conferencia celebrada en Berkeley, en diciembre de 1992.

En el camino, hablamos del fondo cósmico de microondas y el principio de Mach, del modo en que se relacionaban y acerca de lo que podría haber causado tal relación. Pasamos tan bien el tiempo y nos sentimos tan cerca de establecer un vínculo, que convinimos en almorzar juntos y continuar con nuestra discusión. Era un día hermoso. Steven Weinberg se nos unió, compramos pan, sardinas y cerveza Carlsberg³⁸ y fuimos a sentarnos a la hierba debajo del cielo y los árboles. En un momento dado, Weinberg nos preguntó: «¿Qué sabéis sobre las transiciones de fase?» Yo respondí: «Sólo lo que aprendí en el curso de termodinámica de Philip Morse y en el laboratorio de física. Recuerdo perfectamente el experimento de la transición de fase; cuando el líquido pasó el punto crítico, todo quedó nuboso y desorientado, y, después de un breve instante de calma, se congeló de golpe.»

³⁸ La Fundación Carlsberg era la principal auspiciante del simposio y siempre ha demostrado un gran interés por la ciencia. Las instalaciones de la fábrica tenían línea directa con la casa de Niels Bohr, de modo que siempre podía tener a mano una cerveza y la Fundación Carlsberg su inspiración.

«Pues bien —dijo Weinberg—, estoy trabajando en transiciones de fase en el universo primitivo y necesito saber si la transición de fase del GUT es de primer orden (y por lo tanto discontinuo, como del agua al hielo) o de segundo orden (suavemente continuo). Las transiciones de fase son importantes.»

Nuestra conversación volvió a la radiación cósmica de fondo. Sciama mencionó lo apropiado que era que el simposio se realizara en la casa de Bohr, ya que él había sido uno de los descubridores de la mecánica cuántica, y ésta, apuntó, no sólo proporcionaría la explicación del origen y la isotropía de la radiación cósmica de fondo, sino que serviría como vía de escape de la singularidad inicial, los agujeros negros y el comienzo del universo.

Los teoremas de Roger Penrose y Stephen Hawking acerca de la singularidad nos informan de que si nos extrapolamos lo suficiente en el pasado, nuestro espacio-tiempo se convierte en un punto geométrico, lo cual significa una catástrofe tanto para nosotros como para la teoría. No obstante, a medida que miramos hacia atrás, la materia y el espacio-tiempo del universo se contraen en un volumen cada vez más pequeño, provocando efectos de mecánica cuántica de importancia creciente. El principio de incertidumbre de la mecánica cuántica (Heisenberg) nos dice que tanto la materia-energía como el espacio-tiempo pueden fluctuar. Las fluctuaciones de la materia-energía incrementan el efecto de la gravedad, del mismo modo que si lucháramos contra arenas movedizas sólo conseguiríamos empeorar las cosas. Sin embargo, señaló Sciama, la curvatura de las fluctuaciones del espacio-tiempo hace lo opuesto, y es por esa razón que disminuye el efecto de la gravedad. La gravedad debilitada violaría las condiciones necesarias para que el teorema de la singularidad sea verdadero, y permitiría escapar de la singularidad inicial. Hawking ha calculado que esto es lo que ocurre cerca de un agujero negro muy pequeño que permite la emisión ocasional de partículas. Esta emisión proveniente de los agujeros negros es la llamada «radiación Hawking». Sciama estimó que los efectos cuánticos, a través de la emisión Hawking de energía y partículas durante la fase cuántica de la cosmología, podrían ser el origen de la radiación cósmica de fondo y, a la vez, evitar la singularidad, con lo que se matarían dos pájaros de un tiro. Esta conversación sobre la hierba abordó todos los elementos de la inflación, una idea para la que, evidentemente, había llegado la hora.

Por aquellos días, Katsuhiko Sato, que se había marchado de Japón para trabajar en Copenhague, pronto se daría cuenta, del mismo modo que Guth a un continente de distancia, de que la física de la gran unificación podía conducir a un universo inflacionario. También advirtió algo acerca de esta inflación que en un primer momento Guth no vio: que la inflación que hizo uniforme el universo primitivo también habría producido pequeñas fluctuaciones, con la consecuente formación de galaxias. Sin embargo, el trabajo de Sato tardó en ser publicado; aunque fue aceptado por una revista a principios de 1980, no apareció hasta finales del año siguiente. Debido a una curiosa coincidencia, las condiciones para revolucionar la comunidad científica ya estaban dadas.

En el verano de 1982 Stephen Hawking organizó en el Nuffield College de Oxford, Inglaterra, un ciclo de conferencias sobre el universo primitivo. Entre los ponentes se encontraban Alexei Starobinsky, Alan Guth, So Young Pi, James Bardeen, Paul Steinhardt, Michael Turner, y otros. Todos se centraron en la idea de que las fluctuaciones cuánticas podrían producir perturbaciones sin que la uniformidad de la inflación se desbordara. Una fluctuación cuántica —una minúscula arruga en el espacio-tiempo — producida tempranamente durante la inflación, sería estirada hasta adquirir una longitud tremenda por la misma expansión que hizo el espacio tan uniforme y grande. Una arruga generada poco después en la expansión sufriría un estiramiento menor, y así sucesivamente. Si la tasa de expansión del universo fue constante, entonces todas las fluctuaciones cuánticas tendrían el mismo tamaño característico de la arruga, pero su longitud variaría de acuerdo al lugar donde se originaron. La inflación no puede borrar las fluctuaciones cuánticas, pero las establece como ondas "macroscópicas de tamaño cosmológico dispersas a través del espacio— tiempo. Algunas serán de la envergadura necesaria para producir estructuras como las que vemos en la actualidad. Estas arrugas produjeron un aumento gravitacional de la materia visible y oscura, formando estructuras, desde galaxias hasta supercúmulos, etcétera.

¿Cómo fueron distribuidas las arrugas primordiales para que podamos explicar las actuales estructuras cósmicas? A principios de la década de 1970, Edward Harrison, de la Universidad de Massachusetts, y Yakov Zeldovich, en Moscú, consideraron la cuestión de manera independiente. Llegaron a la conclusión de que la distribución

de los objetos celestes visibles —galaxias, cúmulos, supercúmulos y otras estructuras gigantescas, como el *Great Attractor*— sólo podría haberse producido si la distribución de las fluctuaciones no dependiese de su tamaño físico. Sí hubiese habido muchas más fluctuaciones menores que mayores, el universo estaría plagado de agujeros negros, con algunas estructuras tan grandes como supercúmulos. Por el contrario, una preponderancia de grandes fluctuaciones habría conducido a un universo dominado por megaestructuras. En este último caso, semejantes focos celestes de atracción gravitacional habrían conducido la Vía Láctea (y otras galaxias) a través del espacio a velocidades tales que nuestros 600 kilómetros por segundo parecerían un plácido paseo por el campo. Imagínese el lector cómo habrían reaccionado los astrónomos ante esto, dado su pertinaz prejuicio contra cualquier movimiento peculiar de las galaxias.

Actualmente parece claro que la inflación es el concepto que más ha influido en la cosmología moderna. Aunque no resuelve todos los enigmas sobre los orígenes del universo, proporciona algunas soluciones persuasivas para muchos de ellos. La cuestión ahora es saber cómo ocurrió este Big Bang dentro del Big Bang.

¿Cómo pudo una expansión tan breve como explosiva —y tan diferente de la expansión normal del Big Bang— ocurrir en la vida temprana del universo? Es en este punto que Guth ha señalado la necesidad de un matrimonio armónico entre astrofísicos y físicos de partículas.

El universo primitivo era extremadamente caliente y denso, y es por ello que tenía una alta densidad energética. Si asumimos que se expandió a pasos agigantados, su ritmo de expansión declinará a causa de la atracción gravitacional. A menos, claro está, que el espacio recientemente creado llegue con su propia densidad energética y ésta pese más que la densidad de materia-energía, con lo cual el proceso de expansión seguirá adelante a un ritmo acelerado. ¿Cómo puede ocurrir esto?

Como fuente de inspiración, Guth recurrió a las teorías de la gran unificación. Al final de la era de los GUT — 10^{-34} segundos después del Big Bang— la simetría se rompió produciendo, bien fuerzas de gran carga eléctrica, bien de carga eléctrica débil. Después de que esta simetría fuese rota, las fuerzas y la materia se unificaron dotando, posiblemente, al vacío primordial de gran densidad energética. Por esta razón, la expansión pudo continuar a un ritmo constante: el tamaño en escala del

universo podía duplicarse aproximadamente cada 10^{-38} segundos. A este ritmo, en 10^{-35} segundos la escala del universo se duplicaba unas mil veces. Aunque parezca dicho a la ligera, esto basta, por sí solo, para demostrar el poder de la inflación —o el interés compuesto—, capaz de aumentar el tamaño del universo 10^{70} veces en el tiempo que nos lleva parpadear.

Si éste es el modo en que la inflación comenzó, ¿cómo se detuvo?, ¿cómo se llevó a cabo la transición entre un período de expansión acelerada y uno de expansión continua pero desacelerada? En 1982, Paul Steinhardt y Andreas Albrecht, de la Universidad de Pennsylvania, y Andre Linde, en Rusia, sugirieron la manera. Esta transición es importante desde el momento en que la tremenda expansión de inflación ha hecho que el espacio sea extremadamente frío y vacío. Cuando la densidad energética se escurrió desde el vacío hacia las partículas y la energía, la gravedad comenzó a ejercer su efecto de atracción retardando lentamente la expansión. En consecuencia, la fase de aceleración inflacionaria comenzó a detenerse. Ahora podemos ver por qué nuestro universo actual se expande de la manera que lo hace: se trata de las secuelas de la fase acelerada de expansión.

Si observamos atentamente el marco inflacionario, llegaremos a otra importante revelación. Para que la inflación tenga lugar la densidad energética en el espacio depende de que la energía total — esto es, la energía del espacio propiamente dicho menos la atracción gravitatoria de otras partes de ese mismo espacio— sea, esencialmente, nulo. Por lo tanto, aún podemos conservar energía y permitir que todo el universo surja prácticamente a partir de la nada. A la inflación le basta con una pequeña región en la configuración correcta para escaparse y producir una burbuja en el espacio tan vasta como todo lo que actualmente podemos contemplar. El lector comprenderá ahora por qué la inflación da un nuevo significado a la cuestión filosófica planteada por la frase «hecho a partir de la nada».

Pero, ¿de qué manera llegaron las condiciones a ser correctas en esa pequeña región? Este es, todavía, un misterio sin resolver. Existen teorías, por supuesto. Algunas personas —Andre Linde, por ejemplo— sostienen que el universo es caótico y la escala natural es la completamente unificada, de modo que puede haber muchas burbujas de inflación y espacio caótico. Otros, como Stephen Hawking, teorizan acerca de un comienzo definitivo y perfectamente definido. Para los

cosmólogos, la cuestión del «comienzo» resulta tan ineludible como para los teólogos.

Entretanto, deleitémonos con el poder del tan sugestivo concepto de inflación, el cual nos permite resolver muchos rompecabezas al tiempo que nos revela la tenuidad de nuestra existencia. El hecho de que Omega no pueda tener otro valor que 1 nos da una idea de lo cerca que estuvo nuestro universo de no existir. La mínima desviación de Omega habría condenado nuestro universo potencial al olvido. Y cuando advertimos que una perceptible inclinación en el espectro de la fluctuación cuántica habría producido, en cambio, un inmenso enjambre de agujeros negros o un cosmos poblado de torpes gigantes, nos damos cuenta, una vez más, de cuán fácilmente las cosas podrían haber sido muy distintas de lo que son. No obstante, como sostiene la teoría de la inflación, las condiciones iniciales y el proceso temprano *tuvo* que ser como fue.

Estas observaciones, en particular el requerimiento de que Omega sea exactamente igual a 1, sacudieron de tal modo a algunos teóricos incrédulos que en su desesperación volvieron los ojos al principio «antrópico», término acuñado en 1974 por Brandon Carter, cosmólogo de la Universidad de Cambridge. La idea se expresa de diferentes maneras. Cada una se refiere a nosotros como observadores y a las condiciones necesarias para que nuestro universo sea habitable. Existe una larga lista de leyes físicas y condiciones que, con ligeras variantes, podrían dar como resultado muchos universos diferentes o incluso ninguno en absoluto. El requerimiento Omega igual a 1 está por encima de todas. Tal vez se formaron otros muchos universos que no reúnen este requisito, pero en ellos la vida es imposible. Nuestro Omega es igual a 1 sencillamente porque si no lo fuera no estaríamos aquí para enterarnos. Para Guth y otros escépticos, yo incluido, el principio antrópico es insatisfactorio. Recuerdo que en una ocasión el propio Guth dijo, bromeando: «El principio antrópico es algo que la gente dice porque no se le ocurre nada mejor.» La Parábola de los Peces Filósofos ilustra perfectamente el peligro de esta opinión. Estos moradores de las profundidades que periódicamente se reúnen para impresionarse a sí mismos y a los otros con su perspicacia y bioluminiscencia, caen en la falacia de utilizar los propios conocimientos para decir que las cosas deben ser de la forma que son o gente tan inteligente como ellos no podría existir. Un pez

filósofo particularmente brillante llega a la conclusión de que el espacio —el agua que lo rodea— era homogéneo y simétrico e incluso templado, lleno de nutrientes y con la presión justa para permitir la vida en él. Si las cosas hubieran sido distintas, él seguramente no habría existido. Si la presión fuese diferente, su cuerpo habría implotado o explotado. Otro pez filósofo lo interrumpe para hablar del «principio ictiotrópico». Por fin, todos los peces filósofos se congratulan que su ingenio ilumine las tenebrosas profundidades del mar. Entretanto, no se han dado cuenta de que una red de pesca se ha cerrado alrededor de ellos y los arrastra inexorablemente. «Eh, amigos —dice, dirigiéndose a sus colegas, el biólogo marino que sostiene la red—, hemos cogido una buena cantidad de estos pobres diablos. Debían de estar en la escuela o en el trabajo.» Los otros científicos no lo oyen. Están pasmados ante la visión de unas luces muy brillantes que se mueven en el cielo. Ni siquiera se han dado cuenta de que su barco se desliza... Decir que las cosas deben ser como son simplemente porque nosotros existimos puede llevarnos a una visión provinciana y narcisista del universo.

Muchas de las cosas que, según los cosmólogos pensaban en 1974, armonizaron de manera milagrosa para permitir la vida y la existencia humana, son explicadas clara y contundente por la inflación. En su libro *The Early Universe*, Rocky Kolb y Mike Turner dicen: «Para ninguno de los autores queda claro cómo un concepto tan poco convincente como la "idea antrópica" pudo ser elevado a la condición de principio». Comparto esta opinión. Creo que un conocimiento más completo de las observaciones conducirá a modelos y teorías que, de un modo sencillo y elegante, explicarán por qué las cosas son como son. Cualesquiera que sean esos conceptos y descubrimientos futuros estoy seguro de que, como ha ocurrido con la inflación, nos sorprenderán y deleitarán con su simplificación y unificación de la naturaleza.

A pesar de su alcance y poder, la teoría de la inflación no está en condiciones de mostrarnos los distantes ecos de la creación tal como sostiene de modo tan convincente. La teoría explica por qué la radiación cósmica de fondo es extraordinariamente suave, tal como nosotros —y otros— hemos observado. La tarea de hallar señales de pequeñas perturbaciones en el fondo —que deben existir si nuestra concepción del mundo es correcta—, corresponde a quienes se desenvuelven en el ámbito de la experimentación.

Capítulo 10

La promesa del espacio

En 1974 comenzó la era de los satélites cosmológicos. En sus anuncios de oportunidades números 6 y 7, la NASA invitaba a los investigadores a proponer misiones astronómicas para satélites Explorer, tanto de tipo pequeño como mediano. Se trataba de la ocasión que yo esperaba desde hacía tiempo. En realidad, era algo con lo que había soñado desde niño, cuando leía los libros de Arthur C. Clarke sobre ingeniería y ciencia, así como sus obras de ciencia ficción. Clarke inventó conceptos como el de «satélite geoestacionario» que, según decía, podría ser usado para comunicaciones y entretenimiento, y propuso un desarrollo ordenado del programa espacial. Era un visionario tremendamente imaginativo y sus visiones sobre el espacio como nueva frontera me enardecieron. En 1957, cuando los soviéticos lanzaron el *Sputnik*, me di cuenta de que el futuro que profetizaba Clarke podía ser posible. Pronto me encontré escuchando la señal del satélite y soñando con el día en que pudiese trabajar en el espacio. Sí, se trataba de una fantasía romántica, pero incluso un crío como yo sabía que la nueva ciencia se desarrollaría en el espacio. Ahora, veinte años después, el anuncio de la NASA era un signo de que tal perspectiva se había convertido en realidad. Casi no podía creer en mi buena suerte.

Yo había trabajado en cosmología durante cuatro años, convencido de que era el ámbito donde las cuestiones fundamentales serían planteadas y respondidas. Había tenido mi primera experiencia lanzando a la estratosfera, a bordo de globos, instrumentos científicos exquisitamente sensibles, y muchos de ellos se habían perdido para siempre o habían acabado convertidos en chatarra. Por otra parte, acababa de embarcarme en la emocionante tarea de convertir un avión espía —el legendario U-2— en un observatorio volante para buscar las claves del universo a través de la radiación cósmica de fondo. Pero los satélites eran exactamente lo que yo deseaba. Me enfrentaría al desafío técnico que suponía diseñar un instrumento capaz de funcionar en el espacio; podía esperar, aún siendo realista, datos cualitativamente superiores a los que habían proporcionado nuestros anteriores observatorios instalados en tierra, globos o aviones, y de esa manera adquirir una

nueva percepción de los problemas que se le planteaban a la cosmología. Sería un dulce romance.

O al menos eso creía. Debo admitir que, cuando estaba ideando una respuesta para el anuncio publicado por la NASA en 1974 —para lo cual contaba con el entusiasmo y el aliento de Luie Álvarez, nuestro jefe de grupo—, ignoraba por completo las dificultades y angustias que nos esperaban. Y eso tal vez fuese una gran ventaja.

Comprendí que, por un momento, tendría que hacer juegos malabares para conciliar la inmediata tarea de poner en marcha la aventura del U-2 con el desarrollo de ideas para el naciente proyecto. Sin embargo, consideraba que el segundo de los proyectos era el sucesor natural del primero, y que cada uno podía aprender de los errores y los éxitos del otro.

De inmediato, mis colegas de Berkeley y yo nos pusimos a esbozar una propuesta —en realidad, se trataba de dos en una— para experimentos cosmológicos cuyo soporte podían ser los satélites Explorer. Ambas concernían a aspectos de la radiación cósmica de fondo. El primer experimento consistiría en la realización de un mapa de microondas celestes, para buscar señales en aquélla, evidencias de las elusivas arrugas. El segundo, que requería un instrumento de mayor tamaño, mediría el espectro de la radiación de fondo para determinar hasta qué punto era, en realidad, una reliquia del Big Bang con la esperada curva térmica, o de cuerpo negro. Conjeturé que el menor de ambos experimentos sería el que mayor probabilidad de éxito tendría, por lo que me concentré en él. El instrumento de medición del espectro se hizo tan grande que decidimos que requería un satélite sólo para él.

Para nuestros instrumentos, estar en el espacio suponía una ventaja enorme. Ninguna contaminación atmosférica interferiría en las mediciones, ni correríamos el riesgo de que las condiciones climáticas desbaratasen el experimento; podríamos hacer calibraciones fácilmente, sin que el agua se condensase o la atmósfera se congelara. La rotación del satélite y la órbita que trazaría exploraría automáticamente el cielo. El espacio proporciona un entorno más fácil de controlar y con una temperatura más homogénea que la Tierra. Por otra parte, contaríamos con más tiempo de observación para conseguir la sensibilidad y calibraciones necesarias. Las cosas serían mucho mejores desde todo punto de vista.

Inicié nuevos contactos con la Ball Brothers Research Corporation, con quienes habíamos estado trabajando en el satélite de Observatorios Astrofísicos de Alta Energía, una extensión de nuestro programa de antimateria y rayos cósmicos, en Berkley. Luego establecí lazos con Hughes Aircraft Electrosystems y con Aerojets Spacesystems, en particular con un grupo encabezado por Herb Pascalar. Necesité la pericia de las tres compañías para aprender el modo en que unos instrumentos que habían sido concebidos para operar desde un globo o un avión pudieran hacerlo en un satélite espacial. Aunque las exigencias intelectuales eran las mismas, me sentí más un empresario en alta tecnología que un científico. Por ejemplo, en la propuesta por escrito, Tim Tyler, de la Ball (quien más tarde se decidió por un proyecto sobre el uranio) y yo desarrollamos una nueva metodología para responder al comportamiento de los instrumentos, especialmente a aquellas cosas que podían ir mal, los llamados «errores sistemáticos». Gran parte de lo que habría de hacer los próximos veinte años sería una continuación y una modernización de este esfuerzo, de modo que me mantendría en el ámbito de la ciencia.

Entretanto, Samuel Gulkis, Mike Janssen y sus colegas del Laboratorio Jet Propulsión, en Pasadena, estaban elaborando su propia propuesta. También ellos creían que un experimento que requiriese un «pequeño» Explorer tendría más posibilidades de ser aprobado y financiado. Decidieron concentrarse en la exploración de la radiación cósmica de fondo. Su diseño no era para un radiómetro diferencial de microondas, sino para un radiómetro de potencia total en una nave espacial que girara rápidamente a una órbita elevada. Aunque el concepto era bueno, tenía el inconveniente de que resultaba irrealizable con la tecnología de que en ese tiempo se disponía.

En la ciudad de Nueva York, sin saberlo nosotros, Pat Thadeus habló del anuncio de la NASA con John Mather, y sugirió: «¿Por qué no intenta proponer algo?» John y Pat formaron un equipo con Rainer Weiss y Dirk Muehler, del MIT, David Wilkinson, de Princeton, y Mike Hauser y Bob Silverberg, del Centro Espacial Goddard, de Maryland. Entre todos redactaron una propuesta de satélite cosmológico criogénicamente enfriado, lo cual, según reconoce el propio John, parecía «una idea completamente loca». «La verdadera locura — explica — residía en pensar que sabíamos lo que estábamos haciendo.» La propuesta incluía un experimento para

abordar la confección de mapas de fondo cósmico (semejante al nuestro), impulsado por David Wilkinson y Ray Weiss; un experimento para medir el espectro de la radiación cósmica de fondo, que era una extensión del aparato que John había confeccionado para su tesis doctoral; y un pequeño telescopio para medir el fondo cósmico de infrarrojos, es decir, el brillo proveniente de los primeros objetos luminosos (estrellas y galaxias, presumiblemente).

La NASA recibió más de 120 propuestas llegadas de toda la nación. Los que nos inclinábamos por la cosmología constituíamos una minoría: sólo tres grupos —el mío, el de Gulkis y el de Mather— eran partidarios de lanzar satélites para observar la radiación cósmica de fondo. La propuesta de mi grupo se centraba en la búsqueda de arrugas en la radiación cósmica de fondo, para lo cual nos valdríamos de un pequeño instrumento lanzado a bordo de un cohete de bajo costo, al que pusimos por nombre *Scout*. La propuesta de Gulkis era similar a la nuestra, en tanto que la de John necesitaba un satélite de lujo.

Mi instrumento de medición del espectro fue rechazado por demasiado grande y arriesgado. Al equipo de John, con un espectro más pequeño y un experimento de fondo difuso de infrarrojos, se le propuso unirse a un grupo que proyectaba el «*infrared astronomy satellite*» (satélite infrarrojo de astronomía), o IRAS. Parecía como si hubiese un conflicto entre el Laboratorio Jet Propulsión y nosotros sobre cuál sería la propuesta aceptada. Ambos grupos podíamos terminar unidos en una especie de matrimonio a la fuerza, procedimiento muy del gusto de la NASA por aquellos tiempos. Antes de que llegara el momento de tomar una decisión, el grupo de John fue separado del IRAS sin explicación alguna. El cuartel general de la NASA decidió que los tres grupos —el de Gulkis, el de Mather y el mío— debíamos trabajar juntos. En 1976 seis de nosotros (Sam Gulkis, Mike Hauser, John Mather, Rainer Weiss, Dave Wilkinson y yo) constituimos un equipo de estudio que debía encargarse de evaluar y desarrollar nuestras ideas. El grupo inicial se vio incrementado por nuevos integrantes afines a la propuesta, y también por ingenieros y administrativos. Mike Hauser instó a John Mather a que abandonara el Centro Espacial Goddard y juntos convencieron a los directivos de éste de que se comprometieran con nuestro proyecto.

Propusimos una misión llamada «*cosmic background explorer*» (explorador cósmico de fondo), o COBE, que portaría tres instrumentos. Nuestra idea era emplear un radiómetro diferencial de microondas (DMR) — semejante al que habíamos utilizado en el U-2, pero más sensible— para trazar el mapa del universo tal como debía de ser 300.000 años después del Big Bang y buscar las semillas cósmicas primordiales. Yo sería el investigador principal del DMR. John Mather estaría a cargo del proyecto de «*infrared absolute spectrophotometer*» (espectrofotómetro infrarrojo absoluto), o PIRAS, que mediría la curva espectral que indica la cantidad de energía de cada longitud de onda de la radiación; su forma global nos diría si la radiación había sido producida por el suceso del Big Bang o por alguna otra cosa. Mike Hauser, por su parte, tendría a su cargo el «*diffuse infrared background experimente*» (experimento de fondo difuso de infrarrojos), o DIRBE, que buscaría el fondo cósmico de infrarrojos, el brillo de los más antiguos objetos luminosos, como las estrellas y las galaxias. Éstas podían datar de diez o cien millones de años después del Big Bang. El alcance del COBE —en el caso de que el proyecto fuese aprobado— sería, en efecto, reunir una serie de «fotos de infancia» del cosmos recién nacido, tomadas en tiempos distintos para mostrar los diferentes pasos de su evolución. Significaría la mayor aventura de la cosmología y, seguramente, un trampolín para que la ciencia alcanzase nuevos niveles de logros técnicos. Los funcionarios de la NASA, por su parte, estaban habituados a los científicos cuyas ideas iban por delante de las rigurosas exigencias de contar con instrumentos que no requiriesen de la mano del hombre para su funcionamiento en el frío vacío del espacio. Antes de que se comprometieran debíamos convencerlos de que sabíamos qué queríamos hacer y cómo conseguiríamos que los instrumentos lo hiciesen. Sería un proceso lento. Pasarían seis años.

En Berkeley, entretanto, seguimos con nuestras investigaciones, observamos la radiación cósmica de fondo desde la cima de White Mountain, lanzamos los U-2 desde el norte de California y Perú, y trabajamos de firme en la concepción del COBE. Comencé a viajar de Berkeley al Centro Espacial Goddard, de la NASA, y comenzamos a formar el grupo que se encargaría del instrumento DMR. Era el comienzo de un largo viaje. Cuando estaba en el Goddard me pasaba parte del tiempo en el Edificio 2, trabajando con los otros científicos involucrados en el

proyecto COBE, y parte en el Edificio 19, a la busca de un puñado de buenos ingenieros. Los primeros a quienes comprometí fueron Roger Ratliff y John Maruschak —un dúo que formó el núcleo de ingenieros del grupo DMR en Goddard—. Los instruí en la justificación científica de los experimentos y en los requerimientos para el instrumento DMR. Ellos, a su vez, me informaron acerca de los requisitos de la ingeniería espacial.

Yo sabía, después de mis trabajos de observación en tierra y la aventura del U-2, que poner a prueba y calibrar los nuevos DMR en proceso de desarrollo iba a ser un serio problema. No podíamos permitirnos correr el riesgo de que, una vez en órbita, el DMR comenzase a fallar. Insistieron en que demostráramos, en condiciones operativas, que el instrumento modificado funcionaba correctamente.

La NASA debe de haber hecho un pacto con el destino. Mientras pensábamos en la mejor manera de poner a prueba el DMR, un hecho inesperado nos llevó a tratar de poner el instrumento en órbita cuanto antes.

En 1980 comenzaron a correr noticias en la comunidad cosmológica de que dos equipos científicos —uno italiano, el otro estadounidense— habían hecho un descubrimiento de la mayor importancia. De acuerdo a los rumores, habían detectado la primera prueba de anisotropía cósmica que era intrínseca a la radiación cósmica de fondo, suceso no relacionado con el movimiento de la Tierra y la galaxia. El equipo italiano estaba dirigido por Francesco Melchiorri, de la Universidad de Florencia, y el estadounidense por David Wilkinson, de Princeton, pionero en la búsqueda de la radiación cósmica de fondo. Ambos equipos habían lanzado globos con instrumentos a bordo, y ambos habían detectado posibles pruebas de un cuadrupolo cósmico. La noticia nos dejó completamente aturdidos.

Un dipolo —como el detectado por nuestro U-2— tiene dos polos, las partes más frías y calientes del cielo, que resultan de nuestro movimiento relativo respecto de la radiación cósmica de fondo. Un cuadrupolo es un modelo de la temperatura en el cielo con cuatro polos, dos calientes y dos fríos, en un esquema simétrico. Un cuadrupolo puede ser causado por muchas cosas, y es probable que todas sean importantes. Por ejemplo, podía constituir una prueba de la rotación cósmica o de que el universo se expande más rápidamente en una dirección que en otra. También se tendría una distorsión de temperatura cuadrupolar si una onda

gravitatoria con longitud de onda muy larga pasase por esta región del espacio. O también —la posibilidad más importante de todas— un cuadripolo y otras muchas fluctuaciones polares podían deberse a los efectos de las tan buscadas arrugas, esto es, podían ser anisotropías de radiación cósmica de fondo que marcaran fluctuaciones de densidad primordial —las semillas de los futuros cúmulos de galaxias—. Nuestro U-2 no había detectado ningún cuadripolo, pero la señal indicadora tal vez fuera demasiado débil para los instrumentos de medición con que contábamos.

¿Habían descubierto Wilkinson y Melchiorri el Santo Grial de la cosmología antes de que empezáramos a observar?

Ante los informes reaccionamos cautelosamente y hasta equívocamente. Por una parte, observamos que ambos equipos habían reunido datos a longitudes de onda en que la emisión de nuestra galaxia es un contaminante significativo. Debido a esto, el cuadripolo podía ser una ilusión causada por la radiación de microondas que emite la Vía Láctea. Por otra parte, según dijimos en un artículo publicado en la *Physical Review Letters*, «Las teorías actuales sugieren una interpretación natural para este tipo de anisotropía, como si surgieran de fluctuaciones de densidad». En otras palabras, las semillas cósmicas largamente buscadas que habrían originado las galaxias, los cúmulos, los supercúmulos y los cúmulos de cúmulos.

Me habría alegrado que Wilkinson y Melchiorri hubiesen encontrado las semillas. Después de todo, a principios de la década de 1980 los continuos fracasos a la hora de detectar las arrugas comenzaban a preocupar seriamente a los cosmólogos. Los detectores de mejor sensibilidad fallaban en la detección de variaciones de temperatura a un nivel de una parte en cien. Luego, nuestro experimento en el U-2 llegó a una parte en mil; debido a nuestro movimiento halló la anisotropía del dipolo, y eso fue todo. Ahora, la sensibilidad de los nuevos instrumentos permitía llegar a una parte en diez mil, pero los resultados seguían siendo los mismos. La formación de galaxias requería la existencia de semillas primordiales y, por ende, de fluctuaciones en el fondo cósmico. La teoría cosmológica exigía que las fluctuaciones existiesen, y la inflación proporcionó un modo de que se formaran. Su posterior descubrimiento sería de la mayor importancia en la historia de la cosmología, y a

pesar de que quería ser uno de los descubridores estaba dispuesto a aplaudir a cualquiera que lo hiciese antes que yo.

Pero antes de aplaudir teníamos que asegurarnos de que el cuadripolo recientemente descubierto era real. Yo había planeado continuar el experimento del U-2 con un receptor nuevo y mejor. En el Laboratorio Lawrence y en el Laboratorio de Ciencias Espaciales habíamos construido un receptor líquido enfriado con nitrógeno para adaptarlo a nuestro instrumento del U-2. La tecnología de los receptores de radio había avanzado mucho: los receptores fríos producían menos ruido en el instrumento. Era natural que quisiéramos probarlo y ver cómo funcionaba. Yo había propuesto a la NASA poner estos receptores fríos a bordo de un U-2. Ahora que se anunciaba el descubrimiento del cuadripolo, solicité aprobación para observarlo y controlarlo. Pero la burocracia imponía tantas demoras que resultaba frustrante.

Simultáneamente, ciertos teóricos preocupados decidieron revisar sus teorías para explicarse por qué eran incapaces de detectar las arrugas. Pero uno sólo puede reescribir sus teorías si está dispuesto a alcanzar límites fundamentales. Si la atracción gravitatoria había formado estructuras de las fluctuaciones primitivas de densidad bariónica, entonces debía de haber fluctuaciones de una parte en diez mil. Si la materia oscura fría había existido en la densidad crítica, era posible rebajar hasta una parte en cien mil, aproximadamente. No era necesario descender tanto para hallar que la gravedad había hecho las estructuras que vemos, como galaxias y cúmulos. Si no encontrábamos fluctuaciones a un nivel de pocas partes por millón, podíamos darnos por vencidos, ya que significaría que era necesaria alguna fuerza nueva y que no teníamos ni idea de lo que había ocurrido en el universo primitivo; se trataría de un nuevo juego del que ignorábamos las reglas.

La nueva urgencia a la que nos enfrentábamos fue recompensada con más frustraciones: el lanzamiento del COBE había sido postergado, principalmente a causa de que el satélite IRAS lo había sido antes que él. Pero lo peor de todo era que no existía ningún U-2 disponible en el cual instalar cuanto antes nuestro radiómetro diferencial de microonda. ¿Cómo probaríamos nuestros instrumentos para satisfacer a la NASA?

Sólo quedaba una opción: los globos.

Dada mi experiencia anterior con los globos —y mi fracasado romance con ellos— habría elegido cualquier otra alternativa.

A pesar de aceptar de mala gana el hecho, me concentré con entusiasmo en lo que debía hacerse. Buscaríamos el posible cuadripolo a una longitud de onda diferente —tres milímetros—, donde la contaminación galáctica se reduce sustancialmente. Si aún veíamos el cuadripolo a través de la ventana galáctica, tendríamos una razón mucho más fuerte para creer que la cosmología estaba a las puertas de un descubrimiento decisivo, aunque no se tratara de las arrugas. Planeamos lanzar cuatro globos: dos desde el hemisferio norte y otros dos desde el sur. Si los dos vuelos de cada hemisferio se efectuaban con unos meses de separación entre sí, abarcaríamos el cielo casi en su totalidad.

Discutí el proyecto con John Gibson, nuestro ingeniero electrónico, y con Hal Dougherty, nuestro mecánico «mágico», con quienes ya había trabajado en los experimentos de la antimateria y el U-2. Empezaron a trabajar en la góndola básica y los elementos electrónicos. Luego, tuve que buscar un buen graduado. Marc Gorenstein, mi colega del U-2, había terminado su doctorado y se había marchado al MIT a estudiar cuásares. Busqué otro estudiante destacado y pronto encontré a Gerald Jerry Epstein. Había regresado del MIT con una licenciatura conjunta en física y electrotecnia y acababa de llegar a Berkeley para obtener su doctorado en física. En un principio se mostró renuente a involucrarse en el proyecto del globo, y no puedo reprochárselo: su meta era trabajar como analista de política científica para el gobierno de los Estados Unidos (y así lo hizo más tarde, incorporándose a la Oficina de Asesoramiento Tecnológico del Congreso). Pero lo convencí de que llevar a cabo investigaciones propias haría que sus juicios sobre política científica nacional fuesen más acertados. Salir al campo, enfrentarse al mal tiempo, tratar con gente extraña, maniobrar el equipo y analizar datos podía ser una experiencia enriquecedora. Jerry acabaría agradeciendo que lo incorporásemos a nuestro grupo y creo que la experiencia le sirvió de mucho.

Por entonces recibí una llamada telefónica de Phil Lubin, el graduado que había intervenido en los experimentos con el U-2 en Perú. Phil quería desarrollar un receptor de longitud de onda de tres milímetros que estaría enfriado con helio

líquido a 4° K. Este receptor haría que el instrumento fuese dos o tres veces más sensible que el detector enfriado con nitrógeno líquido que yo había desarrollado en Berkeley. Phil y yo convinimos en colaborar en un proyecto conjunto.

Fue un trabajo duro. Elaboré las especificaciones y conexiones para un *dewar* de helio líquido (un contenedor especial para gases licuados) y luego encargué a una firma llamada Infrared Labs, que hiciera uno. Hal diseñó y construyó para el *dewar* un morro y una ventana a través de la cual nuestra antena de cuerno pudiese mirar. La antena tenía que mirar a través de una ventana porque su parte exterior sería enfriada con nitrógeno líquido hasta unos 80° K, mientras que la interior permanecería cerca de los 4° K. A esas temperaturas, el aire se congelaría sobre la antena. Jerry y Hal trabajaron en el diseño de la armazón y John se unió a ellos para desarrollar los nuevos componentes electrónicos del detector. Phil se ocupó del receptor de tres milímetros. Planeamos el experimento y nos aseguramos de que tomábamos en consideración todas las fuentes posibles de radiointerferencia, tales como la atmósfera, la Luna, señales dispersas provenientes de la superficie terrestre y toda una larga lista que yo había confeccionado para los experimentos del U-2 y el COBE DMR.

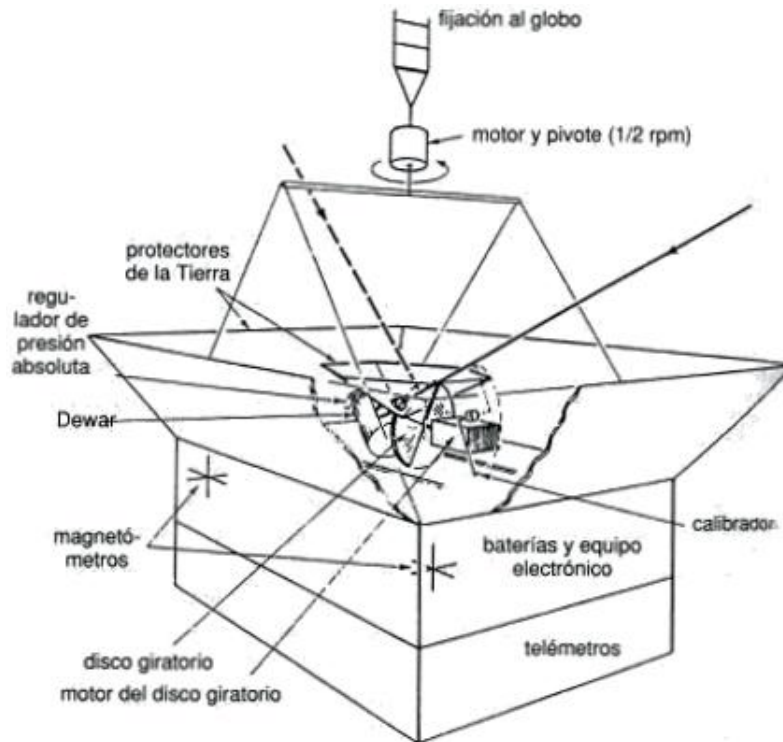
Uno de los mayores problemas consistía en cómo «desviar» la señal. Un radiómetro diferencial de microondas mide las diferencias entre temperaturas de dos partes del cielo. Nuestros DMR anteriores —que operaban a temperatura ambiente o eran enfriados con nitrógeno líquido— pasaban de una parte a otra del cielo utilizando conexiones electromagnéticas seguras y fiables. Pero era poco lo que se sabía sobre tecnología de conmutación para detectores que operasen a temperaturas tan bajas como la del helio líquido. Ideamos distintos esquemas de interruptor, pero ninguno era lo bastante bueno. Y necesitábamos algo rápidamente.

Esto nos llevó a desarrollar lo que llamamos la «máquina de cortar salami». Habíamos hecho mediciones del espectro de la radiación cósmica de fondo en distintas regiones del cielo. Del mismo modo, habíamos asegurado los DMR a bordo del U-2; tal como esperábamos, el resultado de la diferencia de señales idénticas fue cero. Luego se me ocurrió que podríamos valernos de un método similar para el tipo de desvío de alta velocidad de distintas regiones del cielo necesario para nuestro nuevo instrumento. Inclinaríamos nuestro detector para que observara el

cielo a 45° del cenit. Si frente al detector hacíamos rotar un espejo vertical de aluminio con grandes «tajadas» recortadas de modo que pareciera una hélice, el haz podría barrer dos partes del cielo en un arco de 90° . Vería el «verdadero» cielo a través de un hueco en el espejo, luego el cielo reflejado, luego otra vez el cielo verdadero, el cielo reflejado y así sucesivamente mientras las paletas de la supuesta hélice rotasen. Este proceso se llama «de tajamiento». Si hacíamos girar a gran velocidad el espejo, podríamos «tajar» rápidamente, o al menos lo bastante para conseguir las mediciones de alta sensibilidad que necesitábamos. También la separación de 90° nos permitía alcanzar la máxima sensibilidad, pues en una anisotropía cuadrupolar los polos caliente y frío deben estar a una distancia de 90° .

Un motor hacía rotar lentamente la góndola, girando una vez ésta y otra el globo (de este modo, esperábamos que no retorciera el paracaídas). El haz trazaría un círculo en el cielo, y la rotación de la Tierra durante la noche haría que se moviese. Como todas las mediciones estaban hechas a 45° de la vertical, las diferencias en la intensidad causada por la búsqueda en diferentes niveles de la atmósfera se anularían. En resumen, estaríamos en condiciones de confeccionar mapas. Todo lo que necesitábamos era un gran espejo que girase rápidamente.

Nos lanzamos a construir un sistema de espejo tajador. Hal cortó un espejo de 60 centímetros de diámetro de una hoja de aluminio muy pulida. Luego instaló la reluciente «hélice» en un motor que John Gibson había montado. Jerry y John resolvieron el modo de sincronizar la detección de la señal y la rotación del espejo. Programamos el equipo para que periódicamente levantase un blanco que emitiera una señal de intensidad conocida; si cada vez el detector medía el mismo nivel de emisión, entonces sabríamos que funcionaba bien. Pronto la máquina fue montada en el laboratorio. Pusimos en marcha el conmutador; el espejo comenzó a rotar. Elevó la velocidad hasta que alcanzó su meta de 700 revoluciones por minuto. Oímos cómo ronroneaba y silbaba al cortar el aire. Teníamos un tajador, con todo el aspecto de una gigantesca máquina de cortar salami. Un par de veces pasamos demasiado cerca de él y a punto estuvimos de hacernos daño, así es que lo rodeamos con una barrera protectora similar a la cadena de una bicicleta.



Perspectiva de la góndola del globo de Brasil. Obsérvese el disco.
(Lawrence Berkeley Laboratory.)

Perspectiva de la góndola del globo de Brasil. Obsérvese el disco. (Lawrence Berkeley Laboratory.)

Completamos muy rápidamente el DMR básico. Phil terminó el receptor de tres milímetros y junto con Jerry lo montaron en el *dewar*. Cuando todo estuvo listo lo llenamos de helio líquido, embalamos todo, incluida nuestra máquina de cortar salami, y lo llevamos hasta el terrado del Edificio 50 del Laboratorio Lawrence para ponerlo a prueba. Funcionó a la perfección. Ahora todo lo que necesitábamos era un globo que lo elevara suficientemente.

Palestine no había cambiado mucho desde mi última visita a comienzos de los años setenta, cuando lanzamos nuestros experimentos de antimateria. Por aquel tiempo su población era de 14.525 habitantes; en 1980, de 15.948. Forma parte del condado de Anderson, una región llana y arbolada al oeste de Texas. El condado fue fundado en 1840 por un pequeño grupo religioso. (Un día, mientras esperábamos que el tiempo mejorase, Jerry y yo condujimos hasta el viejo cementerio. Estaba dividido en cinco secciones —una por cada familia fundadora— correspondientes a

sendas religiones.) Al cabo de pocas décadas apareció el tren, lo que permitió que los rancheros enviaran al mercado su ganado y productos de granja. En la actualidad resulta difícil convencer a los más jóvenes de que se queden a trabajar en el rancho; prefieren ir a los centros universitarios de Austin y Houston, o conseguir un puesto de trabajo en la construcción del supercolisionador superconductor (SSC), en Waxahachie. Los visitantes no encuentran mucho que hacer, pero Palestine está orgullosa de sus dos bares *country and western*. El segundo *boom* del petróleo significó un gran cambio que no sólo trajo más restaurantes a la ciudad, sino más matones. Los viernes por la noche en el motel apenas eran ruidosos. Sólo vimos un coche en el aparcamiento.

Palentine es el hogar de las Instalaciones Científicas Nacionales para el Lanzamiento de Globos, cuyo personal está formado por vaqueros, ex alumnos e hijos de la tierra que han hecho del lanzamiento de globos una industria local más, como el cobre, el petróleo y el SSC.

La primera ley de los globos dice que lo que sube siempre tiene que bajar, aunque a veces sea en una propiedad privada. En ocasiones se trata de la propiedad de alguien a quien le enfurece mucho encontrar una pila de metales retorcidos y jirones de polietileno en sus mejores tierras. En esos casos, el afligido granjero llamará al sheriff y se hará indispensable el envío de una delegación para recuperar el globo.

Cuando más ocupada está la base de globos es a principios del verano (mayo-junio) y en otoño (septiembre). Los científicos prefieren lanzar sus cargas en esas épocas del año porque las corrientes de aire de gran altura invierten su dirección. Aunque los vientos suelen soplar al azar, por lo general son poco veloces y eso hace que los globos permanezcan en la misma área y no sea necesario perseguirlos durante varios kilómetros, en ocasiones hasta el golfo de México, como ocurre cuando los vientos prevalecientes son estables.

En julio de 1981, ya en Palestine, David Wilkinson estaba llevando a cabo un experimento de anisotropía para ser lanzado en globo y amablemente consintió en llevar el nuestro para que pudiésemos someterlo a prueba. Cuatro meses más tarde, y después de efectuar algunos ajustes como resultado de ese vuelo, preparamos otro, esta vez a bordo de un globo del MIT que transportaba el

experimento de la tesis doctoral de Mark Halperin, un licenciado que trabajaba con Ray Weiss. Después de un vuelo de ocho horas a una altura de 30.000 metros, la góndola fue desenganchada y aterrizó en Mobile, Alabama, al alba. Aparte de la inquietud que causaron entre los lugareños las inscripciones grabadas en la góndola —*PROPIEDAD DE LAS FUERZAS AÉREAS DE LOS ESTADOS UNIDOS*, entre otras—, la recuperación no supuso demasiados problemas. Empezamos a reunir datos que a la larga servirían para determinar la reivindicación del cuadripolo.

En el siguiente vuelo no hubo incidentes dignos de destacar. Utilizamos nuestra propia góndola. El 26 de abril de 1982, a las 7.45 de la tarde, hora local, la carga útil se elevó más de 28.000 metros. En un primer momento las corrientes de aire condujeron el globo hacia el este, luego hacia el sur, y después de once horas de vuelo descendió cerca de Baton Rouge, Louisiana. Aterrizó en una acequia. Cuando el equipo la sacó de allí, Jerry extrajo la cinta con los datos —semejante a una casete de música— y la metió en su mochila, junto con el pequeño motor que había hecho que la góndola rotara alrededor del globo. En definitiva, había sido un vuelo sorprendentemente tranquilo.

Esa noche, Jerry no pudo dormir. Yacía despierto en las penumbras de su habitación cuando tuvo una visión del interior de su mochila, en la que estaban la cinta y el motor. De repente, recordó que el motor contenía magnetos, y que éstos destruyen los datos registrados electrónicamente. Se levantó de un salto, se dirigió a tientas a donde estaba la mochila y sacó la cinta. Hasta que volviésemos a Berkeley y la introdujésemos en la computadora no había modo de saber si los datos habían sobrevivido. Imaginé nuestra reacción si meses de trabajo se perdían por un estúpido simple descuido.

«Yo era una persona muy nerviosa —recuerda—. Cuando estuve de vuelta en Berkeley no respiré tranquilo hasta que revisamos algunos minutos de la cinta. Afortunadamente, no había sufrido daños.»

No estábamos lejos de terminar con el análisis de nuestros datos cuando quedó claro que no existía ningún signo de cuadripolo. Ninguno. El equipo había funcionado bien y el dipolo era evidente, pero eso ya lo sabíamos desde nuestros experimentos con el U-2, de modo que teníamos prácticamente la certeza de que la ausencia de cuadripolo no era una ilusión. Sin embargo, para asegurarnos

decidimos verificar, una vez más, el cielo meridional. Procedimos tal como lo habíamos planeado, esta vez en Brasil, en octubre de 1982. Jerry, Phil y yo nos reunimos en Brasil con Thyrso Villela, un licenciado en física de la Universidad de Sao Paulo. Nuestra base de operaciones estaba ubicada en San José dos Campos, un centro de alta tecnología que incluía uno de los centros del programa espacial de Brasil.

La tarde del 19 de noviembre de 1982 nuestro globo fue lanzado desde el Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) en Cachoeira Paulista. Los cuatro miembros del grupo nos encargamos de controlar las señales de radio provenientes del globo, que funcionó sin fallos durante todo el vuelo. A la puesta del sol nos dispusimos a transmitir una señal para que la góndola se desprendiese y cayera con el paracaídas. Cuando explotaban los cerrojos que sujetaban la góndola al globo, estudiábamos la pantalla de datos para ver si se producía algún cambio repentino en la presión atmosférica, una señal de que la góndola caía a tierra.

Veintiséis segundos después de las 10.56 de la noche, un miembro del INPE apretó el botón para hacer estallar el dispositivo. No ocurrió nada. Repitió la operación una y otra vez, sin resultado alguno. Todos nos miramos preocupados. Después de tanto trabajo era imposible que una misión, hasta ese momento exitosa, terminase así. El globo continuaba navegando serenamente, sordo a nuestras órdenes. Como medida de emergencia, la góndola contaba con un mecanismo automático para soltar los cerrojos. También fracasó.

La verdadera tragedia fue la pérdida de la cinta de datos que iba a bordo. Aunque Jerry y yo pudimos elaborar un mapa parcial de la radiación cósmica de fondo basado en los datos que habíamos obtenido por telemetría, la cinta contenía información importante que sólo podía recogerse durante el vuelo, en particular aquella que se refería a calibración de alta precisión. Estábamos desconsolados; nuestra góndola seguía a la deriva en la estratosfera.

Jerry tenía sentimientos contradictorios respecto del alcance de la tragedia, ya que, en su opinión, los datos con que contábamos, sumados a los obtenidos por nuestros experimentos en Palestine, constituían material suficiente para su tesis doctoral. Recuerda que pensó: «Si esta cosa no vuelve, podré concluir mi tesis antes». Pero luego, horrorizado, se arrepintió de semejante ocurrencia. En cuanto a mí, juré que

sería mi última experiencia con un globo. ¿Podía haber algo peor que un globo perdido en la selva brasileña? La incertidumbre que rodeaba el lanzamiento del COBE no era nada comparada con la angustia física y mental que suponían esos malditos artilugios. Nunca más. Nos reunimos con ánimo sombrío alrededor de la mesa y discutimos acerca de qué podíamos hacer —si es que se podía hacer algo— para recuperar nuestra caprichosa góndola.

Cuando la noche cae y las cosas se enfrían, un globo tiende a contraerse, a perder su impulso y a acercarse más a la superficie terrestre. En cualquier caso, el nuestro no podía estar siempre arriba, ya que su gas se evaporaba lentamente. Los brasileños enviaron un avión para rastrear el globo, cosa que dio resultado durante medio día. El piloto aterrizó para repostar y se entretuvo en un bar tomando unos tragos. Para cuando regresó al avión, ya había oscurecido. Como la pista no estaba iluminada, no pudo despegar. Se ofreció a hacerlo, de todos modos, pero el jefe de vuelo del INPE no estuvo de acuerdo con la idea; no quería correr el riesgo de perder un piloto.

Esa noche del 20 de noviembre de 1982 perdimos la señal de telemetría. Al parecer, el globo había caído a tierra. Examinamos planos y mapas meteorológicos en un intento por calcular el lugar aproximado donde lo había hecho. A juzgar por las condiciones climáticas, podía encontrarse bien al este. Afortunadamente, la góndola contaba con un radiofaro. A la mañana siguiente alquilamos un helicóptero y una avioneta para dar caza al globo. Los pilotos sobrevolaron la jungla durante todo el día buscando una lámina blanquecina de plástico colgada sobre los árboles y atentos a la señal de radio. No vieron ni oyeron nada. Tampoco al día siguiente, ni al otro. Para entonces, las baterías del radiofaro debían de haberse agotado.

Phil regresó a los Estados Unidos. Jerry y yo continuamos con la búsqueda. Seguía sin haber rastros del globo. Imprimimos carteles ofreciendo una recompensa a quien pudiera aportarnos datos sobre la ubicación del globo y los repartimos por la región. Entregamos algunos en el INPE para que se encargaran de distribuirlos y pusimos uno en el aeropuerto de Sao Paulo, con la esperanza de que lo leyeran los pilotos y los pasajeros. La recompensa era de 450.000 cruzeiros, unos 2.000 dólares norteamericanos de entonces. Si alguien hubiese puesto ante nosotros la carga útil, los habríamos conseguido de algún modo. Nadie encontró nada, ni el más

pequeño trozo de polietileno. Volvíamos a sufrir el desastre de Aberdeen, sólo que esta vez lo perdimos todo. Supe como debió de sentirse el grupo que trabajaba con el proyecto HAPPE cuando éste se perdió en el océano.

Después de seis semanas, las autoridades brasileñas suspendieron la búsqueda del globo y regresamos a casa. Phil estaba desconsolado. Años antes, se había mostrado curiosamente optimista después del accidente de Aberdeen; por entonces era joven, un licenciado reciente excitado por la tensión de todo aquello. Ahora tenía ya 30 años y la tensión ya no le resultaba divertida. Perder un globo era una experiencia desagradable. Perder *dos* era francamente agobiante. Su carrera estaba ligada a ese experimento. ¿Por qué se había metido en esa tarea de locos? Le sirvió para confirmar lo que yo ya sabía sobre los globos, sólo que en mi caso no parecía haber aprendido la lección.

Regresamos a California en diciembre de 1982 y evaluamos lo que habíamos conseguido. A pesar de la angustia que nos provocaba haber perdido el globo, teníamos motivos para estar satisfechos con el proyecto. Nuestros datos —en ausencia de los que podríamos haber obtenido en el hemisferio sur— demostraron que el informe sobre el cuadripolo había sido infundado, lo cual resultó desalentador para los dos equipos de búsqueda a los que transmitimos nuestras fatales conclusiones. El Santo Grial aún debía ser encontrado.

Sin embargo, no era menos importante el que nuestros vuelos hubiesen probado que los detectores enfriados funcionaban. Los funcionarios de la NASA podían darnos el visto bueno sin reticencias. Los detectores enfriados serían más sensibles que el DMR propuesto en un principio, y era justamente este aumento de sensibilidad lo que necesitábamos para descubrir las semillas primordiales de la estructura cósmica. La cosmología había avanzado muchísimo desde mediados de la década de 1970 cuando había sido propuesto el proyecto COBE; en el ínterin los teóricos llegaron a la conclusión de que las arrugas debían ser más tenues de lo que se había supuesto, de modo que una mayor sensibilidad era esencial.

Primero tenía que convencer de los beneficios de los detectores enfriados a John Mather y Mike Hauser, los otros dos principales investigadores del proyecto COBE, luego al grupo científico de trabajo del COBE en su conjunto, y por fin a los ingenieros de Goddard. Reuní material, escribí memorias y realicé exposiciones.

Después de que John, Mike y el grupo de trabajo empezaran a considerar como acertados mis puntos de vista, emprendí la tarea de convencer a los ingenieros de Goddard, que eran conservadores y renuentes a cualquier cambio. Basándose en su propia experiencia, habían acuñado el elocuente dicho: «Lo mejor es enemigo de lo bueno». Con esto querían dar a entender que habían visto a personas cambiar cosas buenas para hacerlas aun mejores, con resultados que eran peores que el original. Pero yo perseveraré.

Finalmente, para someter a prueba mi sinceridad y mi convicción, ofrecieron un pacto con el diablo: «No podemos cambiar todo por los receptores enfriados y disponerlo a tiempo para el lanzamiento. Si usted sacrifica una de las cuatro frecuencias DMR, enfriaremos dos de ellas. Conservaremos la restante como fue diseñada en un principio para garantizar que al menos una de las cuatro originales funcione bien.» Yo no estaba dispuesto a renunciar a un cuarto del experimento, pero se mantuvieron firmes. De modo que convine en prescindir del DMR de mayor frecuencia, el más susceptible de interferencia galáctica. A cambio de ello, estuvieron de acuerdo en enfriar los dos canales de mayor frecuencia, los que ofrecían la visión más clara del universo distante. También aceptaron trasladar el radiómetro de menor frecuencia (19 GHz o 1,5 centímetros de longitud de onda) a un globo para hacer el mapa de la emisión galáctica. La tarea de instalar el radiómetro de 19 GHz a bordo del globo fue financiada y confiada al grupo de Princeton formado por Dave Wilkinson, Dave Cottingham, Ed Cheng y Steve Boughm.

Así empezó el desarrollo de los receptores DMR enfriados de COBE, y era imprescindible que el trabajo progresara muy rápidamente.

En enero de 1984, más de un año después de que regresáramos de Brasil con las manos vacías, recibí una llamada telefónica. Las autoridades brasileñas habían encontrado nuestro globo. Yo estaba sorprendido, y encantado, por supuesto. Les transmití la noticia a Jerry y a Thyrsó, que había venido a Berkeley durante dos años para proseguir su doctorado en datos de vuelo brasileños. Jerry y yo habíamos pasado dos meses extrayendo los escasos y pobres datos obtenidos con el telémetro del globo extraviado y los estábamos analizando en profundidad. Llamé a Phil, que pareció aturdido por la buena nueva. Había logrado superar al desastre y

estaba dedicado a una nueva investigación; pero ahora, el pasado volvía para acosarlo. La Fundación Nacional para la Ciencia proveyó los fondos necesarios para un viaje de emergencia a Brasil.

Pocos días más tarde, Phil y Thyrso volaron a Sudamérica. Ignorábamos por completo lo que iban a encontrar. No queríamos ni imaginar el grado de deterioro en que se hallarían todos los instrumentos. ¿Qué le habría ocurrido a la cinta de datos? Aunque hubiese sobrevivido a la caída, ¿habría soportado más de dos años de calor, humedad, lluvias, insectos y hongos?

El 3 de febrero, el equipo brasileño de San José dos Campos se reunió con Phil y Thyrso. Fueron a un pueblo pequeño y remoto llamado Tapirai, cerca del lugar donde se encontraba el globo, y distante unos 150 kilómetros del punto en que calculamos que había caído. Los habitantes de Tapirai se las arreglaban como mejor podían produciendo carbón vegetal en cavernas. El pueblo consistía en unas pocas calles, algunas tiendas y varios tugurios. Thyrso se acercó a un grupo de personas y preguntó si alguno sabía algo acerca del globo caído. Así era, en efecto; nadie en el lugar hablaba de otra cosa. La góndola había aterrizado cerca de allí. La gente señaló en dirección a un bosque sólo habitado por cazadores furtivos y animales salvajes.

Poco a poco, Thyrso reconstruyó la historia. Un día, a finales de 1983, uno de esos cazadores furtivos se había internado en la reserva. La selva era densa y estaba poblada de sonidos. Cortó algunos árboles jóvenes de palma para extraer los palmitos, ya que en el mercado negro obtenía un buen precio por ellos. Pero tenía que andarse con cuidado; si las autoridades lo descubrían podía caerle una buena multa e incluso, quizá, la cárcel. De pronto, descubrió algo absolutamente desconocido para él; arriba, en los árboles, vio un trémulo resplandor. A unos metros del suelo colgaba un objeto grande y cuadrado. Parecía de metal. El hombre permaneció un largo rato contemplándolo, preguntándose qué sería, sin atreverse a acercarse. ¿Vendría del espacio exterior? Finalmente se alejó, temeroso y confundido, y llenó su macuto con los palmitos que había recogido. Decidió que no se lo contaría a nadie, pues si llegaba a oídos de las autoridades éstas se darían cuenta de que había entrado en la reserva.

Pero un día fue a Tapirai, entró en un bar y bebió más de la cuenta. Empezó a hablar del extraño objeto que había visto en la selva. Al principio nadie le hizo caso, pero a medida que avanzaba en su narración comenzaron a escucharlo con mayor atención. El rumor corrió por el pueblo. Un policía local penetró en la reserva y echó una ojeada. De pronto, lo vio: una especie de toldo grande y blanquecino colgando de la copa de los árboles, a unos 30 metros de altura. Inmediatamente se dio cuenta de que se trataba del globo. Volvió al poblado y llamó al destacamento militar. Los militares revisaron sus archivos y comprobaron que se trataba del globo perdido en noviembre de 1982.

Para entonces los habitantes de Tapirai ya sabían que no se trataba de un objeto del espacio exterior. Venciendo cualquier miedo que pudiesen sentir, se internaron en la reserva y descolgaron la góndola de los árboles. La abrieron a la fuerza y extrajeron sus componentes. La gente se llevó a casa los instrumentos electrónicos, cualquier chisme que brillase o pareciese bonito o interesante. Un periódico regional publicó en portada, con grandes titulares, una foto del exótico visitante. De algún modo, el cazador furtivo se enteró de que Phil y Thyrsó se dirigían al pueblo a reclamar la góndola. Volvió a la selva e ideó un plan.

Cuando Phil y Thyrsó llegaron a Tapirai, visitaron el bar local. Allí vieron el instrumento tajador de haces (la máquina de cortar salami) y los mecanismos de calibración, expuestos como curiosidades. «Pagamos unas cuantas rondas para todos —recuerda Phil— y nos llevamos nuestro tajador. Después fuimos puerta por puerta reclamando las otras partes. En la ferretería hallamos el soporte del tajador, al que habían convertido en una lámpara, y en la comisaría dimos con algunos de los componentes electrónicos, que la policía había instalado en sus radios.»

Después, Phil y Thyrsó preguntaron por el cazador furtivo; nadie lo había visto. Encontraron a algunos de sus amigos, quienes les dijeron dónde estaba la carga útil. Uno de los vecinos tenía un camión y se ofreció a llevarlos hasta allí. La mañana del 6 de febrero, formaron un grupo de siete y entraron en la reserva. Había llovido mucho y los caminos eran un lodazal. El camión se atascaba en el barro y tenían que bajar a empujarlo. Cada vez que lo hacían quedaban cubiertos de lodo y unos kilómetros más adelante tenían que repetirla operación.

Finalmente, llegaron «literalmente al final del camino». Vieron la choza del cazador furtivo; no estaba ahí. Abandonaron el camión y se internaron en la selva. Caminaban lentamente, mientras los lugareños contaban historias de «enormes serpientes capaces de comerse a un hombre». Entonces, sobre unos árboles distantes, divisaron el gran globo de plástico y el paracaídas blanco y anaranjado. Se dirigieron allí y comenzaron a buscar la góndola. Había desaparecido. En su lugar se encontraba el cazador, sentado tranquilamente sobre la hierba, tallando con un cuchillo una rama de palma.

A continuación tuvo lugar una conversación en portugués. Phil permaneció a un lado, perplejo ante todo aquello. El hombre le explicó a Thyrso que sus amigos del poblado le habían advertido que los científicos estaban en camino para reclamar su «máquina volante». Él no quería devolverla, ¿por qué tenía que hacerlo? ¿Acaso no la había encontrado? Y puesto que reclamaban algo que ahora le pertenecía, ¿no estaban dispuestos a ofrecer algún tipo de compensación? Phil comenzó a darse cuenta a dónde quería llegar. El hombre dijo que había escondido la góndola y que si la querían debían hacer un trato. Específicamente, quería tres cosas. Primero, 300 dólares estadounidenses, lo que en Brasil significaba varias veces el ingreso promedio anual *per cápita*. Segundo, una entrevista en la televisión. Tercero, otra entrevista, pero esta vez en el periódico de mayor tirada del país. Evidentemente, el hombre había perdido el miedo a las autoridades.

Por intermedio de Thyrso, que traducía sus palabras, Phil respondió que el primer pedido era inaceptable y los otros dos estaban fuera del alcance de sus posibilidades. Siguieron rápidas negociaciones en portugués. El cazador suspiró, se dio la vuelta y se encaminó hacia su choza. Trataba de intimidarlos con amenazas. Phil estaba furioso.

Entretanto, uno de los que habían ido en el camión vio un sendero en la selva y decidió ver a dónde conducía. A un kilómetro y medio de distancia descubrió la góndola. Enfadado, pero feliz de haberla encontrado, Phil le pagó al cazador furtivo unos cien dólares y la promesa de mencionar su nombre en un periódico estadounidense, cosa que finalmente hizo en un artículo publicado en el periódico de la Universidad de California en Berkeley. En todo caso, se trataba de un buen

trato, ya que las primeras exigencias habían sido rebajadas en casi 200 dólares, de modo que Phil podía ver la transacción como una verdadera ganga.

Por último, recuperamos todos los componentes mayores del instrumento, a pesar de que después del tiempo que habían pasado en la selva algunos se encontraban bastante corroídos. Sorprendentemente, el compartimiento estanco aún retenía el vacío, y estaba en condiciones de ser reutilizado. Lo más importante, no obstante, era la cinta de datos, que contenía información fundamental que no podría ser reconstruida a partir del telémetro, en particular un instrumento de «calibración muy preciso que había sido concebido especialmente para este vuelo. Pero lo más insólito era que, a pesar de hallarse cubierta de hongos, pudimos introducirla en el ordenador. Logramos salvar el 98 por ciento de los datos y nos bastó para confirmar lo que habíamos encontrado en el hemisferio norte: no había ningún cuadripolo.

Realmente, la anisotropía cósmica —las arrugas de la creación— estaba resultando más difícil de detectar de lo que habíamos supuesto. A finales de la década de 1960 los teóricos habían sugerido que la anisotropía podía ser relativamente fácil de encontrar —tan obvia, quizá, como una décima parte de la radiación cósmica de fondo—. Pero a mediados de los años ochenta, nuestros instrumentos eran casi tan sensibles como una parte en diez mil, y aun así las semillas nos eludían. Nos estábamos aproximando rápidamente a los límites de resolución posible dentro de la atmósfera de la Tierra. Si las semillas realmente existían —y no se trataba de otro espantoso error teórico— entonces todavía tenemos esperanza de encontrarlas en el espacio, con el satélite COBE.

La NASA había aceptado nuestra propuesta, aunque introduciendo un cambio significativo. Habíamos recomendado poner el COBE en órbita lanzándolo en un cohete del tipo Delta, pero la NASA estaba tratando de superar la etapa de los vehículos no recuperables y experimentaba con una nueva nave: el trasbordador espacial tripulado. Pensamos que una misión tripulada significaba mucho más de lo que necesitábamos para la seguridad de nuestro experimento; el trasbordador parecía nuestro sendero al espacio, y nos sentíamos muy felices de seguirlo.

Capítulo 11

COBE: la alternativa

Jueves 28 de enero de 1986: mucha gente recuerda dónde estuvo ese día. Yo lo recuerdo perfectamente.

Por dos razones estaba destinada a ser una jornada excepcional en la historia del programa espacial de los Estados Unidos. En el Laboratorio Jet Propulsión de Pasadena, California, los científicos estaban preparando el viaje del Voyager 2 a Urano, el planeta más distante jamás alcanzado. Y en la Costa Oeste, Christa McAuliffe, la primera maestra de escuela que integraba una tripulación espacial, estaba sentada a bordo del trasbordador *Challenger* en la torre de lanzamiento 39B del Centro Espacial Kennedy, cerca de Orlando y Titusville, Florida. Con ella se encontraban los otros seis miembros de una tripulación sorprendentemente diversa tanto étnica como sexualmente, ya que incluía a un afroamericano, un asiático y otra mujer. No obstante sus limitaciones técnicas y los apuros económicos por los que el proyecto había pasado, el futuro del *Challenger* parecía brillante, pues ya había resultado sumamente efectivo como satélite «taller de reparaciones». En pocos años más sería utilizado para montar la estación espacial y, quizá, estructuras aún mayores: ¿naves con las que viajar a la Luna o, tal vez, a Marte? ¿Quién estaba en condiciones de saber lo que el futuro deparaba? Los viajes espaciales parecían algo cada vez más sencillo; «casi como tomar el tren E», solía bromear la gente. Dos miembros del Congreso habían volado en el trasbordador; Walter Cronkite podía ser el próximo. El satélite explorador cósmico de fondo sería lanzado como carga útil en poco más de dos años.

Al igual que buena parte del país, yo vería el lanzamiento por televisión. Había sido anunciado para las nueve de la mañana hora del este, las seis en Berkeley, California. Me levanté temprano y comencé a prepararme para cuando llegase el momento de la cuenta atrás. El trasbordador había hecho más de veinte vuelos, de modo que esa misión debía ser pura rutina. Sólo era especial por el tipo de tripulantes que llevaba. La mañana era inusualmente fría en el Centro Espacial Kennedy, y aquí y allá el terreno estaba cubierto de escarcha. Algunos ingenieros pensaban que debía aplazarse el lanzamiento y advertían que la temperatura estaba

fuera de los límites de seguridad operativa. Bajo la presión de mantener el programa, y en particular por la publicidad que se había hecho en torno a la maestra de escuela McAuliffe, los técnicos de la NASA decidieron seguir adelante. No obstante, se produjo una demora. Alrededor de las ocho y media (las once y media en la base espacial), decidí que no podía esperar más y salí rumbo al trabajo. A las 11.37.53 hora del este, la cuenta atrás llegó a su fin. Nadie pudo ver —al menos hasta que fueron estudiadas las cintas de las cámaras de vídeo instaladas en la cámara de ignición— la delgada y oscura humareda que salía de uno de los cohetes de combustible sólido, y que pronto se convirtió en una pequeña llama. El trasbordador arrojaba fuego y humo a medida que se elevaba lentamente. La multitud dejó escapar un grito sofocado de asombro. La nave aceleraba dejando tras de sí una blanca estela que marcaba su ruta. Un minuto y siete segundos después del lanzamiento, el *Challenger*, que ahora era claramente visible, quedó envuelto en una bola de humo blanco y anaranjado, en tanto que los remolques comenzaban a trazar un arco en dirección a la Tierra. La multitud, que no sabía bien qué esperar, rompió a aplaudir tímidamente pensando que lo que ocurría era una etapa de la ascensión. El cohete acelerador se desprendió y empezó a girar; el contenedor de hidrógeno líquido del depósito externo se abrió descargando sus 95.000 litros de combustible; el cohete acelerador golpeó la parte del depósito externo que contenía oxígeno líquido y lo reventó como si se tratara de un globo lleno de agua. El hidrógeno líquido y el oxígeno líquido se mezclaron; la mezcla produjo una gran detonación.

El *Challenger* explotó catastróficamente.

Entre mi casa y el laboratorio hay unos veinte minutos de viaje, lo que da tiempo para pensar en la jornada de trabajo que está a punto de empezar. Una de mis tareas ese día consistía en controlar los datos de calibración del radiómetro diferencial de microondas. De acuerdo con la información más reciente la NASA lanzaría el COBE en 1988 y debíamos tener el instrumental listo para cuando ese momento llegase. Los miembros a cargo del DMR, motivados por las metas científicas y los retos que imponían las nuevas tecnologías, empezaban a considerarse una unidad. Aún quedaban algunas asperezas por limar y no pocos desafíos a los que hacer frente. Si conseguía que terminasen de probar el primero

de los tres radiómetros, las cosas irían mucho mejor. Yo pensaba en la multitud que estaría aguardando el momento del lanzamiento del *Challenger*, que era lo último que había visto por televisión antes de salir de casa. «Llegará el día —me dije— en que formaremos parte de esa multitud, mientras vemos cómo quince años de trabajo científico por fin dan sus frutos.»

Cuando llegué al laboratorio advertí que algo inusual había ocurrido, ya que vi grupos de personas amontonadas en los corredores, en los despachos, alrededor de los aparatos de radio y de un par de televisores. En el corto tiempo que me había llevado llegar a mi trabajo, siete astronautas habían perdido la vida.

Estaba conmocionado. Todos lo estábamos. Sentíamos pena por aquellas siete personas. La tragedia del accidente era superlativa, pero lentamente empezaron a surgir las probables implicaciones para el COBE. Nuestro proyecto se había basado en la presunción de que volaría a bordo del *Challenger*. Ahora lo más seguro era que la NASA suspendiese los vuelos de los transbordadores espaciales, al menos por un tiempo. He de admitir que, tal vez ingenuamente, yo pensaba que la demora no sería demasiado larga. Sin embargo, pronto me desengañé. La agencia espacial decidió postergar indefinidamente el programa de transbordadores hasta tanto los investigadores analizaran las secuencias filmadas de la explosión, los ingenieros estudiaran detenidamente los registros telemétricos y el océano fuese explorado en busca de fragmentos de la nave.

Con un transbordador perdido y tres en tierra, el programa de la NASA se fue al diablo. Cualquier misión había quedado descartada. Nadie estaba en condiciones de decir cuánto tardaría el COBE en ser puesto en órbita. Quizá años. Las cosas incluso podían ser peores. Ya antes del accidente el transbordador no había volado con la frecuencia que se había planeado en un principio, de modo que los clientes, tanto civiles como militares, esperaban su turno furiosos por la demora. Una vez que los vuelos del transbordador se reanudaran —y no teníamos ni idea de cuándo sería— habría mucha gente en la cola delante de nosotros. Funcionarios con satélites militares de alta prioridad, proyectos costosísimos como la sonda *Galilea* o el telescopio espacial *Hubble* lucharían por ser los primeros en meterse en la nave. Era muy probable que el lanzamiento del COBE fuese postergado hasta bien avanzado el año 1990, cuando conseguir un lugar en el transbordador sería aún más difícil.

Para entonces la nave podría ser requerida para numerosas misiones prioritarias, como empezar la construcción de la estación espacial *Freedom*. Quedaba claro para todos que el COBE, un proyecto mediano con pocas conexiones políticas y escasa repercusión pública, tal vez acabaría perdiéndose en el frenesí del nuevo programa. Mientras cada uno de nosotros especulaba sobre el modo en que el desastre del *Challenger* afectaría al COBE, Dennis McCarthy, director suplente del proyecto, evaluaba la situación. Al día siguiente de la explosión del trasbordador convocó al equipo. Los rostros alrededor de la mesa eran la viva imagen del desaliento. Dennis fue directamente al grano: «Creo que nunca seremos lanzados a bordo de un trasbordador desde la Costa Oeste. Tenemos que encontrar otra forma de hacerlo.» Sus palabras nos conmocionaron, nos sacaron de nuestro aturdimiento e hicieron que comenzásemos a creer que sí, que debía de haber otra forma de poner en órbita nuestro satélite. La gente empezó a sugerir ideas y puso manos a la obra. Aunque en ese momento lo ignorábamos, era el comienzo del período más intenso y gratificante del proyecto COBE. El enorme desafío que teníamos delante galvanizaba nuestro espíritu de equipo. Con todo y haber sido una gran tragedia, el accidente del *Challenger* nos proporcionó unas energías extraordinarias.

Era necesario que encontrásemos otro cohete y pronto, porque había pocos disponibles. Sólo quedaban seis Titán 34D, tres Atlas Centaur, trece Atlas y tres Delta, y existía la posibilidad de que otros clientes se nos adelantaran. No podíamos utilizar cualquier cohete, sino uno que fuese compatible con el tamaño del COBE y la misión a la que estaba destinado, o al menos que pudiese aceptar un COBE rediseñado. Necesitábamos un plan para modificar la nave y vendérselo tanto a los directivos de Goddard como a los jefes de la NASA. Sólo establecimos dos condiciones básicas. Primera y principal, de ser posible —y práctico— los objetivos científicos no se verían comprometidos. Segundo, e igualmente importante, intentaríamos mantener el mismo calendario de lanzamiento; cada semana que nos pasásemos de la fecha límite supondría costos adicionales, y eso haría que el proyecto resultase más difícil de vender. Sería un año de reuniones de nunca acabar, a veces desesperadas.

La insistencia de Dennis para que encontrásemos cuanto antes un cohete para lanzar el COBE pronto se vio justificada. Tres meses después del accidente del

Challenger corrían rumores de que las Fuerzas Aéreas planeaban detener la construcción de las instalaciones de lanzamiento en su base de Vandenberg, al sur de California. Nuestros objetivos científicos requerían una órbita polar, y sólo lo lograríamos si el cohete partía desde California. En el caso de que las Fuerzas Aéreas llevaran a cabo su plan (como efectivamente hicieron) seríamos un satélite sin nave espacial. Pero la ausencia en Vandenberg de instalaciones de lanzamiento pronto se convirtió en un problema académico. En 1986 la NASA anunció que el COBE no tendría lugar en ninguna misión civil cuando los transbordadores comenzaran a volar de nuevo. Gracias al dinamismo inicial de Dennis, ya estábamos buscando otras alternativas.

En medio de la desesperación creciente, yo tenía que pensar en otras dos cosas: un viaje a Sudamérica y un crucero por el Pacífico. En marzo de 1986 el cometa Halley hacía su septuagésima sexta visita a las vecindades de la Tierra. Se había programado un «crucero cometa» al Ecuador y las islas Galápagos, y yo había aceptado dar una serie de conferencias durante éste. Los invitados habían desembolsado miles de dólares por los billetes.

Desafortunadamente, los cometas no siempre ofrecen lo que se paga por ellos, y el Halley resultó extremadamente oscuro en su paseo alrededor del Sol. Pero a bordo del crucero a nadie pareció importarle demasiado. Todo era tan romántico, las estrellas tan conmovedoras y (espero) las conferencias tan interesantes que todo el mundo se lo pasó en grande a pesar de la decepcionante conducta del Halley. Noche tras noche, los pasajeros salían a cubierta para mirar el cometa, la Gran Nube de Magallanes y el espectacular cielo austral. Su entusiasmo resultaba de lo más estimulante. «Mira toda esta gente tan emocionada —pensaba yo—, pagaron miles de dólares para saber qué está pasando en el cielo.» Aunque yo trabajaba en ello todo el día, me daba cuenta de cuán privilegiada era mi situación y de que ese conocimiento me animaba cada vez que lograba echar un vistazo al Halley, aunque no fuera más que un resplandor apenas perceptible en el oscuro cielo.

El nombre del cometa es un homenaje al astrónomo Edmund Halley (1656-1742), quien anticipó nociones fundamentales de la cosmología moderna, tales como la llamada «paradoja de Olbers» (que Olbers «descubrió» 84 años después de la muerte de Halley). Halley también halló la primera evidencia directa de que las

«estrellas fijas» no están fijas y que, de hecho, se mueven. Este descubrimiento fue un gran avance respecto de la vieja idea de un cosmos estático y nos aproximó al concepto moderno de un cosmos dinámico y en desarrollo. No obstante, la mayor contribución de Halley fue utilizar la mecánica celeste de Newton para determinar la órbita del cometa que lleva su nombre y predecir su regreso en 1758. Y regresó, dieciséis años después de que Halley estuviera muerto y enterrado. La Europa del Siglo de las Luces no cabía en sí de asombro: una vez más la razón humana había triunfado adelantándose a la naturaleza.

La profecía de Halley fue la primera comprobación espectacular de la teoría de la gravedad de Newton, y podía ser apreciada por cualquier persona letrada. El *Gentleman's Magazine* publicó un artículo en el que un tal *Astrophilus* se jactaba de la siguiente manera: «No puedo sino felicitar a mis compatriotas por un evento tan glorioso para la doctrina de la gravedad de Newton así como para la memoria de ese excelente filósofo, el doctor Halley; y es posible que siempre se recuerde que el primer ejemplo de un hecho de este tipo fue previsto, también con exactitud, por un inglés.» Otro articulista escribió: «Con la aparición [del cometa] en esta época se demuestra, para convicción de todo el mundo, la verdad de la teoría newtoniana del sistema solar, y el honor de los astrónomos se establece plenamente y va mucho más allá de la ingeniosidad y de la burla de los hombres ignorantes.» La verdad es que los cometas siguieron siendo un misterio hasta bien entrado nuestro siglo; en tiempos de Edmund Halley algunos escritores especularon con la posibilidad de que los cometas sirviesen de morada a las almas condenadas, y aún en 1910 muchas personas creían que las colas de los cometas podían envenenar la atmósfera de la Tierra. A pesar de ello, la gran predicción de Halley establecía de una vez, y aparentemente para siempre, que la gravedad dominaba los cielos.

Pero ¿lo hacía todavía en 1986? Pocos cosmólogos podían estudiar los recientemente publicados mapas de los supercúmulos de estrellas galácticas hechos por Margaret Geller y John Huchra, sin preguntarse si la gravedad había encontrado, por fin, su igual. ¿Podía la gravedad, por sí sola, haber formado esas estructuras masivas en los 15.000 millones de años transcurridos desde el Big Bang? Quizá fue necesaria la intervención de algún otro factor desconocido para explicar el origen de esa auténtica extravagancia material. El COBE, si alguna vez

lográbamos lanzarlo, podría darnos una respuesta. La detección de la variante de temperatura en la radiación cósmica de fondo —la huella de las semillas cósmicas presente 300.000 años después del Big Bang— confirmaría que la gravedad moldeó el universo presente. Si fracasábamos en nuestro intento por detectar dichas semillas tendríamos que buscar otras explicaciones.

Al final del crucero, y una vez que el cometa se hubo marchado, yo estaba dispuesto a regresar al laboratorio.

COBE aún no había encontrado los medios para llegar al espacio. El equipo se esforzaba por encontrar un cohete capaz de llevar el satélite a bordo. De los disponibles —el Delta, el Atlas Centaur y varios modelos de Titán— podíamos desechar rápidamente el Atlas Centaur, ya que Vandenberg carecía de una plataforma de lanzamiento adecuada para cohetes tan grandes. El Delta no estaba mal, pero para poder utilizarlo el COBE tenía que ser reducido a la mitad, tanto de tamaño como de peso. El Titán parecía el más apropiado; su área de carga era lo bastante espaciosa y el satélite sólo necesitaría modificaciones menores. Sin embargo, tenía una contra: su costo ascendía a 250 millones de dólares.

Los hados tienen un sentido del humor de lo más extraño, como todos descubrimos cuando abrimos el *New York Times* del 19 de abril y leímos el siguiente titular: «Cohete Titán explota sobre una base aérea en California».

En efecto, un Titán 34D había estallado a los pocos minutos de ser lanzado desde Vandenberg, expandiendo gas nocivo sobre centenares de hectáreas. Al menos 58 personas fueron atendidas por irritaciones de la piel y de los ojos, y los escolares tuvieron que permanecer en las aulas hasta que el gas se hubo disipado. La plataforma de lanzamiento también resultó destruida. Después de este suceso, la posibilidad de que el COBE fuese lanzado a bordo de un Titán quedó completamente descartada.

Dos semanas más tarde un cohete Delta de 35 metros de altura que llevaba el satélite meteorológico GOES-G se posó sobre la plataforma de lanzamiento en Florida. Se trataba de la primera misión espacial desde el desastre del *Challenger* y un intento por parte de la agencia espacial tanto de ganarse otra vez la confianza del público, como de demostrar que aún poseía el «material correcto». «Necesitamos recordarnos a nosotros mismos —dijo el jefe de la NASA William

Graham— que hemos tenido éxito en el programa espacial.» Un minuto y diez segundos después del lanzamiento, el motor principal del Delta perdió potencia y el cohete quedó fuera de control. Por temor a que cayera sobre áreas habitadas o sobre alguna embarcación en el mar, un controlador de tierra apretó un botón y lo destruyó en vuelo. Un nuevo titular del *New York Times* decía: «Falla el tercer cohete estadounidense. Programa espacial interrumpido.»

La industria aeroespacial estaba «sumida en el caos», según palabras de un alto técnico de la McDonnell-Douglas a la agencia UPI de noticias. «Es tremendo — declaró—, simplemente ya no existe capacidad de lanzamiento y las cosas continuarán así por varios años.» ¡Varios años! Era lo último que necesitábamos oír mientras luchábamos por salvar el proyecto COBE. La explosión del Delta era particularmente sorprendente, ya que estaba considerado uno de los cohetes estadounidenses más seguros. Comenzaron a circular rumores inquietantes; según el *Science Magazine* se especulaba sobre la posibilidad de sabotaje por vía de «un comando que utilizase una fuente radial de origen externo».

Como alternativa, habíamos pensado en utilizar el cohete francés Ariane, pilar de la Agencia Espacial Europea. El Ariane tenía fama de vehículo fiable, a pesar de haber sufrido varios accidentes que eran de público conocimiento. Su base de lanzamiento estaba en la Guayana francesa, de modo que el COBE tendría que ser enviado hasta allí por mar, lo cual suponía un inconveniente para los fines del proyecto, aunque no fatal. «Tuvimos dos o tres conversaciones con los franceses —recuerda uno de los miembros de nuestro equipo—, pero cuando los directivos [de la NASA] lo supieron nos ordenaron que desistiésemos y amenazaron con perjudicarnos si no lo hacíamos.» El orgullo patriótico estaba en juego. Después de tanta mala publicidad la agencia espacial no deseaba que un proyecto de investigación estadounidense solicitara ayuda de los franceses. No nos prometieron nada, pero aun así nuestras esperanzas se vieron renovadas.

La posibilidad más excitante —el sueño de la misión COBE— era que el satélite llegase a una altura mucho mayor que la planeada originalmente. En el vacío que rodea la Tierra y la Luna existen lugares llamados «puntos de Lagrange», en honor del astrónomo del siglo XVIII que los descubrió³⁹. En estos puntos la gravedad del

³⁹ Para el público iniciado en temas espaciales, el punto de Lagrange más conocido es el L5. En 1970 Gerard O'Neill,

Sol, la de nuestro planeta y la de su satélite están uniformemente equilibradas, de manera que un objeto podría rotar ahí, suspendido como una pancarta entre dos edificios. Uno de estos puntos, conocido como Lagrange 2 o L2, sería especialmente bueno para un satélite cosmológico porque virtualmente no recibiría ninguna radiación o interferencia electromagnética de la Tierra o de la Luna. Además, si fuese puesto en órbita alrededor del punto L2, estaría constantemente expuesto a la luz del Sol en vez de pasar por ocasionales eclipses que disminuirían rápidamente el poder de sus células solares.

Si lográbamos engatusar a la NASA para que el proyecto COBE fuese admitido en un vuelo espacial, conjeturábamos que la misión se desarrollaría del modo siguiente: el cohete sería lanzado desde Florida y entraría en una órbita ecuatorial regular. Luego, utilizando un cohete impulsor de nuevo tipo construido por la Orbital Science Corporation, el satélite sería propulsado hasta alcanzar el punto L2. Nos encantaba la idea. Las notas del proyecto COBE dicen que cuando fue elaborada la posibilidad L2, quienes trabajaron en ella «actuaron como si hubiesen tenido una experiencia religiosa... Era el entorno más favorable [para el COBE]... Hacía que todo fuese realmente sencillo». Los soviéticos también habían hablado de la posibilidad de enviar un satélite cosmológico al punto L2. Desgraciadamente, el costo del cohete impulsor ascendía a un par de cientos de millones de dólares. Fue el final de nuestro sueño.

Ante lo limitado del material disponible, a finales de 1986 el proyecto COBE recomendaba que la agencia espacial lanzase el satélite a bordo de un cohete Delta. A pesar del accidente del 3 de mayo, el programa Delta aún tenía un historial estupendo. (De hecho, el del 3 de mayo fue el primer fallo en nueve años.) Además, se trataba de una nave relativamente barata, así es que los directivos de la NASA se pondrían contentos.

La McDonnell-Douglas era la encargada de construir los cohetes Delta, pero el impulso que tomó el programa de transbordadores hizo que la producción fuese suspendida. Aún quedaban unos pocos Delta a medio armar, abandonados en viejos hangares. El programa «Guerra de las Galaxias» los requirió de inmediato para utilizarlos como blancos del sistema antimisiles. Luchamos por conseguir uno, con

físico de partículas de la Universidad de Princeton, declaró que este punto es el lugar idóneo para construir en el futuro grandes colonias espaciales.

éxito. Los ingenieros de la McDonnell— Douglas se emocionaron hasta las lágrimas cuando supieron que tendrían la oportunidad de construir uno para nosotros. Durante años habían hecho cohetes, a menudo para uso militar, y no querían ver los últimos Delta destruidos en pruebas antimisiles. Preferían poner su talento al servicio de un experimento científico de logros duraderos, como el COBE.

Pero el Delta era un cohete pequeño. Sólo podía transportar una carga útil la mitad de grande que el COBE. Por lo tanto, debíamos reducir el tamaño y el peso de nuestro satélite. Esto era mucho más difícil de lo que puede parecer a simple vista, ya que no podíamos sencillamente hacer todo más pequeño como si se tratara de una muñeca rusa que contiene una versión reducida de sí misma. Cuanto más pequeño fuese el COBE, tanto más sus instrumentos comenzarían a interferir los unos con los otros, igual que una familia que se muda de una casa de cinco habitaciones a otra de una sola. Los tres instrumentos básicos ya eran extremadamente sensibles para perder fuentes de calor, radiación electromagnética generada por cables y otras piezas, etcétera. Cuanto más pequeño fuese el COBE, tanto más crecería su vulnerabilidad.

El 1 de octubre de 1986 recibimos noticias inesperadas: las autoridades de la agencia espacial autorizaban el lanzamiento de un Delta para comienzos de 1989, mucho antes de lo que esperábamos. «Tan pronto como se fijó la fecha del lanzamiento —dijo Frank Kirchman, nuevo ingeniero en termodinámica del DMR—, todos supimos que nos esperaba un trabajo durísimo.» A partir de ese momento, estábamos comprometidos. Significaba «regresar a la mesa de dibujo» o nada.

Para transformar el satélite tan radicalmente y de manera tan rápida, los equipos debían ser todo lo estrictos y unidos que fuese posible. Roger Mattson, jefe del proyecto COBE, decidió que todos trabajásemos «bajo el mismo techo». No habría límite «de horas extra o tiempo compensatorio para mantener el ritmo del programa» decía un memorándum. Los equipos del COBE «pre-*Challenger*» que habían estado a kilómetros de distancia unos de otros trabajarían, a partir de ese momento, pared por medio, lo cual agilizaría el proceso y haría que todos fuésemos más responsables. La gente siempre es más responsable cuando puedes mirarla a los ojos en vez de tratar con sus contestadores automáticos. La cuenta atrás había comenzado.

Los tres instrumentos del COBE —DMR, PIRAS y DIRBE— fueron construidos por separado, en diferentes edificios. Las tareas correspondientes al DMR estaban centralizadas en el Edificio 19, en Goddard. Yo era el investigador principal y Chuck Bennett el adjunto; John Mather y Richard Shafer eran investigador principal y adjunto, respectivamente, del PIRAS, en tanto que Mike Hauser y Tom Kesall lo eran del DIRBE. El encargado general del desarrollo de los instrumentos era Earl Young, que durante esos años tuvo que hacer frente a innumerables dolores de cabeza.

El área de trabajo del DMR en el Edificio 19 tenía todo el aspecto de un depósito de chatarra y era conocida como Tienda de Persianas e Instrumentos de Microonda. Allí los ingenieros armaban las piezas y sometían a prueba los distintos componentes del DMR. Su trabajo fundamental consistía en hacer las calibraciones y comprobaciones necesarias para dejar listo el instrumento. «Decir que esa *cosa* fue "diseñada" es un poco caritativo», comentó Roger Ratcliff, ingeniero mecánico que hizo muchas de las partes del DMR. No podíamos compararnos con Rube Goldberg, pero nuestra máxima era: «Todo lo que funciona, funciona».

La NASA puso sus recursos a nuestra disposición cuando se dio cuenta de lo mucho que se esforzaba el personal del COBE para mantener vivo el proyecto. El objetivo de la agencia espacial era lanzar una misión que le permitiese demostrar que no estaba acabada y que aún era capaz de llevar a cabo un descubrimiento científico importante. En Goddard se decía que la NASA consideraba que la del COBE era una misión «atractiva» a la que merecía la pena salvar. De hecho, oímos que «COBE es un proyecto muy interesante para el público y muy interesante para el Congreso»; que era «de alta visibilidad —ya saben, el Big Bang, el origen del universo y todo eso— y sería del máximo interés que los resultados obtenidos fueran satisfactorios». Este tipo de lenguaje afectaba de modo diferente la moral del equipo. Roger Ratcliff, un miembro de la «vieja guardia» de la agencia espacial, dijo: «Sabía que sería fantástico». Por su parte, Rob Chalmers, el ingeniero en termodinámica de la nave, sostenía: «Si se te ocurre algún modo de llamar la atención de la gente, harán casi cualquier cosa por ti».

El alcance de nuestro trabajo fue sintetizado en el *Engineering Newsletter* de Goddard: «La transformación del COBE para ser lanzado en un cohete Delta

después de haber sido concebido para un STS (sistema de transporte espacial, que era el modo de llamar al trasbordador), tal vez sea uno de los mayores desafíos técnicos a los que ha tenido que enfrentarse el Centro de Vuelos Espaciales de Goddard en toda su historia.» Un buen equipo podía responder maravillosamente a ese desafío. El nuestro lo era, y tenía la moral muy alta.

Cuando nuestro frenético programa ya llevaba un año, el mundo de la cosmología se vio conmovido por un gran hallazgo en el campo de la investigación de la radiación cósmica de fondo. Una vez más, nos recordó que podíamos ser fácilmente derrotados en nuestro objetivo. Todos aguantamos la respiración a medida que llegaban las noticias.

En febrero de 1987 un equipo japonés-estadounidense lanzó un cohete suborbital que llevaba un detector construido por Andrew Lange, Paul Richards y sus colegas de Berkeley. El equipo japonés estaba dirigido por el profesor Matsumoto, de la Universidad de Nagoya. Durante su breve vuelo a unos 320.000 metros de altura sobre la isla japonesa de Kyushu, el instrumental a bordo del cohete analizó la radiación de fondo en seis frecuencias entre 0,1 y un milímetro. El resultado, que se hizo público en agosto de ese mismo año, mostró una dramática diferencia entre las curvas de previsión y las de medición del espectro de la radiación cósmica de fondo, con una temperatura excesiva que ascendía hasta los $3,18^{\circ}$ K. Si esto era real, significaba que en el cosmos temprano había tenido lugar un suceso energético extraordinario.

El exceso de temperatura descubierto causó una tremenda excitación. Hizo que los teóricos ofrecieran diversas explicaciones posibles. Los que llegaban más lejos desafiaban el modelo corriente de Big Bang, que requería que el espectro de la radiación de fondo se ajustase lo más posible a la radiación de cuerpo negro, y los nuevos resultados parecían indicar que podía estar significativamente distorsionado. Esta posibilidad se sumaba a una inquietud creciente sobre la validez de la teoría del Big Bang. *Los astrónomos*, una popular serie de televisión de la Public Broadcasting, incluyó un informe del proyecto Nagoya-Berkeley. Sólo después de que la filmación estuviese terminada trascendió que la distorsión registrada en el espectro de la radiación cósmica de fondo era incorrecta. Casi con toda seguridad, el exceso se había debido a una ilusión causada por el diseño o el mal

funcionamiento de un instrumento, o por una señal falsa provocada por un ruido o una radiación extraña.

El experimento japonés-estadounidense nos sirvió de escarmiento. Nos hizo recordar que en cualquier momento podíamos enterarnos de otros resultados, de otro equipo, y esta vez anunciando, sin margen de error posible, el descubrimiento de las arrugas. Esto hizo que nos pareciese todavía más urgente terminar nuestro trabajo cuanto antes; de pronto, la fecha que nos había asignado la NASA — comienzos de 1989— dejó de ser increíblemente cercana para parecernos dolorosamente lejana. Trabajamos más duramente aún en la solución de montones de problemas, tales como la vibración, los errores sistemáticos, los efectos potenciales del oxígeno residual en los espejos o las fuentes dispersas de calor. Todos tenían que ser resueltos, y ello requería tiempo, experiencia y energía emocional.



Len Fisk (izquierda), oficial de la NASA, inspecciona el DMR 53-GHz, acompañado por el ingeniero Rick Mills.

En el proyecto original, los radiómetros diferenciales de microondas que transportara el COBE debían estar sobre pedestales alrededor del contenedor de helio líquido que contenía los instrumentos del PIRAS y el DIRBE. El nuevo diseño fue desarrollado por un equipo dirigido por el ingeniero mecánico Gene Gochar. La caja para el radiómetro se hizo más ancha y lisa. Debido a lo reducido del espacio de que disponíamos, la parte inferior del DMR tenía que rodear parte del

contenedor. La instalación eléctrica, el diseño térmico y otros factores fueron modificados de acuerdo a las nuevas características del COBE.

Una tarea de la mayor importancia fue reemplazar la vieja y rígida pantalla térmica por una más ligera y flexible, que se desplegaría una vez que el satélite estuviese en órbita. La construcción de una pantalla flexible pero segura «fue vista por todos como extremadamente difícil si no imposible», según escribió Rob Chalmers en el *Engineering Newsletter*. Sin embargo, se consiguió. Las baterías solares que habrían envuelto la pared exterior del satélite primitivo fueron reemplazadas por tres paneles en forma de acordeón de células solares; también éstos se desplegarían una vez en el espacio. Asimismo, el nuevo COBE debía tener una antena más pequeña para enviar y recibir datos y órdenes. Se trataba de cambios por demás difíciles de llevar a cabo y por ello motivo de preocupación. Los dos años siguientes fueron tan interesantes como llenos de ansiedad.

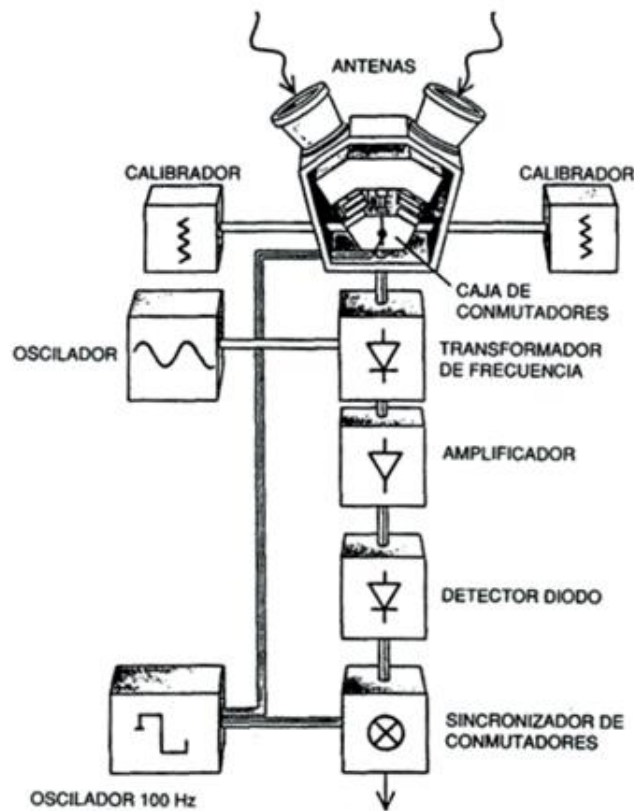
Una vez que terminamos de construir los radiómetros de acuerdo al nuevo diseño, se impuso la tarea de calibrarlos y someterlos a prueba por última vez —y no sólo a ellos, sino también a nuestro sentido del humor—. La calibración consiste en simular la radiación cósmica de fondo. No es nada fácil. La radiación de fondo es extremadamente tenue, de modo que teníamos que simularla con un «blanco» de similar tenuidad, es decir, uno cuya temperatura fuese cercana al cero absoluto. Luego apuntamos las dos antenas del radiómetro en dirección a blancos cuya temperatura fuese esencialmente la misma. Si las antenas funcionaban sin problemas deberían detectar esa similitud de temperatura y transmitir una diferencia de cero. Pero si el radiómetro detectaba que las temperaturas eran distintas, entonces significaría que algo no iba bien, es decir, estaría registrando una fuente de radiación dispersa no deseable (por ejemplo, un foco de calor interno, un campo magnético, una fuente radial, etcétera). Lo primero que hicimos fue calibrar el radiómetro en una gran habitación en cuyo perímetro ubicamos objetos oscuros en forma de cono, que absorben la radiación de microonda y el sonido. Cuando uno habla en una habitación llena de estos objetos, las palabras parecen detenerse justo al salir de la boca.

Para simular el vacío del espacio exterior también comprobamos por control remoto el radiómetro diferencial de microondas dentro de un contenedor en el que no había

ningún otro objeto. El contenedor tenía un metro de ancho por algo más de un metro de alto y estaba colocado en la parte posterior de la «habitación limpia», una construcción especial que esencialmente estaba libre de polvo. En cada frecuencia el DMR tenía poco más de 60 centímetros de ancho, 30 centímetros de espesor, otros 60 centímetros de altura y pesaba aproximadamente 45 kilogramos, de modo que sólo podíamos probar un solo radiómetro por vez. Dentro del contenedor vacío ubicábamos un blanco sobre un riel, como si se tratase de un tren de juguete; controlábamos sus movimientos desde fuera, moviéndolo hacia atrás y hacia adelante frente a las antenas del radiómetro. Normalmente el DMR miraba hacia un torno de hilar cubierto con conos absorbentes de microondas, cada uno de los cuales estaba superenfriado desde atrás por medio de tubos conectados a una fuente de nitrógeno líquido. Esperábamos que el torno de hilar repartiera equitativamente los puntos calientes; de esa forma imitaría la radiación de fondo uniforme de modo más preciso aun que un blanco estático.

Este ingenioso artilugio se averiaba con una frecuencia asombrosa. Algunas partes dejaban de moverse porque el intenso frío congelaba la grasa o cualquier otro lubricante o contraía algunos componentes, que dejaban de funcionar de la forma prevista. Cada vez que el sistema sufría algún desperfecto (lo cual ocurría, indefectiblemente, durante el turno de noche), debía ser lentamente recalentado y luego rellenado de aire para que pudiéramos entrar a ver qué iba mal. El proceso de recalentamiento llevaba horas o incluso días; trabajar rápido resultaba imposible ya que los componentes eran tan delicados que un ascenso de temperatura repentino podía dañarlos. Lo más frustrante era que, en ocasiones, justo antes de recalentar la cámara y de disponernos a abrirla, lo que quiera que estuviese averiado —por ejemplo, el blanco sobre su riel— comenzaba a funcionar de nuevo. En esos casos no había manera de saber cuál había sido la causa del desperfecto. Volvíamos a enfriarlo para someterlo a otra tanda de pruebas, sólo para comprobar cómo se estropeaba una vez más. No podíamos ver qué ocurría dentro de la cámara porque ésta se encontraba sellada y carecía de ventanas (para de ese modo impedir que la radiación dispersa penetrara). Consideramos la posibilidad de instalar cámaras de televisión, pero no había suficiente espacio. Durante meses el laboratorio fue testigo de nuestro constante mal humor y frustración.

Durante el proceso todos trabajamos muchas horas, a menudo los siete días de la semana durante meses enteros. Nuestros hábitos de sueño, e incluso nuestras vidas personales, se vieron alterados. A pesar del agotamiento la gente consiguió mantener su nivel de entusiasmo e ilusión. Teníamos la sensación de que estábamos haciendo algo profundamente importante. Roger Ratcliff lo expresó así: «Si no hubiese sido tan divertido, nadie habría tenido la paciencia suficiente para trabajar en ello». A pesar de la tensión y de los enfados ocasionales, nos mantenía unidos el hecho de saber que nuestro experimento podía aportar conocimientos científicos de trascendencia histórica. Nos sentíamos un verdadero equipo, y nunca, a lo largo de toda mi carrera, hallé determinación y espíritu semejantes.



Configuración del radiómetro diferencial de microondas (DMR). Sirve para medir la diferencia entre la radiación de microondas de dos puntos del cielo. La radiación es captada por dos antenas de cuerno que están alternativamente conectadas a un mismo receptor.

Yo me había esforzado por formar un grupo cohesionado y entregado a su trabajo, comprometiendo a sus miembros en los objetivos generales y dándoles tanta responsabilidad como fuera posible (algo que había aprendido de mi antiguo jefe de equipo, Luie Álvarez). Cada persona era responsable de una parte específica del esfuerzo y por ello recibía mi reconocimiento. Esto hacía que todos se sintieran casi propietarios del instrumento. María Lecha, por ejemplo, llamaba al radiómetro 53-GHz, del que era ingeniera responsable, su «bebé». Por ese tiempo María tenía alrededor de 25 años y había regresado de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez con el título de ingeniera en electrotecnia. Estaba obsesionada con el proyecto; una vez, después de una nevada, salió e hizo una figura de nieve con la forma del DMR. Durante los meses que estuvimos probando el instrumento, pasó muchas noches en su casa de Greenbelt frente a la computadora controlando a distancia el estado de «su» radiómetro. En ocasiones advertía que la temperatura del instrumento ascendía porque el sistema de refrigeración había dejado de funcionar, y sin pensárselo dos veces salía de inmediato rumbo al laboratorio dispuesta a rescatar a su criatura. «Tenía en mis manos millones de dólares —recuerda—. Siempre temía que algo pudiese ir mal, que explotara en el cohete durante el lanzamiento.» No era la única. Bobby Patschke, ingeniero encargado del radiómetro 31-GHz, confesó una vez: «Soñaba con el DMR.»

De acuerdo a nuestro plan a finales de 1988 enviaríamos el COBE rumbo a California, donde sería instalado en el cohete Delta. El tiempo corría y nuestra tensión iba en aumento. Científicos y técnicos tuvieron algunas disputas acaloradas. «Todo respondía al estado emocional en que nos encontrábamos —recuerda Tom Kelsall, encargado suplente del grupo de investigadores del DIRBE—. Como dicen en la Mafia: "Cuestiones de trabajo, nada personal".» A pesar de nuestros conflictos, debo reconocer que en el análisis final los ingenieros estaban de nuestro lado. Denis McCarthy le dijo a sus colegas: «Eh, amigos, no hacemos esto para nosotros sino para los científicos, y tenemos que estar seguros de que conseguirán los datos que desean». Los demás técnicos e ingenieros estuvieron de acuerdo: «Quizá lo más importante para muchos de nosotros fue que no queríamos fallarles a tipos como Mike Hauser, John Mather y George Smoot [jefe de investigación del COBE]», dijo Mike Ryschkewitsch.

Refiriéndose a Hauser, a Mather y a mí mismo, un miembro del proyecto COBE comentó: «Esos tres tipos estaban controlándonos permanentemente para que no hiciéramos nada que pudiera perjudicar sus datos. Nunca se me ocurrió qué podían querer hasta que vi ese episodio de *Los astrónomos* y me enteré del experimento fallido [el CBR] que llevaron a cabo los japoneses y la gente de Berkeley. Entonces pensé: "Dios mío, menos mal que estuvieron detrás de nosotros todo el tiempo"». Más allá de lo que le había sucedido al equipo Nagoya-Berkeley, no queríamos que *nuestro* experimento fracasase por un error de diseño o un fallo técnico. Si no encontrábamos las arrugas, ninguna otra razón que la científica sería aceptable. Todo se basaba en el proyecto. Finalmente alcanzamos nuestro objetivo: los instrumentos fueron rediseñados y conseguimos que el nuevo COBE pesara la mitad del original.

Había requerido el trabajo de más de un millar de personas, varios años de esfuerzo constante y su costo ascendía a 160 millones de dólares. Ya estábamos listos para enviar el satélite a la base de Vandenberg a fin de que fuese lanzado a bordo del cohete Delta.

Capítulo 12

Primera ojeada a las arrugas

El lanzamiento del COBE estaba programado para el 18 de noviembre de 1989. Algunos días antes dejé Berkeley dispuesto a cubrir los cuatro kilómetros y medio que me separaban de la Base Vandenberg de las Fuerzas Aéreas. Conduje por las ambarinas colinas de California, talladas por millones de años de placas tectónicas, terremotos y erosión que les daban el aspecto de un paisaje otoñal. Pronto me enfrentaría al momento de la verdad; llevaba casi dos décadas dedicándome a la cosmología, y la mayor parte de ese tiempo había trabajado para ese instante decisivo. Los tres instrumentos a bordo del COBE iban a explorar la historia temprana del universo de un modo que jamás antes había sido posible. Muchos creían que el satélite explorador de la radiación cósmica de fondo resolvería, de una vez por todas, si el Big Bang realmente había tenido lugar. Para mí, no cabía ninguna duda de ello: el Big Bang había ocurrido y nosotros íbamos a descubrir los motivos que lo originaron.

Me sentía extrañamente tranquilo. El destino del COBE estaba en manos de los ingenieros aeroespaciales. Todo lo que yo podía hacer era contemplar su ascenso... o su caída.

Vandenberg es un lugar desolado, y en muchos aspectos peligroso, de la costa californiana. La niebla envuelve la zona a menudo y los automovilistas deben conducir con precaución. Los acantilados son resbaladizos y los desprendimientos de rocas, frecuentes («No os acerquéis al borde un acantilado... puede resultar una trampa», previene a los visitantes un folleto de las Fuerzas Aéreas). A lo largo de los cincuenta y pico kilómetros de costa hay numerosas bombas sin explotar («Si ve un objeto sospechoso, no trate de levantarlo ni se le ocurra llevárselo como si se tratase de un *souvenir*», advierte el mismo folleto). Los conductores a menudo deben frenar de golpe cuando un jabalí o un ciervo se cruzan inesperadamente en su camino surgidos de la niebla. La base, que abarca más de 39.400 hectáreas, fue, durante la Segunda Guerra Mundial, puesto avanzado del Ejército y campo de prisioneros. Lleva el nombre del ex jefe del estado mayor de las Fuerzas Aéreas, Hoyt S. Vandenberg. Durante casi tres décadas ha sido el lugar de lanzamiento de

aproximadamente 2.000 cohetes, incluyendo los ICBM, que eran dirigidos al espacio o apuntaban a blancos situados miles de kilómetros al otro lado del Pacífico.

La cercana localidad de Lompac, en la práctica una ciudad de las Fuerzas Aéreas, es del tipo que aparece en las viejas películas: pequeñas tiendas, calles bordeadas de árboles y garajes donde todavía se ofrecen a cargarle a uno el depósito de combustible de su coche. Crucé la población y luego tomé el camino del noroeste a través de un campo árido hacia Vandenberg. Allí, al salir de la curva, estaba el cohete Delta 5920, erecto en su plataforma, rodeado de vigas de acero que lo protegerían de los elementos hasta momentos antes de su lanzamiento. El Pacífico resplandecía a medio kilómetro de distancia, al pie de una suave ladera; la brisa del océano llegaba hasta mí y podía oír la encrespada rompiente. La sal del mar es tan corrosiva que debe ser limpiada regularmente para impedir que el cohete se deteriore. Un funcionario de la base bromeaba: «Aparque su coche y déjelo aquí un mes. Verá usted cómo queda.»

Treinta años habían pasado desde que el otro cohete Delta cambiara la historia de la cosmología. Pero esa vez nadie había esperado que lo hiciese. El 12 de agosto de 1969, el primer cohete Delta de la NASA lanzó el satélite Echo 1A, el gigantesco globo esférico que inició la era de las comunicaciones por satélite. A fin de «oír» el rebote de las señales del satélite, los Laboratorios Bell habían construido en Holmdel, Nueva Jersey, una antena de microondas con forma de cuerno, la misma con la que Arno Penzias y Robert Wilson descubrieron fortuitamente la radiación cósmica de fondo, el brillo residual de la furia de la creación, un eco del distante Big Bang. Ahora esperábamos que el COBE llevase a término la revolución iniciada en Holmdel un cuarto de siglo atrás. «Somos como paleontólogos del espacio —le dije en una ocasión a un reportero— que buscan el equivalente de huesos de dinosaurios en los primeros instantes del universo.»

Antes del desastre del *Challenger*, este tipo de lanzamientos parecían condenados al fracaso. Según todos los indicios, el trasbordador espacial estaba destinado a ser el heredero natural de la industria de las lanzaderas, de modo que el personal de la McDonnell-Douglas ya estaba pensando en abandonar la base. Sin embargo, su gerente local, Pat Conlan —que ya ha muerto—, luchó con éxito para que eso no ocurriera. «Para él —recuerda un funcionario de la empresa—, la idea de que el

trasbordador acabaría con todo era una "soberana estupidez". Si no se hubiese mantenido tan firme en sus ideas, la McDonnell-Douglas se habría marchado de allí», y nosotros no habríamos tenido cómo lanzar el COBE, agrego yo.

El abandono temporal de las instalaciones causó algún problema. La torre de lanzamiento conocida como SLC-2W estaba, según un memorándum, «increíblemente sucia». El COBE exigía una limpieza total para impedir que elementos contaminantes dañasen los instrumentos o los confundiesen una vez en órbita. Los funcionarios de Vandenberg convinieron en limpiar la torre antes de que el COBE fuese instalado en el Delta. Expertos en anticontaminación procedieron a inspeccionarla con luces «negras» (ultravioletas) y «cintas adhesivas» (en este caso, los técnicos ponen cinta adhesiva sobre los objetos y luego, utilizando un microscopio, buscan elementos contaminantes).

El cohete Delta se encontraba en la base desde hacía varias semanas. Había llegado procedente de Florida, donde lo habían armado y sometido a pruebas. El personal encargado de él se reducía a un pequeño equipo que, al mismo tiempo, debía ocuparse de un lanzamiento en el Centro Espacial Kennedy. Pocas semanas antes de que fuese puesto en órbita, el COBE comenzó su largo viaje. Me sentí eufórico y a la vez triste cuando vi que nuestro satélite abandonaba su limpia y aislada habitación y era introducido en un contenedor especial. Desde la Base Andrews de las Fuerzas Aéreas fue enviado por avión directamente a Vandenberg. Una vez allí, fue puesto en una habitación completamente limpia, donde se procedió a ensamblar las últimas piezas. Hice un segundo viaje a Vandenberg para inspeccionar las pantallas solar y terrestre. Finalmente, revisamos todo el material una vez más. Luego, pasada la medianoche, cuando el tráfico era mínimo, el COBE fue ubicado en un transporte que lo condujo hasta la torre de lanzamiento. El vehículo recorrió los diecisiete kilómetros a baja velocidad. El personal de seguridad ayudó en el traslado del satélite siguiendo el convoy mientras hacía destellar las luces de sus coches; como observó un ingeniero de Goddard: «Cuando se lleva algo tan valioso, no conviene que haya demasiada gente en los cruces.»

El momento del lanzamiento se acercaba y nosotros estábamos convencidos de que habíamos previsto todas las contingencias. Y, en efecto, así fue, a excepción de una que a nadie se le había cruzado por la mente. Dennis McCarthy estaba mirando un

partido de béisbol por televisión cuando el programa fue interrumpido para informar de que un terremoto había sacudido San Francisco. El epicentro se encontraba 450 kilómetros al norte de la costa de California. Conmocionado, llamó a Vandenberg para saber si el COBE se encontraba bien. Para su tranquilidad, lo habían revisado sin hallar desperfecto alguno. Parecía una llamada de atención, un recordatorio de que en la vida los desastres realmente grandes son, a menudo, los que uno menos espera.

El viernes 17 de noviembre, la NASA convocó una conferencia de prensa en Lompoc. John Mather, yo y muchos miembros del personal de Goddard y de la misma agencia espacial, estábamos allí. También habían asistido Ralph Alpher y Robert Herman, los viejos colegas de George Gamow, quien, 41 años antes, había predicho la existencia de la radiación cósmica de fondo. Parecían felices de haber vivido lo suficiente para ver que su trabajo había dado frutos tan satisfactorios. El COBE era, según Alpher, «un instrumento complejo y maravilloso del que esperamos nos proporcione la más exacta información con la que hemos contado jamás» sobre los orígenes del mundo. El cohete Delta también tuvo su cuota de elogios: «La lanzadera más hermosa del mundo» lo llamó el funcionario de la NASA Don Tutwiler. Se informó a los periodistas de que la «horquilla» de lanzamiento sería entre las 6.24 y las 6.54 de la mañana siguiente. Se trataba de un cohete de 40 metros de altura que en la torre de lanzamiento pesaba 215 toneladas. La primera de sus dos etapas estaba alimentada con combustible líquido y contaba con nueve cohetes aceleradores. Ésta había sido construida por la McDonnell-Douglas, en tanto que la segunda por Aerojet. La Thiokol Corporation era la responsable de los cohetes aceleradores. Para alcanzar la velocidad de escape, el Delta debía superar los 27.000 kilómetros por hora. Una vez en órbita, expulsaría el satélite, que debía girar alrededor de la Tierra a unos 25.200 kilómetros por hora.

Larry Caroff, oficial de la NASA, dijo que tanto el satélite como otros observatorios espaciales programados suministrarían «una visión sin precedentes del universo. Veremos cosas que ni siquiera habíamos imaginado. Representará una verdadera conmoción para el mundo de la ciencia». John Mather advirtió a los periodistas: «No espero que lo que veamos eche por tierra la teoría del Big Bang, porque es una buena teoría y funciona bien. Sin embargo, podemos llevarnos una gran sorpresa.»

El sábado por la mañana me levanté temprano, tomé una ducha y me vestí. Estaba entusiasmado. En la oscuridad que precede al alba, quince años de trabajo descansaban, no muy lejos de donde me encontraba, sobre muchas toneladas de explosivos de alto poder. Si volaban en pedazos, ¿qué haría yo? Había dedicado la mayor parte de mi carrera como cosmólogo a la búsqueda de arrugas cósmicas. ¿Terminaría ahí la cacería, en la costa del Pacífico, bajo una gran bola de fuego y una lluvia de restos metálicos?

En la semipenumbra, cientos de nosotros nos reunimos en las cercanías del Delta. Numerosos autobuses estaban esperando. Cerca de mil observadores —una de las mayores concurrencias de que tenía memoria la base— se habían dado cita para ver el extraño espectáculo: un lanzamiento al alba. Mientras observábamos, en una estructura protegida situada a unos seis kilómetros de distancia había comenzado la cuenta atrás.

Los autobuses nos llevaban a la zona asignada a los observadores, aproximadamente a un kilómetro y medio del lugar de lanzamiento. Nos apeamos y contemplamos el Delta, brillantemente iluminado en su torre. Durante la noche, los meteorólogos habían lanzado pequeños globos sonda para informar acerca de la intensidad de los vientos en la atmósfera superior; eran demasiado fuertes para que nos sintiésemos completamente tranquilos y existía la posibilidad de que el lanzamiento se postergase. Veinte minutos antes de la hora señalada se elevó otro globo; los sensores indicaron que la intensidad de los vientos había disminuido. Esto era prometedor.

Yo estaba cerca de Mike Hauser, investigador principal de otro de los tres experimentos del COBE; nos miramos sin decir palabra, conscientes de que de las mil personas allí reunidas éramos los que más teníamos que perder. En el lanzamiento anterior yo había estado cerca del cohete y en él había observado, para mi horror, ciertos signos de decrepitud, manchas de óxido aquí y allá, remiendos fijados con Glyptol. Nuestra vida profesional estaba por encima de todo aquello. No dijimos nada, pero los dos rezamos en silencio.

El cielo parecía calmo, despejado e incitante. Una cinta anaranjada brillaba en el este. El sol estaba a punto de salir. Mi reloj indicaba las 6.34. Comenzaban los veinte minutos de la horquilla de lanzamiento, para que el satélite entrara en la

órbita polar correcta, una paralela al *terminator*, la línea de sombra entre el día y la noche. La cuenta atrás llegó a los últimos diez segundos.

«Diez, nueve, ocho, siete, seis...»

Cejas fruncidas, músculos tensos. Todos reteníamos el aliento. En tales momentos uno teme lo peor; ¿explotaría el cohete en un fogonazo cegador?

«... cinco, cuatro, tres, dos, uno...»

Alguien, en broma, dijo: «Si el cohete explota, échense sobre George e impidan que se mate». Yo exclamé: «¿Matarme?»

«... ignición.»

El terreno se iluminó, tan brillante como el sol. Podíamos ver el cohete elevándose en medio de un extraño silencio, y la plataforma de lanzamiento envuelta en llamas. Segundos más tarde, un rugido golpeó de repente mi pecho. El aire vibró. La muchedumbre dejó escapar un grito sofocado de asombro mientras el Delta continuaba su ascenso, despidiendo llamas y humo.

Durante el despegue, cientos de miles de litros de agua fueron lanzados a presión debajo del cohete para suprimir ondas sonoras que, de otra manera, se habrían reflejado hacia arriba dañando la estructura del mismo. Por igual motivo, sólo seis de los nueve cohetes aceleradores se pusieron en marcha; los otros lo hicieron cuando vimos el Delta elevándose por encima de las montañas.

Medio minuto después del lanzamiento el cohete viajaba a la velocidad del sonido, y continuaba acelerando. Soltamos el aliento. Observamos cómo pasaba por delante del disco de la luna. A los 78 segundos se encontraba a más de 19.000 metros de altura y viajaba a una velocidad de 836 metros por segundo. De repente, pareció expandirse: seis de los cohetes aceleradores acababan de desprenderse. Su combustible se había agotado y cayeron a una distancia de 28 kilómetros, sobre el Pacífico. A los 124 segundos, la velocidad del Delta era de 1.892 metros por segundo y se hallaba a 43.000 metros de altura. Entonces, eliminó los últimos cohetes propulsores, que cayeron al mar a una distancia de 370 kilómetros del lugar de lanzamiento. A los 240 segundos, la primera fase del Delta se desprendió y la segunda comenzó su ignición.

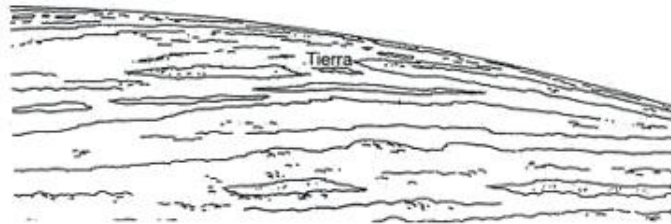
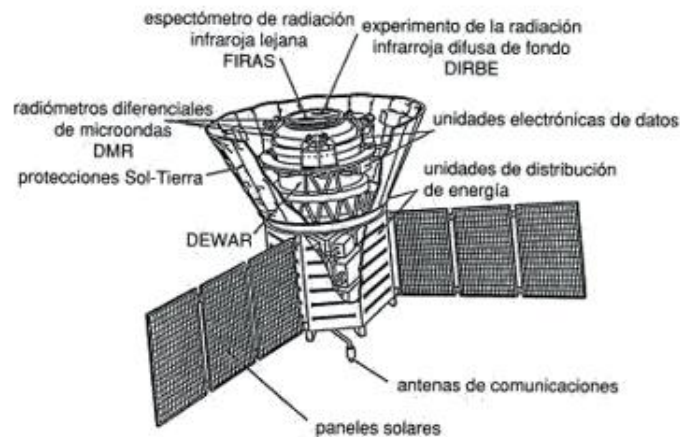
*Los fairings*⁴⁰ fueron despedidos a los 245 segundos, a 112.000 metros por encima de la superficie terrestre. El COBE aceleraba a través del frío y el vacío del espacio exterior a 5.040 metros por segundo. A los 650 segundos se detuvieron los motores de la segunda fase. El satélite moviéndose a una velocidad de 8.000 metros por segundo y una altura de 168.000 metros estaba en órbita. Finalmente la tercera fase lo impulsó hasta su órbita superior.

«Debo reconocer que fue todo un paseo», dijo Dennis McCarthy sin poder disimular su regocijo. Después del almuerzo hubo una sesión informativa en la que McCarthy reveló que la órbita del COBE era «muy estable»: 900,5 kilómetros por 899,3 kilómetros de altura; casi perfectamente circular.

Yo estaba eufórico. Había sido un lanzamiento perfecto. Pero no podíamos pasar demasiado tiempo celebrándolo. Era el momento de ir al aeropuerto y regresar a Goddard para controlar las operaciones y seguir el experimento. De camino, acompañé a Mike Janssen, científico del Laboratorio Jet Propulsión e implicado en el proyecto COBE, hasta su casa en Pasadena para que recogiese su equipaje. Tan pronto como llegamos, llamamos a la base de operaciones del satélite y nos enteramos de que el COBE seguía adelante sin problemas. John Wolfgang nos informó de que, como resultado de la luz adicional reflejada en el hielo del Polo Sur, las células solares habían generado una potencia suplementaria. ¿Podían poner en marcha el radiómetro diferencial de microondas? «Sí», respondí de inmediato. Durante meses había discutido con los planificadores de la misión que conectaran el instrumento lo antes posible. Ellos se negaron una y otra vez, argumentando que, ante todo, debían examinar el satélite. Activaron los comandos y apareció la señal del DMR. Para satisfacción de todos, enseguida se registró un pulso correspondiente a la señal que habíamos esperado ver cuando la antena pasase por delante de la Luna. Momentos más tarde, el calibrador automático que iba a bordo del satélite envió una nueva señal y el equipo a cargo del DMR lanzó un grito de alegría. Los datos que llegaron durante los primeros 30 segundos produjeron señales semejantes a las de nuestras simulaciones y pruebas sobre el terreno. El DMR estaba trabajando. Había sobrevivido al lanzamiento. Reunimos el equipaje de Mike

⁴⁰ Los fairings son estructuras metálicas externas adecuadas para proteger partes de un avión, a fin de reducir el arrastre. (N. del T.)

y, entre bromas, nos dirigimos al aeropuerto. Una vez allí, tomamos el avión que nos condujo hasta el Centro de Vuelos Espaciales Goddard, en Washington D.C. Al cabo de pocas horas el COBE empezaría a hablarnos de los primeros momentos de vida del universo.



Representación pictórica del satélite COBE en órbita, con indicación de los experimentos DIRBE, DMR y PIRAS. (NASA/GSSC.)

Con los brazos de sus tres paneles solares extendidos, el COBE tenía casi seis metros de largo y pesaba dos toneladas y media. Giraba lentamente — alcanzando ocho décimos de vuelta por minuto al final de la semana — para permitir que cada instrumento colaborase en el trazado del mapa del cielo. La rotación también permitía que la luz solar calentara el satélite. La mayor parte del tiempo los datos se almacenaban en dos cintas registradoras que iban a bordo, y una vez al día eran transmitidos a la estación terrestre de Wallops Island, Virginia. De ahí eran transferidos al control de la misión COBE en Goddard. A menudo nos llegaban a

través del «*tracking and data relay satellite system*» (sistema satélite retransmisor de rastreo y datos), o TDRSS. Al principio, la recolección de datos era en tiempo real, lo cual, después de años de retrasos y angustias, significaba un motivo de alegría; nuestro instrumento por fin estaba haciendo su trabajo. Cuando los datos empezaron a aumentar, proporcionándonos un cuadro del cosmos primitivo que se iba cohesionando lentamente, estas escuchas periódicas se hicieron menos compulsivas.

Llegué a Goddard a primera hora de la tarde del día del lanzamiento. De inmediato me dirigí a la sala de operaciones, donde los equipos de los tres instrumentos (DMR, PIRAS y DIRBE) estaban sentados ante una serie de escritorios en forma de Y comprobando la operación del satélite y organizando la afluencia de información. Pete Jackson y Charlie Backus habían hecho esquemas de los datos recibidos durante la primera media hora a través del radiómetro diferencial de microondas. Éstos reflejaban la señal de la Luna, la calibración de la fuente de ruido y la información. Todos firmamos los esquemas, hicimos copias y los colgamos en la pared. Al final del primer día completo recibiendo flujo de datos, logramos, no sin paciencia, elaborar un tosco pero reconocible mapa de la radiación cósmica de fondo. Sergio Torres lo proyectó en la pantalla y todos los que estaban en la sala de operaciones rompieron en aplausos.

El mapa no mostró nada que no esperásemos ver. No hubo vislumbres de las esquivas arrugas, las semillas cósmicas que con tanta urgencia buscábamos. En esta etapa, el mapa era apenas descifrable, como tratar de distinguir objetos entre una espesa niebla. Todos sabíamos que llevaría tiempo despejarla. Pero sabíamos también que el radiómetro diferencial de microondas estaba trabajando como debía. Los aplausos no sólo eran una expresión de alivio, sino una forma de reconocer que nos hallábamos ante un nuevo logro.

Las primeras semanas fueron tan estimulantes como agotadoras, y el miedo a que la operación fracasase nos afectaba a todos. Tres días después del lanzamiento aparecieron indicios de que uno de los giroscopios, que ayudaban a estabilizar el satélite, no funcionaba. Alrededor de las 2.30 de la madrugada John Mather y yo nos habíamos ido cada uno a su casa para descansar un poco. Apenas me metí en la cama, Rick Shafer telefoneó para informarme del fallo del giroscopio y convocar

una reunión urgente. John Mather recibió la noticia a las cuatro de la madrugada. Mientras se dirigía a Goddard en medio de la semipenumbra del amanecer, pensó: «Si está muerto, está muerto. Si no lo está, debemos pensar cuidadosamente qué hacer.» Temía que la pérdida del giroscopio pudiera desestabilizar el COBE, inclinándolo, tal vez, en dirección al Sol, lo cual sería catastrófico para todo el instrumental. Afortunadamente, los sistemas automáticos funcionaron y activaron el giroscopio de recambio.

El episodio tuvo un efecto saludable. Yo había estado discutiendo con Rick Shafer acerca de cuántas pruebas y controles relativos a la recogida de datos debíamos efectuar con el instrumento PIRAS en las primeras fases de la operación. El objetivo del instrumento era medir el espectro de la radiación cósmica de fondo, es decir, precisar la intensidad en una gama de longitudes de onda que iban desde un centímetro hasta una centésima de centímetro. Si la radiación de fondo era el producto de un suceso del Big Bang, el espectro debía parecer un arco ligeramente torcido, que es la forma característica de la radiación de cuerpo negro. El instrumento estaba diseñado para efectuar lecturas de la radiación de fondo y compararlas con una fuente de cuerpo negro incorporada, y todo ello debía ser cuidadosamente calibrado. Si la radiación de fondo tenía el espectro característico de un cuerpo negro, significaría un apoyo importante a la teoría del Big Bang. En el caso de que la forma fuese otra, la cosmología del Big Bang se vería en serios problemas.

Rick ya estaba acostumbrado a tomar en consideración algunos datos primitivos, y John estaba de acuerdo en que lo hiciera. Pocos días más tarde, Rick dejó escapar un grito de alegría y nos mostró el primer espectrograma. Mostraba que la diferencia entre el cuerpo negro interno y el cielo era pequeña, lo que nos estimuló a creer que el Big Bang era la fuente del fondo cósmico. Para estar completamente seguros, necesitábamos más datos y una mejor calibración. John y Rick calcularon cuánto habría que ajustar la temperatura del calibrador interno a fin de obtener un mejor emparejamiento del fondo cósmico de entrada y más información. Durante las dos primeras semanas, el instrumento PIRAS había reunido nueve minutos de observaciones, mirando hacia el polo norte de la galaxia, donde no hay demasiado polvo galáctico. La exactitud del instrumento era de una parte en mil, lo cual

significaba que era cien veces más preciso que cualquier instrumento anterior. A lo largo de los años se habían recolectado fragmentos del espectro, comenzando, por supuesto, con las mediciones originales que Penzias y Wilson hicieran en 1964. Sin embargo, tales fragmentos no eran una prueba completa y esto, precisamente, era lo que ofrecían, por primera vez, los nueve minutos de datos proporcionados por el PIRAS.

Nos habíamos organizado para hablar sobre el COBE en la reunión de la Sociedad Americana de Astronomía que en enero de 1990, justo dos meses después del lanzamiento, tendría lugar en Arlington, Virginia. Si podíamos llegar a tiempo, sería el lugar perfecto para anunciar los resultados con que contábamos. No obstante, como recuerda John, «estábamos absolutamente exhaustos. Mentalmente decidimos que no diríamos nada hasta que hubiésemos enviado nuestros informes al *Astrophysical Journal*».

Finalmente, llegó el día de nuestra charla. Ese sábado John y yo fuimos al hotel donde se realizaba la conferencia; por el camino nos detuvimos en una oficina de correos y depositamos nuestro manuscrito en un buzón, dirigido a las oficinas editoriales del *Astrophysical Journal*. Fue un momento importante, tanto en el sentido simbólico como en el práctico, pues consignábamos a la prensa científica los primeros resultados de la aventura del COBE. Era el último día de la conferencia, por lo que suponíamos que habría algún jaleo. Cuando entramos en la sala nos enfrentamos a no menos de mil personas. La excitación se palpaba en el ambiente; todos esperaban algo importante. Dave Wilkinson, miembro del equipo del COBE, apenas podía disimular su excitación.

Comprometido, como todos nosotros, a guardar el secreto, no había podido resistirse a mostrarle un pequeño trozo de papel a Jim Pecolet, su colega de Princeton. Jim echó un vistazo a lo que estaba escrito y se mostró tan entusiasmado como Dave.

John subió al podio. Después de una breve introducción proyectó una transparencia en la que se veía un gráfico teórico de la radiación de cuerpo negro, mostrando cómo debía aparecer la radiación cósmica de fondo si realmente emanaba del Big Bang. Superpuestos a la curva teórica, estaban los 67 puntos de datos medidos por el PIRAS, que juntos daban el espectro actual de la radiación de fondo. Los puntos

de medición se distribuían a lo largo de la curva teórica sin presentar desviación alguna. En ciencia, particularmente en astrofísica, las mediciones tienen a menudo un amplio grado de oscilación, de modo que una curva teórica y una curva real pueden estar cerca pero no perfectamente emparejadas. Ésta apenas tenía errores y encajaba de un modo prácticamente perfecto.

En el instante en que la pantalla quedó en blanco, la sala se sumió en un profundo silencio; luego, la audiencia se puso de pie y estalló en aplausos⁴¹. La comunidad científica no suele ser propensa a semejantes muestras de entusiasmo; en su mayoría, los científicos prefieren sopesar aquello que se les acaba de mostrar para luego hacer un juicio siempre cauteloso. En el caso que nos ocupa, los datos eran tan convincentes que la cautela parecía innecesaria. Pero, en mi opinión, se trataba de algo más que eso. Corría el año 1990; habían pasado 42 años desde que la radiación cósmica de fondo fuera predicha, 26 desde que Penzias y Wilson la detectasen por primera vez, y, sin embargo, subsistían dudas sobre la validez de la teoría del Big Bang. El anuncio que en 1987 hicieran las universidades de Berkeley y Nagoya acerca de sorprendentes distorsiones espectrales en la radiación cósmica de fondo, aunque discutibles, habían sembrado nuevamente la duda en la comunidad científica. Ésta se había sentido cada vez más perpleja respecto del Big Bang. El proyecto PIRAS disipó tales dudas. Como la ovación con que en la sala de operaciones del COBE fue recibido el mapa celeste, la reacción ante los datos aportados por el PIRAS significaba tanto un motivo de alivio como el reconocimiento a la labor científica bien hecha. Todavía le seguíamos la pista al Big Bang.

Después de que John expusiese su informe, yo presenté el mío relativo a los primeros resultados del radiómetro diferencial de microondas. Los datos que estaba en condiciones de ofrecer eran preliminares en grado sumo; la imagen apenas había empezado a formarse, pero así y todo era el mejor mapa de que se podía disponer. Revelé que habíamos detectado el dipolo, el resultado de la velocidad peculiar de la Vía Láctea con respecto a la radiación de fondo, lo cual era importante porque demostraba que el instrumento funcionaba del modo adecuado. Pero, aparte de esto, la radiación de fondo parecía pareja y mostraba una señal uniforme desde todos los puntos del universo. No teníamos indicio alguno de arrugas, ni tampoco de

⁴¹ Recuérdese que Slipher también fue ovacionado, aunque nadie comprendió el significado de sus datos.

semillas cósmicas a partir de las cuales las galaxias se habrían desarrollado en épocas tempranas del universo. A pesar de esta realidad ciertamente desilusionadora, nuestros datos eran claramente compatibles con el modelo sencillo de Big Bang. Más aplausos, aunque no tan calurosos como los que habían recibido los resultados del PIRAS.

Por una suprema ironía, la sesión fue presidida por Geoffrey Burbidge, de la Universidad de California en San Diego, quien era (y sigue siéndolo) un destacado oponente a la teoría del Big Bang. Cuando terminé mi exposición, oí claramente cómo se quejaba de que nosotros y el público habíamos engullido la historia del Big Bang «libro a libro, versículo a versículo y capítulo a capítulo».

Seguidamente, Mike Hauser mostró las nuevas y bellas fotografías en infrarrojo de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Realmente era material para editar un póster, pues mostraba, de modo espectacular, el plano galáctico en forma de disco y su centro bulboso.

Aunque quienes participaron en la conferencia se mostraron entusiasmados acerca de los resultados iniciales del COBE, los medios de comunicación se centraron, principalmente, en nuestro fracaso a la hora de detectar la anisotropía, es decir, la evidencia de semillas cósmicas. «Toda estructura del universo primitivo deja huellas que hoy mismo podemos ver», dije. Pero, admití, ninguna de esas huellas era evidente, de modo que «todavía debemos enfrentarnos a la cuestión de saber de dónde provienen las galaxias... En verdad, resulta difícil comprender por qué cuando confeccionamos el mapa no vemos algo similar a los Andes, por ejemplo... Si no vemos nada, es porque algo en nuestras teorías falla».

John reconoció, bromeando, que «todavía no hemos recogido las pruebas de nuestra existencia, pero me resisto a creer que la estructura actual existente no ha dejado su firma sobre la radiación de fondo».

Con todo, previne a los periodistas contra el pesimismo prematuro. Continuaríamos analizando nuevos datos según fueran apareciendo. A medida que la información se acumulase, la sensibilidad sería más aguda, aseguré, y antes o después las arrugas saldrían a la superficie. Por si acaso, crucé los dedos.

Laurie Rokke, que se había unido a nuestro equipo ocho meses antes del lanzamiento del COBE, era la jefa de tareas del grupo que en Goddard analizaba y

procesaba los datos obtenidos por el DMR. Teníamos problemas casi a diario, pero logramos desarrollar un sistema de *software* que funcionaba del modo deseado. Al comienzo nos llevó cuatro horas procesar un día de datos del DMR, pero pronto conseguimos hacerlo en 38 minutos, dependiendo de la computadora que usásemos.

En los días que siguieron al lanzamiento el trabajo fue verdaderamente agotador. Laurie recuerda: «Estábamos en el centro de operaciones del DMR, que no era más que una habitación en un remolque, para los pases de tiempo real. Después debíamos volver a nuestras oficinas para terminar de codificar el *software*. Una vez hecho esto, regresábamos al centro de operaciones para otro pase de tiempo real. Hacíamos esto tanto de día como de noche.» Durante los primeros meses vivimos pendientes del reloj. Cuando las tareas se convirtieron en cuestión de rutina, el centro de operaciones del satélite se encargó de controlar el pase de tiempo real y nosotros nos concentramos en tendencias a más largo plazo.

Después del lanzamiento di una fiesta en mi casa en Maryland. Llevamos computadoras, terminales y módems para poder controlar los pases de tiempo real. «Por nada del mundo podíamos perdernos un solo pase —recuerda Laurie—. Charlábamos afablemente y cuando llegaba el momento corríamos a la computadora a controlar los datos. Si todo estaba bien, volvíamos a nuestras copas y a nuestra charla.»

Habían pasado trece años desde que John y yo viéramos pruebas de dipolo en las pantallas de nuestros ordenadores proporcionadas por el DMR instalado en el U-2, lo cual demostraba que nuestra galaxia estaba siendo arrastrada a través del espacio por algún objeto masivo distante. Ahora, el DMR que iba a bordo del COBE nos proporcionaba a diario visiones del dipolo. Estábamos impacientes por descubrir cosas nuevas, es decir, las semillas. Pero sabíamos que detectarlas iba a ser extremadamente difícil.

Buscábamos leves variaciones en las suaves temperaturas del fondo — algo menos que una parte en cien mil—, lo cual equivalía a tratar de encontrar una mota de polvo en una superficie vasta y homogénea como una pista de patinaje. Al igual que en ésta, habría muchas irregularidades en la superficie, y no tendrían nada que ver con las que buscábamos. Tales irregularidades eran semejantes a los errores

sistemáticos que infestaban el radiómetro diferencial de microondas, como fuentes de calor dispersas, radiación magnética, artefactos de análisis de *software*, etcétera. Resulta difícil transmitir lo obsesionados que estábamos por eliminar esos errores. En 1974 yo había comenzado a escribir una lista de cosas que podían ir mal. Periódicamente la actualizaba, añadía nuevos fallos potenciales y estudiaba sus efectos. Instruí a todo el mundo para que no cesara en la búsqueda de errores, y luego los hacía comprobar dos veces por alguien más.

Cuando estábamos seguros se los daba a Al Kogut para que los verificara *una vez más*. Al era un científico tan excepcional como minucioso, y éste era precisamente el motivo por el que confiábamos en él. Se trataba de una tarea penosa, de ésas que difícilmente acaban en un descubrimiento espectacular, pero era esencial. Simplemente teníamos que hacerlo si queríamos tener alguna esperanza de reducirlo todo a una señal puramente cosmológica, una señal que viniese de un solo lugar: el borde del espacio y del tiempo. Habíamos visto «demasiados» descubrimientos que acababan siendo meros artefactos, y no queríamos caer en la misma trampa. Al comparaba nuestra aventura con las de aquellos exploradores británicos que se internaban en la selva de la India: sabían que se encontrarían con un tigre, pero ignoraban dónde. Tenían mucho cuidado de no hacer ruido hasta que oían el rugido. «También nosotros nos cuidamos de hacer ruido hasta que oigamos un rugido», bromeaba Al.

Ese primer rugido llegó aproximadamente un año después del lanzamiento. Sabíamos que en el caso de que descubriéramos arrugas cósmicas, éstas no saltarían por la noche del mapa plenamente formadas. Si se presentaban, su imagen se iría dibujando lentamente como resultado de un doble proceso: por un lado, la repetición de una señal excesivamente débil se haría cada vez más evidente, como la marca oscura que queda sobre un papel cuando se frota ligeramente la mina de un lápiz sobre él; por otro lado, limpiaríamos de manera continua el ruido que tiende a oscurecer la señal en el sistema.

El descubrimiento de arrugas se llevaría a cabo en cuatro etapas: primero veríamos la radiación cósmica de fondo en sí misma, aparentemente uniforme desde todos los puntos del universo (como la detectaron Penzias y Wilson); en segundo lugar, observaríamos el dipolo, una ligera distorsión de la radiación de fondo provocada

por el movimiento peculiar de la galaxia (tal como lo habíamos comprobado gracias a nuestros experimentos con el U-2); luego detectaríamos el cuadripolo (el mismo que, por error, Francesco Melchiorri y Dave Wilkinson creyeron descubrir en 1981), que corresponde a la primera distorsión cósmica; finalmente, hallaríamos las semillas primordiales: las arrugas. A finales de 1990, un año después del lanzamiento, habíamos cubierto las dos primeras etapas. Yo estaba convencido de que detectaríamos la tercera emergiendo del conjunto de datos.

En marzo de 1991 dije al equipo científico lo que veíamos a partir de la información, pero advirtiéndole que el ruido en el sistema era casi tan fuerte como la señal. En otras palabras, podía ser erróneo. Cuando en junio tuvimos la siguiente reunión, volví a decir lo mismo. Ned Wright, que estaba trabajando en los datos del PIRAS pero mantenía un ojo sobre nuestros mapas, insistió en que mostraban una señal que se parecía a un cuadripolo. El resto del equipo fue mucho más cauteloso; sabían cuán chiflados podían ser los instrumentos y cómo un dato estimulante podía venirse abajo al día siguiente, de modo que deseaban analizar más información antes de hacer cualquier anuncio. Estuve completamente de acuerdo en ello.

Mantuvimos todo en absoluto secreto. No podíamos permitir que se filtrase nada de lo que habíamos encontrado hasta que no estuviésemos completamente seguros de lo que era.

De modo que seguimos trabajando, examinando los datos de manera obstinada en busca de errores sistemáticos, señalando posibles anisotropías. Se advertía cierta tensión, tanto dentro como fuera del equipo. Dentro, muchos comenzaron a preguntarse en qué medida nuestros resultados eran reales y, lo que resultaba más difícil de manejar, en cuánto tiempo se suponía que debíamos hacerlos públicos. Fuera, nuestros colegas querían saber qué estaba pasando. Había transcurrido un año desde el lanzamiento, contábamos con el instrumento más sensible para detectar semillas cósmicas y toda la información que habíamos dado hasta el momento era que, en enero de 1991, no habíamos descubierto prueba alguna de semillas y todas las variaciones en la radiación cósmica de fondo tenían que ser menos de unas pocas partes en cien mil. ¿Debíamos admitir nuestro fracaso?

A menudo mis colegas me preguntaban qué habíamos hallado; mi respuesta era que aún estábamos tratando de descifrarlo. El Consejo Nacional de Investigación dio

a conocer un informe amenazador: «Si no se encuentran variaciones en esas sensibilidades incrementadas, entonces la teoría astronómica extragaláctica sufrirá una crisis. Significará que nuestras teorías sobre la formación de las galaxias, o tal vez nuestra comprensión de la radiación cósmica de fondo, están terriblemente equivocadas.»

Los medios de comunicación exageraban la «crisis» que supuestamente enfrentaba a los teóricos del Big Bang. Mientras que los artículos solían ser bastante imparciales, los titulares tenían un tono prematuramente fúnebre: «El Big Bang: ¿Muerto o vivo?» se preguntaba *Sky and Telescope* con grandes letras de molde. El suplemento para estudiantes del *USA Today* publicó un artículo cuyo título era «¿Adiós a la teoría del Big Bang?», en tanto que otro aparecido en *Science News* llevaba el siguiente encabezado: «El origen del universo. Si no fue el Big Bang, entonces, ¿qué?». En la misma línea, la revista *Astronomy* publicaba: «Más allá del Big Bang. Nuevas informaciones cuestionan las teorías convencionales acerca de la formación del universo.» *Science* trató de equilibrar las cosas publicando un artículo titulado: «Pese a los informes sobre su muerte, el Big Bang está a salvo». Sin embargo, reconocía que «aun así, los cosmólogos tendrán que reconsiderar muchas de sus creencias sobre lo que ocurrió a continuación».

Viejos enemigos de la teoría del Big Bang aprovecharon la oportunidad para arrojar algunas granadas de mano literarias. En su mayoría se trataba de antiguos defensores de la teoría del estado estable, como Jayant Narlikar y Halton Arp. En marzo de 1991 Narlikar subrayaba que «el COBE... no ha encontrado ninguna prueba de desigualdad en la radiación [cósmica de fondo]. Estas últimas observaciones plantean un serio y grave problema a los cosmólogos dedicados al Big Bang... Evitar que estas observaciones sean confrontadas no es precisamente el sello de una buena teoría».

Como era de esperar, Geoffrey Burbidge expresó comentarios similares. Los puntos de vista de Geoff no pueden descartarse a la ligera, pues se trata de un científico tan genuino como descollante a quien estimo y admiro a pesar de nuestras diferencias cosmológicas. En un ensayo publicado por el *Scientific American* en febrero de 1992, Geoff sostenía que un punto débil de la teoría del Big Bang era la continua controversia acerca del llamado «ritmo de expansión de Hubble». Éste es

el valor que expresa la tasa de expansión cósmica, que es inversamente proporcional a la edad del cosmos. Durante años los científicos han debatido acerca de este valor. Resolver su exactitud es de la mayor importancia, ya que un cosmos extremadamente joven —de unos diez mil millones de años, por ejemplo— es difícilmente conciliable con la edad de algunas galaxias y cúmulos globulares, ya que ésta se aproxima a los 14.000 millones de años. Evidentemente, el universo no puede ser más joven que sus constituyentes. Sin embargo, escribió: «La versión más afortunada de modelo de Big Bang ofrece un universo cuya antigüedad oscila entre los 7.000 y los 13.000 millones de años».

Geoff denunciaba una situación en la que los cosmólogos del Big Bang «se esfuerzan» por explicar las presuntas discrepancias, en tanto que los teóricos contrarios a esta teoría han sido suprimidos por «una forma de censura». Proponía una cosmología de estado «neoestable» en la que «la creación continua tiene lugar en la forma de pequeños *big bangs*... en tal modelo las microondas cósmicas son generadas por las galaxias y nunca acopladas a ellas». A fin de detectar la anisotropía cósmica, Geoff lanzó un reto a propósito del fracaso: el «fondo cósmico de microondas parece uniforme al menos en una parte en cien mil, cerca del nivel en el que la teoría del Big Bang debe ser abandonada o modificada significativamente».

Sin que el resto del mundo lo supiera, en el otoño de 1991 nuestro mapa celeste se fusionaba claramente y la prueba de arrugas se hacía cada vez más persuasiva, aunque no concluyente. Habíamos analizado nuestros datos con un nuevo *software* y obtenido un mapa «limpio». En septiembre convocamos una reunión —otra más— para tratar los errores sistemáticos y resolvimos más trampas potenciales. La confianza crecía por momentos, y esto me preocupaba. Insistí en que aún debíamos ser más eficientes, y ofrecí pagar un pasaje de avión a cualquier parte del mundo a quien pudiese probar que las arrugas eran un artefacto. Deseaba que el equipo se pusiera a la busca de nuevos problemas que resolver, en vez de suponer tranquilamente que todo marchaba bien. Una persona engreída será también poco sistemática. Cuando en ciencia alguien quiere ver un efecto, es muy fácil que resulte seducido por aquello en lo que cree. En palabras de Richard Feynman: «El

principio fundamental es que no debes engañarte ni olvidar que eres fácilmente engañable.»

Ned Wright, convencido de que teníamos una señal genuina, presionaba para que publicásemos nuestros resultados y dejáramos que la comunidad cosmológica los evaluara como desease. El 9 de octubre de 1991 dio a conocer un «artículo preliminar» sobre sus ideas en el transcurso de una reunión del Grupo Científico de Trabajo. Ned argumentaba que debíamos entregar un artículo sobre los datos con que contábamos al *Astrophysical Journal*. Pensaba que el equipo tenía que dar a conocer la información a fin de que los teóricos no perdiesen más tiempo errando por callejones sin salida. Dave Wilkinson solicitó cautela una vez más; aún recordaba el cuadripolo que años antes había creído detectar, para luego ver cómo se desvanecía. Ned dijo que los datos del COBE eran más fiables que los del globo y debíamos demostrar nuestra confianza en ellos. Argumentaba que el entorno estable de la órbita del COBE le permitía ver todo el cielo, en tanto que un globo, rodeado de una atmósfera relativamente inestable, sólo podía ver una pequeña fracción del mismo. En su opinión, valía la pena el esfuerzo de dar a la prensa nuestras conclusiones «pues de otro modo el *Astrophysical Journal* puede tomarse su tiempo en publicarlas».

Ned y yo tuvimos algunas discusiones acaloradas al respecto, y estoy seguro de que más de una vez se marchó convencido de que no había ninguna buena razón para que me obstinara tanto.

Finalmente, el equipo rechazó la propuesta de Ned; no notificaríamos de nada al *Astrophysical Journal*, al menos por el momento⁴². Queríamos esperar hasta que el nuevo *software*, que era mucho más potente, hubiese reproducido los datos del primer año y verificado la existencia de nuevos errores potenciales. Estábamos convencidos de que era importante evaluar los resultados con extremo cuidado antes de tomar la decisión, que podía ser fatídica, de anunciar los hallazgos, pues aunque se tratara de un «intento de estimación» planteaba toda clase de riesgos. Era mucho lo que estaba en juego, y no veíamos ninguna ventaja en anunciar un resultado que probablemente atraería la atención masiva de la prensa, haría que

⁴² Como Al Kogut, Ned representó un papel fundamental a la hora de convencer al Grupo Científico de Trabajo de que los resultados eran correctos y debían ser publicados. Ned desarrolló varios análisis algorítmicos de datos y, de modo independiente, hizo simulaciones que examinaron los resultados del DMR.

fracasásemos y nos pondría en ridículo. Los instrumentos pueden volverse contra uno si no se los vigila en cada paso del proceso.

En la comunidad cosmológica comenzaron a correr rumores, y eran cada vez más los que trataban de sondearnos para averiguar qué habíamos encontrado. En un momento Dick Bond vino a mí y dijo: «He oído decir que en sus datos tiene usted un cuadripolo de 13 microkelvin». Sonreí y respondí con una evasiva. En ocasiones se acercaba alguien y me preguntaba: «Me he enterado de que ha hallado anisotropías en tal y cual nivel», a lo que yo replicaba: «Eso es mucho, ¿no lo cree así?» En Goddard estaba Sasha Kashlinsky, quien trabajaba cerca del despacho de Chuck Bennett. A menudo Sasha entraba en el despacho de Chuck y trataba de tirarle de la lengua diciendo cosas como: «He oído que vio un gran cuadripolo» o «He oído que vio algo pero que *no* se trataba de un cuadripolo». Pero Chuck no mordía el anzuelo. De vez en cuando yo enviaba por correo electrónico mensajes dirigidos a los miembros del equipo en los que insistía sobre la necesidad de que nadie revelara nuestros resultados hasta que no estuviéramos absolutamente seguros de ellos. Mi ansiedad estaba justificada; aunque desconocía si Alan Lightman, físico del MIT, estaba al corriente de los rumores, lo cierto es que en 1991 publicó un libro titulado *Ancient Lights* en el que incluía una referencia, tan breve como enigmática, a «observaciones muy recientes» llevadas a cabo por un equipo científico no identificado que «sugerían detecciones positivas [de la radiación cósmica de fondo] a niveles de una parte en cien mil (esto haría que los científicos suspirasen aliviados), si bien dichas observaciones no han sido analizadas de manera completa». Se dice que durante la Segunda Guerra Mundial, hasta el gran «secreto» de la bomba atómica fue objeto de rumores en todas las universidades de los Estados Unidos. ¿Quién era capaz de imaginarse a finales de 1991 lo que la gente podía estar diciendo del DMR?

En octubre de ese mismo año tuvimos la última versión del mapa pegada en la pared de la sala de operaciones del instrumento. A decir verdad, se trataba de un mapa poco atractivo, con manchas rojas y azules sobre un fondo verde. Una tarde me detuve delante de él y pensé: «Sí, es esto. Esto es lo que he buscado durante dieciocho años.»

A pesar de mis reticencias la tarde que expusimos nuestros hallazgos, en mi fuero interno sentía que todo había sido hecho de la manera correcta; el equipo había trabajado de modo cohesionado, el análisis había sido cuidadoso y la búsqueda de errores sistemáticos, completa. Habíamos encontrado las arrugas, el Santo Grial de la cosmología moderna.

Pero en mi obsesión por la experimentación correcta, argumentaba que era necesario comprobarlo todo una vez más, hacer una prueba que eliminase una fuente potencial de distorsión: la interferencia de radio de nuestra propia galaxia. Durante mucho tiempo había estudiado la Vía Láctea porque sospechaba que podía interferir en las mediciones cósmicas de fondo. Quince años antes, trabajando con mi discípulo Chris Witebsky, había hecho modelos de la señal galáctica mientras diseñaba el DMR. Los modelos se basaban en mapas de radio y otros reconocimientos del cielo, más alguna interpolación. A lo largo de los años los habíamos actualizado en la medida en que nos era posible. Durante nuestras mediciones del espectro cósmico de fondo habíamos explorado la galaxia comparando las observaciones con los modelos, pero nunca habíamos medido a este nivel, ni controlado los mapas dispersamente medidos del cielo meridional.

Después de examinar esos modelos con sumo cuidado llegué a la conclusión de que si los datos que nos proporcionaban los mapas eran correctos, la interferencia galáctica sólo significaba una décima parte de la señal que veíamos. A Chuck Bennett no le gustó; en su opinión la interferencia galáctica podía suponer un problema serio. Junto con Gary Hinshaw comenzó un examen sistemático al margen de nuestras estimaciones. Chuck creía que la interferencia galáctica podía distorsionar nuestro mapa, en tanto que yo era de la idea de que eso sólo podía ocurrir si existía algún tipo de error en los mapas de la señal galáctica. Tiempo antes, Giovanni di Amici y yo habíamos efectuado mediciones de la emisión galáctica en el observatorio White Mountain, de California, en conjunción con nuestras mediciones de onda larga de la radiación cósmica de fondo. Los resultados que habíamos obtenido en esa ocasión concordaban con los modelos, pero no eliminaban de manera convincente los errores de los mapas galácticos. Y si existía alguna posibilidad de que se produjese un resultado equivocado, yo era consciente de que no podía ignorarlo, por poco que me gustara.

El único modo de abordar la cuestión galáctica era hacer nuevas y mejores mediciones en la Antártida, donde mi grupo ya había establecido una base de observaciones. La Fundación Nacional para la Ciencia había aprobado mi propuesta de hacer, por medio del PIRAS, mediciones suplementarias de espectro de onda larga. El frío, el aire seco, la ausencia de polución, la baja presión atmosférica y, ya lejos de los montes Transantárticos, las enormes extensiones de terreno llano, hacían del continente helado el lugar más idóneo, en términos astronómicos, aparte del espacio exterior. En aquella base de observaciones, establecida a sólo dos kilómetros del Polo Sur, podríamos recoger «susurros» electromagnéticos de la Vía Láctea que confirmasen la validez o invalidez de nuestro mapa celeste.

Capítulo 13

Un lugar horrible para la ciencia

Se buscan hombres para un viaje azaroso. Salarios bajos, frío cruel, largos meses de completa oscuridad, peligro constante, sin garantías de retorno seguro. En caso de éxito, habrá honores y reconocimiento.

Anuncio puesto por Ernest Shackleton en los periódicos requiriendo personal para una expedición a la Antártida, circa 1900.

Para quien la visita por primera vez la Antártida puede parecer un lugar de fantasía, una vastedad de marfil surcada de montañas etéreas. Siglos atrás los europeos especularon con la existencia de un continente exuberante e inhabitado en los confines de la Tierra, pero lo que descubrieron los exploradores del siglo XIX fue bien distinto. El continente los congelaba, los mataba de hambre, los volvía locos, los hacía desaparecer en medio de grandes tormentas y estropeaba sus barcos con sus dientes de hielo. «¡Dios mío —escribió en 1912 el explorador Robert Scott, poco antes de que el continente lo reclamase—, este lugar es horrible...!»

En noviembre de 1991, mis colegas y yo nos aventuramos en esos formidables dominios. Debo admitir que lo hicimos con renuencia ya que, en mi caso, conocía muy bien los desafíos a los que tendríamos que enfrentarnos. El frío extremo, la excesiva altitud, los fuertes vientos, el aislamiento y la amenaza siempre presente de peligros serios e incluso de la muerte. Al comentario de Scott, yo añadiría que es un lugar horrible «para la ciencia». Desgraciadamente, no teníamos otra opción: queríamos hacer el gráfico de las emisiones de radio provenientes de la Vía Láctea y para ello nuestro planeta no ofrecía otro lugar mejor que la Antártida. El COBE, puesto en órbita hacía exactamente dos años, pasaba directamente sobre el continente helado cada catorce horas a una altura de unos 800.000 metros. Los datos reunidos durante esos dos años, analizados minuciosamente en Goddard y Berkeley, nos habían brindado la ocasión de identificar arrugas en la radiación de fondo, las semillas cósmicas a partir de las cuales las galaxias habían empezado a crecer mil millones de años después del Big Bang. Sin embargo, existía la

posibilidad —pequeña, pero lo bastante importante para no ignorarla— de que nuestro mapa de las arrugas fuese el resultado del torrente de radiación que la actividad cósmica vuelca de modo constante dentro de la Vía Láctea. Los astrónomos ya habían confeccionado un mapa de la radiación galáctica temprana, pero en nuestra opinión era demasiado poco uniforme. Debíamos estar completamente seguros de su perfil a fin de compararlo con nuestro mapa celeste y tomar en cuenta cómo la energía galáctica podía distorsionar el mapa. Si íbamos a anunciar el descubrimiento de las semillas cósmicas que a través del tiempo habían producido las actuales estructuras celestes, nuestra certeza de que no habíamos cometido errores debía ser total. De modo que no había manera de evitar la Antártida.



ANTÁRTIDA: Características físicas y localización de las estaciones principales.

El continente antártico, que representa una sexta parte de la superficie terrestre de nuestro planeta —equivalente a las superficies sumadas de Estados Unidos y

México—, es un mundo verdaderamente extraño: desde sus valles altos y secos hasta sus extensas plataformas de hielo, este continente, en el que antaño florecían exuberantes formas de vida, se halla ahora escasamente poblado. Los montes Transantárticos, que separan la Antártida Oriental de la Occidental, disminuyen de altura hasta convertirse en casquetes de hielo de más de un kilómetro y medio de espesor. El enorme peso de estos casquetes hace que la placa continental que hay debajo ceda. Si se pudiera quitar este hielo, el continente ascendería más de 90 metros; si pudiera fundirse, el nivel de los mares subiría más de 55 metros.

Muchos historiadores creen que la primera persona que identificó positivamente el continente antártico fue el capitán y explorador ruso Fabián Gottlieb von Bellingshausen, en el transcurso de una expedición por barco que realizó en 1820. Los visionarios Victorianos consideraron la Antártida como la última tierra inconquistada sobre la faz de la Tierra, y abogaron por acabar con esa situación. Argumentaban que la ciencia se beneficiaría al salir de dudas acerca de si la Antártida era un continente o dos. El oceanógrafo estadounidense Matthew Fontaine Maury se lamentaba de que «una sexta parte de la superficie terrestre de nuestro planeta... [es] tan desconocida para los habitantes de la Tierra como el interior de uno de los satélites de Júpiter».

Los tiempos heroicos de la exploración de la Antártida comenzaron en 1902, cuando Robert Scott, Edward Wilson y Ernest Shackleton intentaron ser los primeros seres humanos en conquistar el Polo Sur. Llegaron a una latitud de 8°, es decir, a menos de 800 kilómetros, pero las brutales condiciones climáticas los obligaron a emprender la vuelta. En 1908, Shackleton y otros se aproximaron a una distancia de 180 kilómetros. Pero fue el explorador noruego Roald Amundsen quien el 14 de diciembre de 1911 alcanzó la meta con otros cuatro colegas. Plantaron un campamento y dejaron provisiones para quienquiera que llegase después de ellos. Menos de un mes más tarde, Scott y sus cuatro compañeros se tambaleaban rumbo al polo. Imaginamos lo sorprendidos y desengañados que se deben de haber sentido al advertir que Amundsen les había ganado de mano. La Antártida, escribió Scott en su diario con intensa amargura, era «horrible... especialmente para nosotros, que hemos trabajado sin recibir la recompensa de la prioridad».

Amundsen triunfó porque se había preparado mejor y había tenido un juicio más sensato que Scott. La Antártida es implacable: los juicios equivocados conducen rápidamente a la catástrofe. En 1912, luchando por alcanzar su meta, Scott confió más en los ponis que en los perros de trineo. Por ésta y otras decisiones erróneas, él y sus colegas pagaron con sus vidas. Una de las cabañas utilizadas por la expedición todavía se alza en la isla de Ross, al sur de la península Antártica. Dentro, es posible oler el heno de los ponis, preservado durante ocho décadas como un cadáver en una nevera.

Irónicamente, la mitología popular recuerda a Scott más que a Amundsen, el hombre que se preparó de manera adecuada y por ello llegó el primero. «La figura del competente pero prosaico Roald Amundsen —observa el erudito en temas antárticos Steven J. Pyne—, parece funcionar principalmente como contraste de la del trágico Robert Scott. En toda la literatura occidental no hallaremos una crónica más desgarrada de la vida, la humanidad y la civilización reducidas a sus mínimos.» La historia de Scott siempre me ha fascinado, y a menudo recordaba su destino cuando nos preparábamos para nuestra expedición a la Antártida. Nuestro viaje a regiones tan hostiles tuvo lugar en noviembre de 1991 —durante el verano antártico, en el que el sol nunca se pone— y no sólo fue una expedición científica sino también una prueba personal.

En la Antártida, la temperatura de un bello día de verano puede alcanzar los 30° F bajo cero, en tanto que el viento helado hace que la muerte por congelamiento resulte muy factible. Mi infancia en Alaska ha hecho que no me sienta en absoluto atraído por las temperaturas glaciales. Cuando el termómetro baja, mi cuerpo empieza a resentirse, mis músculos se entumescen, sufro accesos de sinusitis, me sube la fiebre... en definitiva, me siento fatal. Pero lo que empeora aún más las cosas es que el Polo Sur se encuentra a gran altura y el clima allí es muy seco. No hay suficiente aire para respirar normalmente y la falta de oxígeno hace que las heridas tarden en sanar. Pensaba que la Antártida sería un sufrimiento continuo, y cuando lo comenté con algunos amigos, sencillamente me respondieron: «Sólo será un mes; podrás resistir *cualquier cosa*».

No podía olvidar el final de la expedición de Scott, los exploradores muertos por congelamiento, sus cadáveres rígidos, a sólo dieciocho kilómetros de una cabaña

caliente y llena de alimentos. Si sus piernas hubieran resistido unas pocas horas más, actualmente serían una nota al pie en los libros de historia. En cambio, murieron valientemente, innecesariamente, y por ello se convirtieron en héroes, en figuras míticas. Su expedición fue el epítome del «noble fracaso». Sin embargo, para la generación posterior —más cínica— Scott y sus hombres fueron el ejemplo más claro del «fracaso perfecto», sólo una metáfora más (conjuntamente con la tragedia del *Titanic*) del crepúsculo del optimismo Victoriano. En mi calidad de jefe de equipo, el diario de Scott me acosaba: «El fracaso de esta expedición no puede atribuirse en modo alguno a falta de planificación o de esfuerzo por parte de los hombres». Yo no tenía ningún interés en convertirme en una metáfora del desastre. Después de que nuestra expedición fuese aprobada por la Fundación Nacional para la Ciencia, comenzamos a asistir a cursillos de preparación. Oficiales que habían servido en la Antártida nos mostraron horribles fotografías de personas que no supieron tomar las precauciones adecuadas. Por ejemplo, un hombre que arrastraba un trineo tenía el cuerpo tan entumecido que no había advertido que la cuerda le había abierto un gran tajo en la mano. Ésta aparecía cruzada por una línea azul; la mitad inferior estaba negra, y los dedos tan hinchados como globos.

Para ser admitido en las bases de los Estados Unidos en la Antártida, fuimos sometidos a exámenes médicos completos. Los funcionarios no querían gente a la que hubiese que instalarle un marcapasos o extraerle una muela del juicio mientras estaba en la región polar. Corrían historias espantosas sobre personas que se habían sentido enfermas durante su estancia en las bases antárticas, como un médico de la estación rusa que se vio obligado a operarse él mismo su apéndice. Todo el personal militar estadounidense posee una ficha odontológica para identificar sus restos si no hay otra forma mejor de hacerlo.

Traté de aliviar mis temores dedicándome a los preparativos para el viaje. Yo comandaría la expedición. Marc Bensadoun, un licenciado reciente, y Giovanni de Amici fueron los encargados de las operaciones logísticas. Giovanni, un montañés italiano tremendamente enérgico y directo, a quien no le gusta el vino ni el ajo, era también el responsable de las mediciones de la emisión galáctica. Giorgio Sironi, el jefe de nuestros colaboradores italianos de Milán, no pudo acompañarnos pues los exámenes médicos descubrieron un tumor potencial. Fue operado pero en el

momento de nuestra partida todavía se estaba recuperando. Todos los que formábamos la misión a la Antártica habíamos trabajado juntos anteriormente, en el observatorio White Mountain y en Italia, de modo que conocíamos nuestras virtudes tanto como nuestras limitaciones.

Durante los seis meses anteriores a noviembre de 1991, los ocupantes de la estación de los Estados Unidos en el continente antártico habían vivido en la oscuridad total propia de esa época del año, y a lo largo de ese tiempo habían permanecido prácticamente aislados del mundo. Este aislamiento sólo se rompió una vez, en mitad del invierno, cuando un avión de la Armada dejó caer sobre los terrenos de la base una carga adicional de suministros. Ahora, el invierno había terminado y el sol se elevaba cada vez más alto en el cielo haciendo que los días fuesen más largos. Cuatro días antes de que partiésemos, John Lynch, del Programa antártico de la Fundación Nacional para la Ciencia, me envió una nota muy simpática en la que me informaba de que el Polo Sur estaba oficialmente «abierto». La velocidad de los vientos de superficie era de 25 nudos y la temperatura de superficie de 73° F bajo cero, ¡y yo que casi creí morir cuando tuve que soportar 30° F bajo cero! Un renovado temor se apoderó de mí. El día anterior a la partida salí de compras y, presa del pánico, me gasté 300 dólares en ropa interior isotérmica para el caso de que las cosas se pusieran realmente mal. No olvidé adquirir un par de «sobremitones» para protegerme del viento.

Los equipos de investigación estadounidenses llegaban a la Antártida siguiendo una ruta que incluía una escala en la base neozelandesa de Christchurch, en la isla Sur de ese país. Allí recibimos instrucciones sobre nuestra expedición y se nos enseñó qué debíamos hacer si teníamos un amerizaje forzoso en aguas antárticas. Hablaban en serio; la imprevisibilidad del clima y las dificultades que se presentaban a la hora de intentar controlar el tráfico aéreo hacían que todo vuelo por esa región fuese muy arriesgado. Por todo el continente blanco podían verse las aletas de cola de aviones caídos décadas atrás, sobresaliendo del hielo como si fuesen lápidas. Los buscadores de emociones fuertes pagaban miles de dólares por arriesgar sus vidas en excitantes vuelos comerciales transantárticos.

Enfundados en nuestras parkas rojas y calzando grandes botas caminamos por la pista hasta el transporte aéreo de la Armada, un C-141 que más que un avión

parecía una ballena metálica con alas. Las pertenencias personales era todo lo que podíamos llevar en nuestras bolsas de lona. Allí estábamos, bajo el sol estival de Nueva Zelanda, con nuestro equipo de supervivencia, cargando 25 kilogramos de equipaje, esperando en fila en medio de la pista. Sudábamos a mares. Cada uno de nosotros recibió unos auriculares y una caja conteniendo el almuerzo. El interior del transporte parecía el de un 747, sólo que no tenía asientos y la estructura metálica estaba prácticamente al descubierto. Se trataba de un avión sin duda espartano, en el que todo peso innecesario había sido eliminado. Nos atamos con correas a una lona roja que corría a lo largo de la pared. Sobre nosotros se cernían gigantescas cajas de madera cargadas de suministros, equipo pesado de construcción y nuestro material científico. La carga ocupaba tanto lugar que teníamos que acomodarnos allí donde buenamente podíamos. Apenas quedaba lugar para ubicar los pies, y si uno quería estirar las piernas tenía que pasarlas por debajo del «asiento» del vecino.

Los motores se pusieron en marcha, el avión comenzó a sacudirse y de pronto nos sentimos más ligeros de peso; habíamos levantado vuelo con destino a la Estación Antártica McMurdo, sobre miles de kilómetros de aguas agitadas y frías. Quienes iban por vez primera al continente blanco estaban visiblemente nerviosos y se restregaban las manos... bien, como uno suele hacerlo en esos casos. El avión era tan ruidoso que ni siquiera podíamos oír al que teníamos al lado sin que nos gritase, y lo mismo podía decirse de los auriculares. Constituía un ritual de todos los vuelos antárticos. En las ocho horas que siguieron pudimos leer, dormir, mirar por la ventanilla o comer nuestro refrigerio, que estaba compuesto por bocadillos, zumos de frutas y postre. Pero lo que uno hacía la mayor parte del tiempo era aburrirse. Yo estaba cansado, de modo que traté de dormir. De tanto en tanto echaba una ojeada por la ventanilla y me preguntaba cuándo empezaríamos a ver los icebergs. Una hora antes de llegar a McMurdo comencé a sentirme a la vez excitado y temeroso. No era el único. Una mujer de las Fuerzas Aéreas comenzó a ponerse más y más ropa. Cuando faltaban quince minutos para que aterrizáramos se había puesto tres gorros, guantes y mitones. Los otros pasajeros la mirábamos con el rabillo del ojo y nos dábamos codazos unos a otros⁴³. Aterrizar sobre hielo es como

⁴³ Volé con Steve Levin, un estudiante de doctorado que trabajaba en el proyecto desde hacía tiempo y que ahora trabaja para el Laboratorio Jet Propulsión en un programa de búsqueda de inteligencia extraterrestre conocido como SETI. Éramos los menos experimentados del equipo. Otros, como Giovanni, Marc Bensadoun, Michele Limón y

hacerlo sobre hormigón: rebotes, chirridos, y uno ya está abajo. La única diferencia es que los pasajeros se lanzan miradas de excitación y mueven los labios como si estuviesen diciendo «¡Santo cielo, ya estamos en la Antártida!». Habíamos aterrizado en una parte congelada del mar de Ross. A través de la ventanilla llegó un resplandor blanco. La puerta se abrió y entró una ráfaga de aire frío. Cargando nuestros sacos de 25 kilogramos, descendimos con cautela por la escalerilla hasta la crujiente nieve. El paisaje que nos rodeaba era extraño. Blancura casi en todas partes, glaciares tan inmensos que parecían fundirse con las nubes. Nos quedamos sin aliento por la emoción; se trataba de una experiencia trascendental, como pocas veces puede vivirse en la Tierra. El sol era tan brillante que por un momento me sentí confundido y casi no atiné a ponerme las gafas protectoras. A lo lejos se veían los montes Transantárticos. Empecé a tomar fotografías. Me temblaban las manos a causa del viento helado. Los motores del C-141 seguían en marcha para evitar que se congelasen, lo que producía todavía más viento. Nuestro temor se desvaneció cuando nos dimos cuenta de que se nos estaba entumeciendo la piel. La temperatura era de unos 20° F bajo cero. A la distancia unos hombres de uniforme nos gritaban que despejáramos el camino al avión y subiésemos al vehículo de transporte, que parecía una gran caja anaranjada sobre gigantescas ruedas de tractor. Sin dejar de contemplar el fantástico y extraordinario paisaje que nos rodeaba, llegamos al vehículo conocido como Delta y trepamos por las resbaladizas escalerillas de acero. Cuando nos pusimos en marcha, observamos que la parte de atrás del C-141 se había abierto como una enorme almeja. Las carretillas elevadoras comenzaron a descargar las cajas y las llevaron a la zona de almacenaje.

Viajando a unos quince kilómetros por hora, el Delta se dirigió hacia nuestro alojamiento, la estación-ciudad de McMurdo, la más grande de las tres bases permanentes que Estados Unidos mantenía en la Antártida desde mediados de los años cincuenta. Con una población que fluctuaba entre las 250 almas en invierno y las 1.200 en verano, McMurdo es un conjunto disperso de cabañas y edificios de

Marco Bersanelli ya habían visto cómo su vuelo era cancelado repetidamente mientras esperaban con todo su equipaje en medio de la calurosa pista de Christchurch. Después de varias falsas alarmas, emprendieron viaje hacia el sur, sólo para verse obligados a regresar cuando estaban a medio camino. Cuando el avión estuvo de vuelta en la pista, Marc, que hasta ese momento dormía, despertó. Se puso toda su ropa de abrigo y mirando a través de la ventana, comentó: «No sabía que la Antártida fuese tan verde». Decididamente, no lo era.

todas las formas y tamaños, y hasta hace poco tiempo tenía la bien merecida reputación de ser el lugar más contaminado de la Tierra. Los desperdicios de décadas se apilaban sobre el hielo. En respuesta a los reclamos hechos por organizaciones como Greenpeace, se hizo un esfuerzo para limpiar toda esa basura. Todavía no está del todo bien y en una ocasión la Fundación Nacional para la Ciencia la comparó con un campo minado. Había caminos sucios, tractores y extraños vehículos rodando aquí y allá, además de numerosos depósitos y cajas y equipos de todas las clases imaginables. Gracias a Dios, sólo íbamos a estar allí tres días, los suficientes para preparar nuestro viaje a la Estación Polo Sur, donde estableceríamos nuestra base de operaciones, varios miles de kilómetros hacia el centro del continente.

En la Antártida sólo existe vida animal en la zona costera. McMurdo está ubicada tierra adentro (conectada con una cala que por lo general permanece congelada) y, aparte de los seres humanos, parece carente de vida por completo. Pero lo que ocurre, en realidad, es que para verla hay que hacer un esfuerzo. Mientras estuvimos allí hicimos varias visitas a este mundo oculto. A mitad de camino entre McMurdo y la Estación Scott había un agujero exploratorio abierto en el suelo, con un tubo de hierro ondulado cuyo extremo estaba perforado para poder observar. Tardamos media hora en llegar al lugar. Quedaba muy cerca de otro agujero —éste natural— al que llegaban focas gigantes para tomar el sol y acumular calor. Me quité la parca a fin de descender más cómodamente por el tubo; era tan estrecho que apenas podía doblar las rodillas, de modo que tuve que ayudarme con las manos. Descendí hasta una profundidad de unos doce metros. En el fondo miré a través de una portilla el mundo gélido, crepuscular y acuático que moraba debajo del hielo. A través de éste se filtraba una misteriosa luz azulada que me permitió ver plantas en el lecho del océano, pequeñas medusas arrastradas por la corriente, peces gelatinosos y camarones semejantes a krill. Ésta sería mi última ojeada a un medio natural hasta que regresara de llevar a cabo mi experimento.

Un avión-esquí C-30 nos llevó de McMurdo a la Estación Polo Sur, en un vuelo mucho más espectacular y peligroso que el que habíamos realizado desde Nueva Zelanda. Para llegar al polo hay que sobrevolar los montes Transantárticos, donde glaciares de cientos de metros de espesor se abren en grietas mortales. La mayor

parte del tiempo el paisaje que se observa es tan liso como una bola de billar. Quienes visitan por vez primera el Polo Sur a menudo están tan entusiasmados con la experiencia que apenas el avión aterriza se levantan de golpe para salir de él cuanto antes. Esto no es una buena idea, ya que se encuentran a 2.800 metros sobre el nivel del mar y el aire está muy enrarecido; el solo hecho de ponernos de pie hace que sintamos vértigo. Moverse demasiado puede producir lo que se conoce como enfermedad de altura y, además, el aire frío puede congestionarnos la garganta.

En medio del estrépito de los motores del avión, podía ver el poste indicativo (o «polo ceremonial») a poco más de 50 metros de donde me encontraba. Se parecía a esas señales blancas y rojas que suelen verse a la entrada de las peluquerías; estaba coronada por una esfera plateada del tamaño de una pelota de baloncesto y rodeada de un semicírculo de banderas que flameaban al viento. Los visitantes posaban y tomaban fotos con las que luego decoran las paredes de sus salas de estar.



George Smoot junto al punto («polo ceremonial») que señala el Polo Sur. Obsérvese cómo, a causa del frío, el aliento hiela su barba. (Giovanni De Amici.)

Era una metáfora visual verdaderamente maravillosa. El polo ceremonial no está lejos del polo verdadero, o geográfico, pero resulta difícil señalar la posición exacta ya que el hielo siempre cambia de posición. Con mi cámara de vídeo filmé el camino que separaba el polo ceremonial de la base. Si alguna vez necesitaba recordar las adversas condiciones de vida en la Antártida, no tenía más que poner la cinta de

vídeo y escuchar lo difícil que me resultaba respirar mientras trataba de describir la escena. Hasta el momento no he necesitado semejante recordatorio.

A menos de medio kilómetro de allí se encuentra la Estación Polo Sur, una base estadounidense de estudios científicos. Su centro está constituido por una gran cúpula geodésica plateada. Dentro de ella hay una serie de pequeñas construcciones que incluyen una cafetería, un hospital, una sauna, una biblioteca, una sala de vídeo, una piscina y un minigimnasio. La cúpula está parcialmente enterrada en la nieve, de modo que para entrar uno tiene que descender por una crujiente rampa de hielo. Cuando se desaparece dentro de ese túnel y sus cavernas de conexión, lo primero que se advierte es que el viento ha dejado de soplar y la temperatura ha ascendido. Sin embargo, dentro la temperatura todavía es de varias decenas de grados bajo cero. Una extraña luz azulada se filtra a través de los escasos claros de la cúpula. De lo alto cuelgan carámbanos; se han formado al cristalizarse el vapor de agua de la respiración de la gente. Después de una reunión orientativa, los funcionarios de la estación nos asignaron nuestras literas en el campamento, consistente en una serie de tiendas de color verde oscuro que durante el verano polar daban cobijo a más de un centenar de personas.

Una de las cosas que primero se aprendían era: «No dejes las botas en el suelo durante toda la noche, de lo contrario por la mañana las encontrarás congeladas». También nos enseñaron la llamada ley «de las tres cajas de cerveza»: «Si apilas tres cajas de cerveza en el interior de la tienda, la cerveza de abajo se congelará, la del medio estará demasiado fría para que puedas beberla y la de arriba tendrá la temperatura adecuada.»

Pero ya es tiempo de que volvamos a la ciencia.

Cuando llegamos al lugar de observación, mi ánimo decayó. Ni estaba cerca, ni podía usarse de inmediato. El mal tiempo y las enfermedades habían impedido que la gente de la estación la tuviera en condiciones. La tienda de observación estaba llena de agujeros y parcialmente enterrada bajo los ventisqueros. Teníamos que limpiarla y, entretanto, buscar un lugar para guardar nuestro instrumental, lo cual llevó días. Parte del equipo fue guardado en la tienda, parte en el patio de descarga, parte fue devuelto a McMurdo y parte fue a parar Dios sabe a dónde.



Nuestro equipo Ítalo-americano de 1991 — Michele Limon, Marco Bersanelli, Andrea Passerni, Giuseppe Bonelli, Giovanni De Amici (agachado), Bill Vinje, Marc Bensadoun, George Smoot, John Gibson (agachado), Steve Levin— en el Polo Sur geográfico. (Giovanni De Amici.)

Nuestra primera jornada de trabajo en el lugar estuvo signada por la tristeza y el desaliento. El viento frío castigaba nuestra piel de manera inclemente. Debíamos evitar tocar cualquier metal con las manos desnudas si no queríamos sufrir quemaduras. (Ninguno de nosotros podía olvidar aquellas fotos de las manos congeladas.) Tampoco podíamos hacer movimientos demasiado violentos; el Polo Sur es un lugar tan terrible que uno enseguida termina agotado y desorientado, y las personas agotadas y desorientadas suelen cometer errores, a menudo fatales. Afortunadamente, gracias a nuestra experiencia en el observatorio White Mountain, ubicado a más de 3.700 metros de altura, la mayoría de nosotros estábamos habituados a trabajar a grandes altitudes. Sabíamos cuán importante era caminar despacio y procurar beber mucha agua. En ocasiones nos olvidábamos, pero la naturaleza es sabia y se encargaba de recordárnoslo. Yo puedo dar fe de ello. El primer día, cuando ya llevábamos varias horas en el lugar acarreado y ordenando las cajas que contenían nuestros instrumentos, el frío había hecho que yo empezase a moquear; a medida que respiraba, el líquido se iba congelando en el interior de mi

nariz. De pronto me di cuenta de lo que estaba ocurriendo y empecé a respirar por la boca, lo cual no hizo sino empeorar las cosas. La repentina concentración de aire frío en los pulmones hizo que mi garganta se endureciese. Empecé a jadear, atemorizado. Cuando recuperé la sensibilidad de mi garganta, ésta comenzó a dolerme y arderme. Pensé amargamente en el comentario tranquilizador de mis amigos: «Sólo será un mes; podrás resistir cualquier cosa».

Mis peores temores parecían confirmarse: nuestro plan de trabajo se estaba retrasando. Nos faltaban piezas esenciales del reflector del radiotelescopio y habíamos extraviado mucho material de suministro. Además, yo era un despojo humano; tenía 46 años, me costaba comer y hasta respirar y me sentía atrapado en el fondo del mundo. Preocupado, me dije: «¿Pueden las cosas ir peor? ¿Iré a morirme justamente ahora?»

Finalmente, los componentes del reflector llegaron y pudimos empezar a montarlo. Giovanni y yo asumimos la tarea de ensamblar el instrumento, con el que escucharíamos las efusiones de la Vía Láctea. El reflector había sido construido en Berkeley por nuestro especialista Hal Dougherty, quien colaboró con nosotros a pesar de que ya estaba retirado. Habíamos contratado también los servicios del estudiante Christian Carter. Hal, Christian, John Yamada, Doug Heine y otros miembros del grupo habían trabajado en ello noche y día. El cuerpo principal del reflector estaba constituido por 24 «pétalos» separados y otros tantos paneles de extensión, a los que pusimos por nombre «halo de Christian». Cuando el reflector estuviese montado, pesaría una tonelada y tendría más de nueve metros de ancho. Había sido un trabajo urgente, y aunque sabíamos que en el soleado clima del norte de California funcionaba a la perfección, estábamos intranquilos respecto de su comportamiento en la Antártida, que es tan cruel con las máquinas como con la gente.

Al aire libre, el viento frío nos hacía lagrimear. Giovanni y yo montamos el reflector pieza por pieza, pétalo por pétalo. Cada uno de los 24 pétalos de metal estaban conectados al eje central. Era como armar un girasol. Todas las piezas estaban unidas por cientos de pequeños tornillos y tuercas; nuestras manos estaban tan entumecidas que colocarlos nos llevó un trabajo enorme. Sabíamos que la estructura final sería muy difícil de mover aunque se dieran las mejores condiciones,

y éste no era precisamente el caso. De vez en cuando teníamos que ir a la tienda para beber algo caliente y quitar el hielo que cubría las máscaras y los guantes. Nuestro aliento se congelaba dentro de aquéllas y teníamos la cara tan rígida como una tabla. El hielo que rodeaba mis ojos me impedía ver correctamente y continuamente volvía a la tienda para quitármelo. Nos calentábamos las manos sobre el hielo que se fundía en la estufa.

Pero nuestro trabajo no terminó una vez que hubimos montado el reflector. Debíamos apuntarlo a; diferentes regiones del cielo. Para ello, yo había ideado un sistema hidráulico que inclinaba el reflector del radiotelescopio a diferentes ángulos. Por desgracia, pronto descubrimos que el fluido hidráulico se congelaba. Puestos a improvisar, utilizamos el gato de Un buldozer y lo fijamos con cubos de madera que podían insertarse o quitarse para mantener el reflector en el ángulo deseado. Nos preocupaba el modo en que el viento podía afectar el reflector, así es que, para protegerlo de aquél, decidimos montarlo en un hoyo que un operador de excavadora abrió en el hielo. Hicimos levantar una empalizada para proteger nuestro aparato del viento y decidimos que del lado que éste soplabla el pozo fuera más profundo. Pero no demasiado, ya que si estábamos en el Polo Sur era, en parte, por su terreno llano, y no queríamos que posibles señales del horizonte confundieran el reflector. Éste fue asegurado al suelo por el método de congelar sus soportes y bisagras. Para ello, lo primero que hicimos fue enterrar madera en el hielo, luego fundimos hielo en un cubo de veinte litros sobre la estufa de aceite y por fin llevamos el agua fuera y la volcamos sobre el hielo para hacer «almohadillas de hormigón», que constituirían una sólida base para nuestro reflector. Entonces ubicamos el eje en el hoyo y sujetamos los goznes a los bloques de madera que habíamos puesto dentro del «hormigón» helado.

Después de esta operación, estábamos listos para poner a prueba el sistema de inclinación. Pero topamos con un serio problema. No habíamos previsto que los goznes de aluminio hechos en Berkeley por Hal eran demasiado gruesos. El reflector no podía inclinarse debido a que el ángulo de uno de los goznes se había fijado al puntal y resultaba imposible abrirlo. Parecía un problema insoluble; ninguno de los dos sistemas, ni el hidráulico ni este nuevo, había funcionado. Giovanni quería desarmar el maldito aparato, llevarlo dentro y modificarlo. Le respondí que eso era

imposible, pues no terminaríamos a tiempo para recoger los datos. No quería irme de la Antártica sin haber concluido mi trabajo; la sola idea de tener que regresar algún día a ese lugar dejado de la mano de Dios me espantaba. Así es que fui rabiando hasta la tienda y cogí una sierra de cortar metal.

El viento aullaba y la temperatura era de 40° bajo cero. Estaba decidido a solucionar el problema rebajando el espesor del gozne diez o doce centímetros para desatascarlo del puntal y comenzar de una vez nuestro trabajo. Me sentía como un astronauta en la Luna que por fin ha logrado fijar un chisme estrafalario valiéndose de una buena y antigua llave inglesa.

Ahí estaba yo, serrando, jadeando, maldiciendo entre dientes el maldito radiotelescopio y la Antártida. No me di cuenta de que el aire helado estaba congestionándome los pulmones y quemándome la garganta. Hacía tanto frío que tenía las manos y la cabeza entumecidas, en tanto que mi cuerpo sudaba copiosamente. Era la fórmula perfecta para sufrir un colapso. Y eso fue lo que me ocurrió. Me pasé los siguientes dos días tiritando a causa de la fiebre, y en esas condiciones fui de muy poca ayuda para mis compañeros, salvo para lavar los platos u otras tareas domésticas.

Por fin, al cabo de un par de semanas de sufrimientos físicos, mal humor y algunas discusiones, teníamos todo dispuesto para escuchar la Vía Láctea, una típica galaxia en espiral de tamaño medio que contiene alrededor de cien millones de estrellas. La Tierra gira alrededor de una estrella ubicada en un rincón distante de esta galaxia, cuyo disco atraviesa el cielo nocturno como una nube de luciérnagas y cuyo centro —un poco oscurecido por nubes de polvo— brilla en dirección a la constelación de Sagitario, el Cazador. Desde ese disco, y en particular desde el centro, llega un fuerte ruido de radio cuyo origen es el calor que se produce cuando las nubes de polvo se condensan en sistemas planetarios, cuando las nebulosas se colapsan en máquinas de energía de fusión llamadas estrellas, cuando las estrellas de neutrones giran locamente y extraen materia de otras estrellas compañeras, cuando sucesos catastróficos de naturaleza desconocida (¿un monstruoso agujero negro?, ¿aniquilación de antimateria?) tienen lugar dentro del núcleo galáctico, donde las estrellas están tan próximas las unas de las otras que nunca caen.

Pero existe otra fuente espectacular de ruido galáctico: la radiación sincrotrónica, emitida por los electrones de altas energías al «lamentarse» cuando campos magnéticos galácticos desorientados los doblan. La radiación sincrotrónica galáctica era lo que más nos preocupaba. Su intensidad era tal que la búsqueda de arrugas cósmicas llevada a cabo por el COBE equivalía a tratar de oír un susurro en medio de una fiesta bulliciosa. Estimábamos que el ruido galáctico constituiría cerca de una décima parte de la señal de los datos del radiómetro diferencial de microondas del satélite.

Algunos tal vez crean que el porcentaje es demasiado bajo para significar un problema, sin embargo, temíamos que sí lo fuera, ya que los mapas de radiación sincrotrónica obtenidos a partir de observaciones terrestres fueron compuestos utilizando mediciones de diferentes radiotelescopios. Puesto que no todos encajaban bien, para fusionarlos fue necesario hacer reajustes y luego extrapolar el mapa resultante con nuestras frecuencias del DMR, de modo que era posible que en los datos se hubiesen deslizado errores lo bastante importantes para explicar por qué creíamos que se trataba de arrugas. Una vez que rastreásemos, estudiásemos y catalogásemos todas las fuentes de interferencia galáctica, estaríamos en condiciones de «sustraerla» de los datos del COBE y, al menos eso esperábamos, localizar las largamente buscadas semillas cósmicas.

El contraste entre los elevados objetivos científicos que perseguíamos y los medios con los cuales llevábamos a cabo nuestra búsqueda era grande, por no decir que hacía que nos sintiésemos ridículos. Se suponía que observaciones astronómicas de semejante importancia debían contar con instrumental de tecnología avanzada y un sistema informático capaz de escrutar el cosmos de manera automática. Y ahí estábamos nosotros, a punto de explorar el cielo con un reflector que giraba por un complicado sistema de cuerdas, bloques de madera, el gato de un buldozer y mucho esfuerzo físico por parte de un par de chalados que tan pronto se echaban a reír como se maldecían el uno al otro. Así es como se hace ciencia en la Antártida.

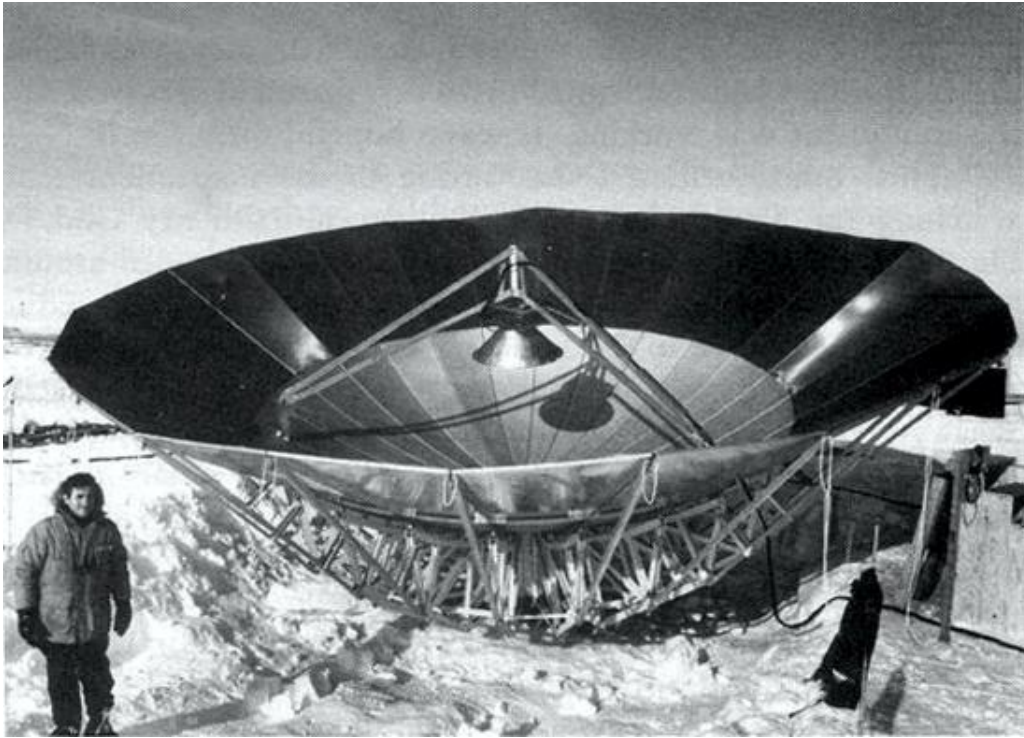
La primera vez que ensayamos nuestro sistema fue emocionante. Yo desaté las cuerdas mientras Giovanni accionaba la manivela del gato. El reflector comenzó a ladearse hacia su ángulo de exploración. Tan pronto como alcanzó un ángulo de 15° yo deslicé los bloques de madera para mantener la inclinación. Entonces puse el

reflector en posición y corrí a la tienda para controlar las pantallas del ordenador, que mostraban las señales de ascenso y descenso mientras la Tierra rotaba haciendo que explorase diferentes partes del «cielo» de radio. ¡Funcionaba! Giovanni y yo festejamos el triunfo dándonos un fuerte abrazo.

Después de algunas horas de obtener datos desde ese ángulo de exploración, quisimos ver si podíamos explorar desde ángulos aún más pronunciados. Salimos nuevamente de la tienda y manipulamos cuerdas y manivelas. Inclínamos el reflector hasta los 20°. Ningún problema. Más recolección de datos. Pasamos entonces a los 30°, donde exploraría a través de una larga e intensa fuente de radio en el plano galáctico. «¡Estamos haciendo radioastronomía desde el Polo Sur!», recuerdo que pensé, emocionado, mientras desataba las cuerdas. Giovanni estaba tan alegre como yo y empezó a poner la manivela. De pronto, el reflector comenzó a tambalearse. Yo estaba sosteniendo dos de las cuerdas; el reflector se precipitó dentro del pozo arrastrándome con él. «¿Qué ocurre?», preguntó Giovanni. El reflector cayó de lado. Yo estaba desconcertado y miré alrededor para ver si Giovanni yacía bajo el enorme peso del aparato. Afortunadamente, había caído en un hoyo próximo al que estaba el reflector. «¿Qué ha ocurrido? —preguntó mientras sacaba la cabeza del agujero—. ¿Acaso fue el viento?»

Me sentía mareado. «No —respondí—. Estaba sosteniendo las cuerdas para prevenir una posible ráfaga cuando empezó a tambalearse.» Habíamos sido imprudentes, el viento frío había mermado nuestra capacidad de discernimiento y como resultado de ello uno de los dos podría haber resultado herido, o tal vez algo peor. Era un recordatorio oportuno de los peligros a los que debíamos hacer frente. Habíamos inclinado tanto el reflector que éste había perdido el equilibrio. Giovanni y yo nos acercamos al aparato y comenzamos a examinar el puntal y los pétalos, pero no encontramos ningún daño serio. Habíamos tenido suerte. Después del tiempo y el esfuerzo que nos había demandado llevar todo aquello hasta el Polo Sur, habría sido humillante que el experimento se hubiera ido al traste por ignorar una ley tan simple de la física como es la de la gravedad.

Empezamos a recoger datos galácticos, lo cual hizo que me sintiese algo más animado. Me había enfrentado a mis peores temores y había sobrevivido, y el equipo estaba funcionando. Había motivos para la esperanza.



*Giovanni De Amici junto al reflector de diez metros de diámetro ya ensamblado.
(George Smoot.)*

Una mañana en que me hallaba en la tienda contemplando la señal de los datos en la pantalla del ordenador, exclamé: «¡Oh Dios mío, alienígenas!» Todos se volvieron hacia mí y me miraron como si lo que decía fuese verdad. Incluso yo estaba a punto de creer que lo era. En la pantalla, en medio de una señal completamente plana, surgía un enorme pico. Trazaba una curva y luego descendía, exactamente como lo haría una señal proveniente de una fuente que pasara sobre nuestras cabezas, una fuente, digamos, como un platillo volante. «¿Qué demonios es eso?», pregunté retóricamente. «No lo entiendo», dijo Giovanni. «Yo tampoco», repliqué.

Varias veces al día la señal aparecía por breves momentos en la pantalla del ordenador y luego desaparecía. Estaba claro que no se trataba de nada que proviniese de una fuente natural, como una aurora, por ejemplo, ya que en este caso se trataba de una señal de frecuencia estrecha y con un espectro demasiado puro. No creo en los ovnis, pero lo que estábamos viviendo en las últimas semanas me hizo pensar que debía de tratarse de alguna conspiración para que no

pudiésemos conseguir datos. Bromeando, le dije a Steve: «Te sacamos del proyecto SETI (de búsqueda de inteligencia extraterrestre) para que exploraras con nosotros el fondo cósmico y galáctico y ahora los malditos alienígenas no nos dejan recoger información». Consideramos una serie de respuestas alternativas para explicar las extrañas señales; ninguna de ellas incluía la posibilidad de que se tratase de *E. T.* Tal vez nuestro equipo estaba defectuoso y hacía que cada cierto tiempo las fluctuaciones aumentaran por sí solas. Tal vez se trataba de señales dispersas provocadas por otro grupo de investigadores. O tal vez eran fluctuaciones provenientes de nuestro generador eléctrico. Esta última posibilidad nos pareció bastante factible, ya que el grupo de Princeton encabezado por Jeff Peterson estaba compartiendo un generador con nosotros, y de vez en cuando lo conectaban a una gran bomba de vacío.

Después de unos días advertimos que la señal se repetía cada ciento y pico minutos, lo que nos hizo pensar que quizá provenía de un satélite que pasaba justo por encima de nosotros. Pero lo que más me desconcertaba era que había más de un tipo de señal; si se trataba de un satélite ¿no tendrían que repetirse en períodos de tiempo exactos? En un intento por identificar la fuente dirigí el reflector en diferentes direcciones. No hubo suerte. Por un instante las extrañas señales parecieron volverse locas. Temía que la interferencia acabase por arruinar las observaciones, ya que literalmente estaba destrozando nuestros datos.

Al cabo de un par de días se nos ocurrió que tal vez no se trataba de un satélite sino de tres. Aunque nunca pudimos comprobarlo más allá de toda duda razonable, no dimos con una solución mejor. Un indicio de que había más de un satélite nos lo proporcionaba el hecho de que a veces las señales aparecían a la misma hora del día y otras no. Si realmente se trataba de satélites girando en órbitas separadas, eso podría explicar que las señales fueran aparentemente impredecibles. Además, estaban transmitiendo en una banda prohibida por los acuerdos internacionales.

El daño ya estaba hecho: nuestro reflector tenía cinco bandas de frecuencia, pero gracias a los «alienígenas» sólo dos de ellas estaban en condiciones de obtener datos. Limitados por esta realidad, continuamos recogiendo información durante otras dos semanas, con lo que nuestro experimento duraría un total de tres. Hicimos un examen preliminar de nuestro mapa galáctico comparándolo con los

preexistentes mapas fusionados, y hasta donde podíamos saber encajaban bien. Para efectuar una comparación más detallada deberíamos esperar a estar de regreso en Berkeley.

El trazado del mapa galáctico en el que Giovanni y yo invertimos la mayor parte de nuestro tiempo era crucial para verificar la validez de los datos proporcionados por el COBE, datos que, pensábamos, probarían rotundamente la existencia de arrugas cósmicas. Hacer el mapa de la galaxia era un buen proyecto en sí mismo y queríamos mantenerlo en secreto. Aún no teníamos pruebas concluyentes del posible descubrimiento de arrugas y no nos apetecía dar noticias prematuras. Pero esto resultaba difícil, ya que me mantenía en contacto permanente con Berkeley y Goddard a través del correo electrónico.

En el Polo Sur, el correo electrónico no es privado sino público. Cualquiera estaba en condiciones de leer los mensajes que enviaba a los Estados Unidos y viceversa, de manera que un investigador despierto, nos advirtió Jeff Peterson, podía atar cabos rápidamente. Así es que debía elegir mis palabras con mucho cuidado. En Greenbelt, Al Kogut tomaba las mismas precauciones a la hora de comunicarse conmigo. Los mensajes que me enviaba decían cosas curiosas como ésta: «Los programas tal y cual están en marcha; Phil Keegstra ha probado los modelos X, Y y Z y los efectos magnéticos no son importantes.» Evidentemente, esto es muy distinto de decir: «¡Eh, hoy la anisotropía ha sido mayor o menor de 2!»

A principios de diciembre, un radioaficionado me conectó con mis padres, que estaban en los Estados Unidos. Yo había olvidado la diferencia de tiempo y los desperté a las dos de la madrugada. Les llevó unos minutos darse cuenta de que la chirriante voz al otro lado de la línea provenía de la Antártida y era la de su hijo. Mi madre me preguntó: «¿Hace mucho frío allá abajo?» Le respondí que sí. Papá bromeó: «¿Qué, no has tenido suficiente con Alaska?» Les dije que el trabajo marchaba bien, lo cual era una suerte, y que no veía la hora de estar de vuelta para revisar los resultados del COBE. Más tarde mi padre le dijo a mi madre que había notado algo extraño en mi voz. «Me pareció excitado por algo —comentó—. Estoy seguro de que no nos lo ha contado todo.»

Trabajar en el Polo Sur es una experiencia trascendental, especialmente cuando se está lejos y solo. A dos kilómetros del polo, allí donde se mira todo es llano,

brillante y solitario. Es necesario forzar la vista para descubrir, a lo lejos, la silueta de la estación. Parece un sueño surreal: uno, con la única compañía del material científico, en medio de una vasta blancura. No existe nada capaz de distraernos. Hay que concentrarse en el momento y prestar atención a lo que se está haciendo. La experiencia semeja un retiro espiritual, o como estar dentro de un depósito aislante de afilados bordes. Aun cuando se hallaban ocupados en distintos experimentos, todos los miembros del equipo sintieron lo mismo. Un día, Michele Limón, cuya nariz sufría un principio de congelamiento, entró en la tienda y comenzó a golpearse las manos para entrar en calor. Cuando le pregunté cómo estaba, respondió: «Aquí me siento extraordinariamente vivo. A pesar de todos nuestros sufrimientos, amo este lugar.» Era verdad; nuestra experiencia tenía algo de puro y estimulante.

A mediados de diciembre, Steve Levin y yo comenzamos a hacer los preparativos para regresar a los Estados Unidos. Yo tenía que estar de vuelta para lo que esperaba fuese la última estimación de los errores sistemáticos del radiómetro diferencial de microondas del COBE y, por supuesto, para realizar un análisis más detallado del mapa galáctico que habíamos confeccionado con los datos recolectados el mes anterior. El 15 de diciembre, a las 4.30 de la mañana, el avión despegó rumbo a McMurdo donde esa misma tarde tomaríamos un C-141 que nos conduciría a Nueva Zelanda. En McMurdo Steve tomó una ducha y durmió una siesta, en tanto que yo visité la representación de la Fundación Nacional para la Ciencia y rellené los papeles relativos a la expedición. En todas partes hay que cumplir formalidades.

Mientras dejábamos atrás McMurdo a bordo del C-141, advertimos que la plataforma de hielo estaba empezando a quebrarse. Los residentes de la base debían de estar felices, pues eso significaba que pronto llegaría un barco con los reemplazos. Para cuando esto ocurriese, yo estaría de vuelta en los Estados Unidos trabajando en otras cosas, y muy feliz también. Steve Levin me hizo sonreír cuando dijo: «El mejor día en la Antártida es cuando llegas. El otro mejor día es cuando te vas.»

Capítulo 14

Hacia la pregunta definitiva

El jueves 23 de abril de 1992, pocos minutos después de las ocho de la mañana, subí al podio para dar la primera charla del día. Se trataba del encuentro anual de la Sociedad Americana de Física y se celebraba en el hotel Ramada-Renaissance, en el centro de Washington D. C. Vestido con mi mejor traje me enfrenté a un público tan numeroso como expectante. Habíamos hecho saber que el equipo del COBE se disponía a comunicar un anuncio importante. Sólo unas pocas personas estaban enteradas de lo que íbamos a decir, aunque muchas seguramente lo adivinaban. El nuestro había sido un secreto bien guardado. Pronto estaríamos en condiciones de hablar por primera vez en público de los resultados tan duramente obtenidos después de dieciocho años de investigación. Mientras ordenaba mis notas, sentía una mezcla de alivio y tensión.

En los minutos que antecedieron al comienzo de la charla, traté de tranquilizarme al tiempo que recordaba que hacía casi quince años que había hecho mi primer anuncio importante como cosmólogo: la detección del dipolo en la radiación cósmica de fondo. Este descubrimiento, conseguido después de instalar un radiómetro diferencial de microondas (DMR) a bordo de un avión espía U-2, reveló que la Vía Láctea se está moviendo a una velocidad peculiar de 600 kilómetros por segundo debido a la atracción gravitacional de una distante y masiva concentración de galaxias. El universo, afirmé, es mucho más estructurado de lo que nadie había sospechado, y las galaxias no están distribuidas de modo uniforme a través del espacio, sino que existen como componentes de grandes conglomerados. Los experimentos llevados a cabo en nuestro U-2 revelaron también que la radiación cósmica de fondo es remarcadamente uniforme, un resplandor aparentemente homogéneo del Big Bang.

Los quince años que habían pasado desde nuestra aventura con el U-2 sirvieron para reforzar estas conclusiones duales, lo cual suponía un enigma para la cosmología. Si las estructuras masivas del universo actual fueron formadas por el colapso gravitacional a lo largo de los 15.000 millones de años transcurridos desde el Big Bang, entonces la estructura primordial *debe* ser visible en la radiación

cósmica de fondo, lo que nos da una visión del universo cuando tenía 300.000 años. El instrumento que llevaba nuestro avión era sensible a las diferencias en la radiación de fondo de más de una parte en mil, y aun así no había detectado signo alguno de estructura incipiente. A comienzos de 1992 la pertinaz incapacidad a la hora de detectar arrugas en la radiación de fondo se había convertido en una seria dificultad para la cosmología y, específicamente, para la teoría del Big Bang. El DMR instalado en el satélite explorador cósmico de fondo (COBE) incrementaba nuestra sensibilidad de detección más de diez veces, lo cual nos conducía cerca del límite de lo técnicamente posible. Si con este instrumento tampoco hubiésemos hallado arrugas, la ciencia se habría visto en serias dificultades.

Yo había regresado de la Antártida cuatro meses antes de la reunión de la Sociedad Americana de Física, complacido por haber superado las severas condiciones físicas del continente blanco. Los datos de emisión galáctica que Giovanni de Amici y yo habíamos logrado reunir confirmaban la validez de los mapas galácticos que habíamos utilizado y permitían que prosiguiéramos confiadamente con nuestro trabajo.

Por delante quedaban los obstáculos finales —algunos de ellos técnicos, otros psicológicos— que debíamos salvar para la consecución de nuestro objetivo. Sentíamos que habíamos detectado las arrugas durante tanto tiempo esquivas, pero yo era consciente de que podíamos ser víctimas de la naturaleza o de la instrumentación. Nuestro mapa de la radiación cósmica de fondo revelaba fluctuaciones, con algunas regiones más calientes y otras más frías que el promedio, pero aún no estábamos seguros de si se trataba de las arrugas cósmicas o de alguna de las muchas interferencias, con el aspecto de éstas, emanadas de la radiación de la galaxia o de nuestro instrumento. En el grupo tomaba cada vez más cuerpo la certeza de que el modelo emergente que veíamos era de origen cósmico. Mi confianza aumentó. Pero la confianza a menudo es traicionera, ya que puede erosionar nuestra determinación de continuar buscando errores en los datos. Era imprescindible que siguiésemos comprobando.

A finales de diciembre, inmediatamente después de mi regreso de la Antártida, fui a Goddard, pero antes me detuve en Berkeley para cambiarme de ropa. Para esas fechas se había programado una reunión con el objeto de revisar errores

sistemáticos; sería un último examen de los datos y métodos de análisis en busca de algo que pudiera estar desorientándonos, incluso en esta etapa final. Al Kogut había estado a cargo de los estudios diarios de errores sistemáticos y su trabajo sólo podía tildarse de magnífico. Por iniciativa propia había repetido algunos de mis trabajos enfocándolos desde un nuevo punto de vista. Ese nuevo punto de vista pronto envejeció y Al comenzó a pensar que ya había descubierto todos los errores sistemáticos posibles. Fue entonces cuando él y yo comenzamos a discutir. Él decía: «Mira, los límites de los errores sistemáticos son tal y cual. Ya hemos hecho toda una serie de pruebas de gran alcance. Lo he revisado cinco veces y no puedo imaginar que algo que se me haya escapado pueda estar transmitiendo una señal.» Yo le advertía: «No seas presumido, Al. ¿Cómo puedes saber que no hay algo allí fuera capaz de eludir todas nuestras pruebas?»

Efectivamente, algo había, como el mismo Al descubrió poco tiempo después de nuestra reunión de diciembre. El instrumento recordaba parcialmente la medición anterior e incluía parte de ella en la medición siguiente. Era como si alguien fotocopiara un papel en el que la tinta aún estuviese fresca; parte de la tinta se pegaría al vidrio y sería registrada en la copia siguiente. En nuestro caso, el resultado fue toda una serie de ligeras correlaciones entre una medición y otra. Como resultado de ello, se produjeron imágenes borrosas allí donde nada existía, creando en el mapa la ilusión de discretas regiones de unos pocos grados de amplitud parecidas a arrugas. El descubrimiento de este efecto hizo las veces de oportuno recordatorio de que debíamos mantener la guardia alta.

La primera jornada del encuentro incluyó una exposición para los funcionarios de la NASA destinada a informarles sobre el progreso del proyecto COBE. A esas alturas el equipo llevaba ya dos años trabajando en la elaboración de mapas del cielo. Había sido un trabajo ingrato, del tipo que, en ausencia de progresos espectaculares, socava fácilmente la motivación y el entusiasmo. Los miembros del equipo habían hecho con creces todo lo que se les había pedido. Habíamos seguido los criterios establecidos para el éxito del DMR, tanto en términos de recolección y análisis de los datos como de calidad de éstos. Decidí ser de lo más ceremonioso al anunciar que habíamos satisfecho esos criterios —conocidos, en la jerga de la agencia espacial, como «especificaciones de nivel uno»— y me presenté vestido de

esmoquin. Declaré que me sentía orgulloso del esfuerzo llevado a cabo por los integrantes del equipo y que, al menos formalmente, el proyecto era incomparable. (Nada dijimos a los técnicos de la NASA de lo que podíamos ver en nuestros mapas pues para ello teníamos que esperar aún un par de días, cuando estuviese completamente terminada la revisión de errores sistemáticos.) El esmoquin causó un efecto impresionante.

La forma en que aparecí vestido ese día era un modo de afirmar que el proyecto era de los que hacían época. Hasta ese momento habíamos actuado sobre la premisa de que toda fluctuación en la radiación de fondo era un artefacto potencial de algún tipo, y que debía ser visto con recelo. Había llegado por fin la hora de destinar recursos significativos para definir las características estructurales de las fluctuaciones, una imagen del universo 300.000 años después de que se hubiese formado.

Quince años antes, en 1977, habíamos pasado por una experiencia similar con la medición de la radiación cósmica de fondo registrada por nuestro DMR a bordo del U-2. En esa ocasión obtuvimos un resplandor uniforme, sin fluctuaciones en el fondo, sin arrugas en el tiempo. Los datos del COBE eran diferentes, estábamos seguros de ello. Sin lugar a dudas, el nuevo mapa mostraba una pauta de variación en la radiación de fondo. La pregunta a la que nuestro trabajo trataba de responder era la siguiente: si las arrugas eran reales, ¿en qué niveles de magnitud existían y cuan numerosa era la magnitud de cada clase? Demostrar la realidad de las arrugas nos acercaría a la realidad de la creación a partir del Big Bang; determinar su magnitud y su número permitiría que empezáramos a vislumbrar cómo había ocurrido la creación.

Laurie Rokke continuó revisando la información procesada en el Centro de Análisis de Datos del COBE. Chuck Bennett controló las permanentes operaciones de vuelo, entre otras tareas invaluable. Al siguió adelante con la documentación de nuestros estudios de errores sistemáticos. Por mi parte, desarrollé en Berkeley un *software* adicional para el análisis de los datos. Para ello conté con la ayuda de dos estudiantes de doctorado, Luis Tenorio y Charley Lineweaver, quienes trabajaron conmigo a diario haciendo controles independientes que luego cotejábamos. Luis y yo observábamos detenidamente la señal del dipolo para asegurarnos de que cada

parte de la información era correcta. La aparición de señales del dipolo cada vez que aplicábamos el *software* de análisis significaba una afirmación constante de que estábamos en el camino correcto. Si un día las señales fuesen distintas de las del anterior, significaría que algo funcionaba mal, bien en el sistema de análisis, bien en la recolección de radiación por parte del DMR. Cada día el dipolo aparecía con la misma forma y las mismas dimensiones. Pasaron las semanas y siguió sin variar. La única modificación que advertimos fue a causa del movimiento de la Tierra en su órbita alrededor del Sol, lo cual no hizo sino confirmar que Galileo estaba en lo cierto.

Luego confirmamos lo que habíamos estado viendo durante todo un año: que en el mapa había un cuadripolo. La forma de la emisión galáctica es predominantemente cuadripolar, lo que hace que los mapas de emisión galáctica sean extremadamente importantes. Si nuestro mapa galáctico era incorrecto en algún sentido, el resultado oscurecería el cuadripolo. Pero los resultados que Giovanni y yo habíamos obtenido en la Antártida hacían que me sintiese tranquilo. El mapa estaba bien. Chuck Bennett, Giovanni de Amici y Gary Hinshaw trabajaron intensamente comprobando los datos del DMR y los mapas galácticos exteriores para estimar la contaminación galáctica. La señal del cuadripolo es increíblemente débil, menos de seis partes en un millón, lo cual la acerca mucho al ruido o a alguna interferencia exterior. Pero es real. Si el mapa se imagina como un óvalo descansando sobre su horizontal, la señal del dipolo muestra una coloración azul y roja en los polos opuestos. La señal del cuadripolo incluye coloración azul y roja en los extremos superior e inferior del óvalo, lo que da cuatro desviaciones desde el fondo promedio.

Confiábamos en que el cuadripolo fuese una señal cósmica real, una primera pista de la estructura presente en el entramado del universo 300.000 años después del Big Bang. El desafío consistía en encontrar el modo de explorar el resto de la estructura.

Siguiendo con nuestra decisión de comprobar tantas veces como fuera posible, desarrollé dos programas para analizar la distribución del número de arrugas en relación con su magnitud angular en el cielo. Esto es conocido como «espectro de poder». Luis Tenorio se hizo cargo del desarrollo, puesta a prueba y producción de uno de los programas, el llamado «de análisis del armónico esférico». Charley

Lineweaver, por su parte, me ayudó con el segundo de los programas, ideado para buscar correlaciones de temperatura en diferentes regiones del cielo. Comparado con el análisis del armónico esférico este método, que servía para comprobar doblemente los resultados, era menos conocido por la mayoría de los astrofísicos. Yo tenía una versión del programa y Charley una versión modificada, de modo que uno podía verificar los resultados obtenidos por el otro.

Yo trabajaba todo lo rápidamente que podía. Me pasaba la mitad del día controlando el estado de otras tareas en Berkeley y Goddard. El resto del tiempo, a menudo incluso durante la noche, me dedicaba a determinar el espectro de poder, lo cual hacía simultáneamente con Luis y Charley. Mientras revisábamos el dipolo y el cuadripolo, Luis y yo topamos con un problema. El gran corte que tuvimos que hacer para asegurarnos de que no existía contaminación proveniente de la galaxia, nos impidió ver todo el desarrollo del armónico esférico a través del cielo. Tuvimos que extrapolar a través de la región galáctica plana, y el modo de llenar ésta resulta ambiguo cuando hay muchos armónicos esféricos. Se nos ocurrió que el método de correlación sería el más adecuado. Charley y yo pusimos a trabajar nuestros programas al unísono, con lo cual conseguiríamos analizar y comparar los resultados en un par de días. Para finales de enero y principios de febrero los resultados comenzaron a cuajar, pero todavía no tenían demasiado sentido. Intenté todo tipo de aproximaciones, diagramando los datos en cuantos formatos se me ocurrieron, incluyendo el de arriba-abajo y hacia atrás, sólo para intentar una nueva perspectiva y confiando en que de ese modo adelantaría. Entonces se me ocurrió una alternativa: ¿por qué no sustraer el cuadripolo —justamente aquello que había estado buscando durante años— y ver si la naturaleza había puesto algo más allí? Pensé que esa podía ser una forma de determinar si nuestro mapa no era más que el resultado del ruido, la cacofonía de una radiación fortuita proveniente de muchas fuentes, o si acaso contenía una señal genuina de arrugas más detallada que el cuadripolo. Esa misma noche modifiqué rápidamente mi programa a fin de comprobar la validez de la idea. Al día siguiente por la tarde puse en acción el nuevo *software* y tuve la sensación de que estaba cerca de algo importante.

La búsqueda de las arrugas había supuesto un gran esfuerzo que se prolongó durante tres lustros, y los últimos dos años de inexorable pesquisa de errores

sistemáticos habían impedido una experiencia del tipo «¡Eureka!». Se parecía más a cavar en busca de una ciudad enterrada, cuando uno va descubriendo las primeras estructuras interesantes mientras deja a un lado un montón de sedimentos. A medida que se quitan los estratos siguientes, uno comienza a hacerse una idea de la forma de las construcciones, pero lentamente. Sólo cuando los últimos estratos han sido removidos se ve el aspecto que tenían los edificios. Esa tarde sentí que nos estábamos preparando para eliminar los últimos estratos en nuestra búsqueda de arrugas.

Yo había hecho muchas simulaciones sobre el posible aspecto que tendrían las arrugas en el caso de que la teoría del Big Bang fuese correcta. Habría arrugas de todos los tamaños, grandes y pequeñas, pero cada tipo ocuparía una misma área promedio de cielo con la misma variación promedio de amplitud, lo cual es conocido como «escala invariable». La teoría de la inflación predecía que en el instante de la creación los productos de las fluctuaciones cuánticas se habían distribuido por tamaño. Que las arrugas estuviesen distribuidas de este modo habría conducido a la formación de estructuras de diferentes tamaños, tal como podemos observar en el universo actual.

Apliqué el nuevo programa tanto a los datos con los que contábamos como a las simulaciones. Los resultados obtenidos con éstas fueron característicos. Cuando los comparé con los que habíamos conseguido después de sustraer el cuadripolo del mapa de la radiación de fondo, quedó claro que concordaban con la escala invariable predicha por la teoría de la inflación. El cotejo resultó tan hermoso como puede serlo una obra de arte moderno esotérico. ¿Me sentía feliz? Sin duda, pero no realmente sorprendido. A esas alturas mi mente estaba tan inmersa en los datos que la respuesta parecía obvia, si bien no de un modo consciente. A punto estuve de lanzar un grito de alegría. En mi mente se formó un calidoscopio de ideas, que armonizaban formando un conjunto perfecto. La teoría del Big Bang era correcta y la de la inflación funcionaba; el modelo de las arrugas encajaba con la formación de estructuras a partir de la materia oscura fría; y la magnitud de la distribución habría producido las estructuras mayores del universo actual bajo el influjo del colapso gravitacional a lo largo de 15.000 millones de años.

Estaba contemplando la forma primordial de las arrugas, podía sentirlo en mis huesos. Algunas de las estructuras que representaban las arrugas eran tan grandes que sólo podían haber sido generadas durante el nacimiento del universo, no más tarde. Lo que tenía ante mí era la marca de la creación, las semillas del universo presente.

Estaba enormemente contento. Pero no grité. Debía asegurarme por completo de que no se trataba de algún error técnico. Me preguntaba por qué había tenido que sustraer el cuadripolo para poder ver las arrugas. Decidí que Charley lo comprobara con su sistema. Esforzándome por recuperar la compostura, le envié un memo sugiriéndole que tal vez sería una buena idea que modificase su *software* y sacara el cuadripolo del mapa, simplemente para ver que conseguía. Luego me marché. Mientras cubría el breve trayecto que hay entre el Laboratorio Lawrence y mi casa miré (sin verlas realmente) las luces de la bahía de San Francisco. Mi mente parecía estar en otra parte, como si la preocupación velara el entusiasmo por el triunfo conseguido. Ya habría tiempo para celebraciones, cuando los resultados fuesen comprobados.

Al día siguiente por la tarde fui a ver a Charley a su despacho y en el tono más indiferente de que fui capaz le pregunté cómo le había ido con el trabajo. Me respondió que aún no lo había encarado. Se le había ocurrido una idea para modificar el programa, y quizá pudiera hacerlo mejor si conseguíamos información sobre la cualidad de los datos cuyo ángulo de separación fuera casi cero. Ocultando mi frustración, reconocí que era una idea interesante e insistí nuevamente en que sustrajera el cuadripolo. Le sugerí que hiciera las dos cosas al mismo tiempo.

Pasó otro día y Charley seguía concentrado en la tarea de mejorar el programa. Aún no había sustraído el cuadripolo del mapa. Yo ya no podía soportarlo más. Alrededor de medianoche entré en su despacho y le dije: «No te vayas de aquí hasta que revises los mapas con tu programa y sustraigas el promedio, el dipolo y el cuadripolo». Utilicé un tono perentorio, pero sin dar a entender por qué quería que lo hiciese. Me marché a casa. Tres horas más tarde, una vez que hubo completado la revisión, Charley deslizó un sobre por debajo de la puerta de mi despacho.

Al día siguiente me presenté en el laboratorio por la mañana temprano, ya que había concertado una cita con el equipo de Goddard para analizar los progresos con

el cuadripolo. Al entrar en mi despacho a punto estuve de pisar los papeles que Charley me había dejado. Al levantarlos, vi una nota escrita en un adhesivo: «Aquí está lo que me pidió. ¿Eureka?» Había encontrado exactamente lo que yo había visto. Cuando más tarde llegó al trabajo, analizamos cuidadosamente lo que cada uno había hecho e intentamos algunas combinaciones más de datos. Luego le envié una nota a Ned Wright y a los miembros del equipo del DMR en Greenbelt pidiéndoles que intentaran el mismo enfoque.

Los días pasaban y los resultados seguían siendo los mismos. Cada vez me sentía más eufórico. Pero todavía quedaba mucho trabajo por delante; debíamos suprimir los detalles, hacer los controles finales y preparar los manuscritos para publicar nuestros resultados en el *Astrophysical Journal*. Eso tomó el resto de febrero, todo marzo y la mitad de abril. Gradualmente empezamos a entender por qué la señal del cuadripolo era casi tan débil como un punto de fuga. Uno de los problemas era que nuestra galaxia tenía un cuadripolo propio, en dirección opuesta a la señal cósmica. Parecía una especie de conspiración cósmica para reducir la señal a su mínima expresión y poner a prueba nuestra capacidad y nuestra paciencia. Pero habíamos triunfado sobre la adversidad y asegurado el Santo Grial de la cosmología. Era la recompensa por largos años de esfuerzo de mucha gente: el equipo del COBE, incluyendo directivos, ingenieros, técnicos y otros trabajadores; el Grupo de Trabajo Científico; los diferentes equipos responsables del DMR, tanto quienes construyeron el instrumento como aquellos que procesaron y analizaron los datos. Todos habían hecho un espléndido trabajo de equipo y consiguieron que las cosas funcionasen en el momento que debían hacerlo.

Dos semanas antes del encuentro de la Sociedad Americana de Física, donde pensábamos presentar seis documentos describiendo nuestros resultados detalladamente, los integrantes del equipo científico nos reunimos en la casa de Nancy Bogess, a las afueras de Washington D. C. Reinaba un ambiente de optimismo general. No obstante, había excepciones. Philip Lubin, un físico que había trabajado conmigo en los tiempos del U-2, había estado en la Antártida recolectando datos en el mismo lugar que lo habíamos hecho Giovanni y yo. Después de buscar arrugas en ángulos menores, no consiguió detectar ningún indicio que sugiriera que lo que el DMR había visto estuviese mal. Stephen Meyer,

del MIT, y Ed Cheng, de Goddard, también se mostraban cautelosos. A finales de 1989, casi al mismo tiempo que nosotros poníamos en órbita el COBE, habían lanzado un radiómetro a bordo de un globo. Yo reconocía que el análisis de los datos creaba muchos problemas, pero ellos estaban llegando a la conclusión de que no había cuadrípolos ni modelo de arrugas para ver.

Naturalmente, yo habría preferido escuchar que ambos equipos confirmaban nuestros resultados, y el hecho de que fuesen puestos en duda me desconcertaba. Resultaba particularmente incómodo saber que ambos equipos pensaban presentar sus resultados en el encuentro de Washington, donde sus intervenciones tendrían lugar después de la exposición del equipo del DMR. La controversia, imaginaba yo, sería inmediata: por un lado, el equipo del COBE reclamando para sí el descubrimiento de las arrugas, por otro, dos equipos rebatiendo la posibilidad de tal hallazgo. Yo esperaba que no fuese así. Sabía que no tendría ocasión de ver los datos de nuestros oponentes antes de la reunión, de modo que no había forma de saber cuan fundamentadas estaban sus objeciones. Pero si de algo estaba seguro, era de la fuerza de nuestras afirmaciones. A pesar de que nuestras argumentaciones no dejaban ningún aspecto sujeto al azar, alguien sugirió que tal vez deberíamos esperar antes de seguir adelante con nuestro anuncio. Yo creía que ya habíamos sido lo bastante cautelosos y que habíamos tomado todas las precauciones razonables para asegurarnos de que nuestra señal era de origen cósmico. «Debemos continuar —aseguré—. Confío en los resultados. Por ellos estoy dispuesto a arriesgar mi reputación personal.»

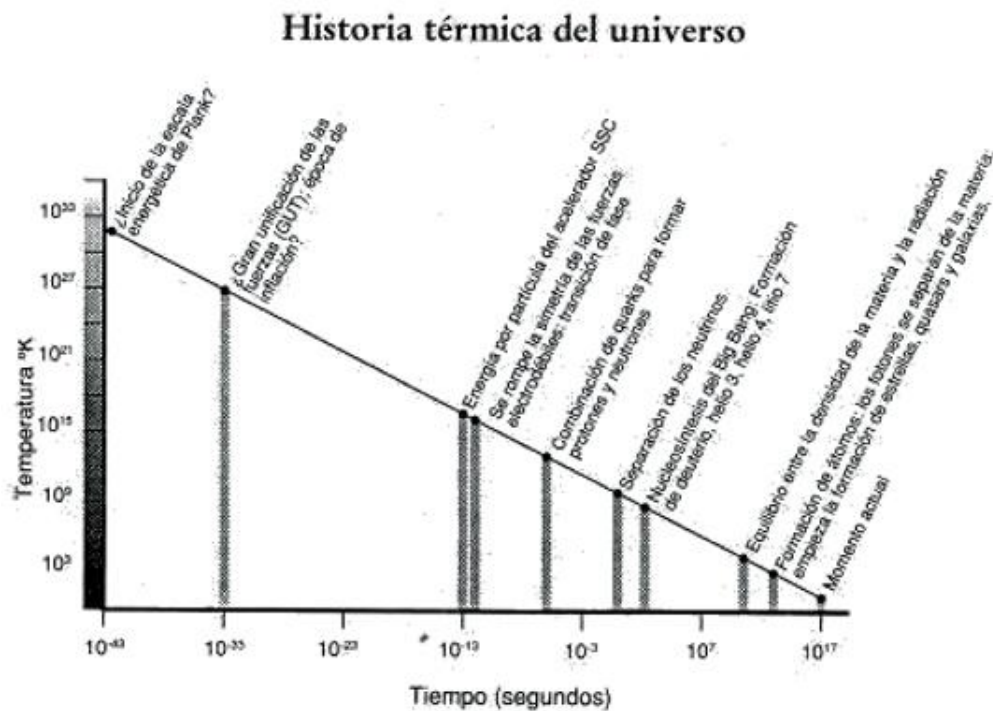
La noche anterior al encuentro de la Sociedad Americana de Física, Al, Giovanni y yo estuvimos hasta tarde haciendo copias de nuestros documentos para repartirlas entre la concurrencia. Luego Giovanni y yo nos fuimos a mi casa a dar los últimos toques a nuestra exposición. Confeccionamos unos carteles que los miembros del equipo sostendrían cuando llegase el momento oportuno. Cada uno de estos carteles llevaba escrito parte de nuestros resultados y los rótulos $L=0$, $L=1$, $L=2$ y así hasta $L=20$. Cada L representaba un examen de zonas frías y zonas calientes separadas por un ángulo de $180^\circ/L$. Representaban un escrutinio cada vez más minucioso de las arrugas, siendo el último el que mostraba el aspecto más detallado. El plan consistía en llamar a mis colaboradores por turno y pedirles que

sostuvieran los carteles en alto a medida que avanzaba en mi charla, en la que describiría primero el fondo ($L = 0$), luego el dipolo ($L = 1$), en tercer lugar el cuadripolo ($L = 2$) y así sucesivamente. Era un modo de que todos los miembros del equipo tomaran parte en la exposición.

A las cinco de la mañana todavía estábamos llenando cajas con papeles y utensilios. Luego partimos rumbo al centro de Washington. Llegamos al auditorio a las siete y media; lo encontramos cerrado y sin nadie en las cercanías. A las ocho ya había gente por todas partes y un equipo de la cadena de televisión WOED, de Pittsburg. Se respiraba en el ambiente que estaba por pasar algo grande. Yo sería el primer orador del equipo del COBE; luego me seguirían Gary Hinshaw, Chuck Bennett, Ned Wright, Al Kogut y Giovanni de Amici. Aún quedaba mucho por hacer antes de que comenzara la reunión y yo no era del todo consciente de la excitación que nos rodeaba. Distribuí los carteles, me aseguré de saber dónde estaban los miembros del equipo y esperé a que me llamasen al podio. Me habían asignado doce minutos. «Buenos días —comencé—. Tengo mucho que decir y no demasiado tiempo, así es que iré directamente al grano.»

Mi plan era acercarme al momento del anuncio paso a paso, no sólo porque me parecía lógico hacerlo de esa manera, sino porque quería añadirle algo de dramatismo. En primer lugar le recordé a la audiencia los resultados obtenidos por el COBE dos años atrás, según los cuales la radiación cósmica de fondo tenía las características de una radiación de cuerpo negro, lo que hacía que la teoría del Big Bang fuese digna de crédito. Sostuve en alto el cartel con la inscripción $L=0$, que mostraba el espectro de cuerpo negro, y se lo pasé a John Mather. Después dije que el radiómetro diferencial de microondas había medido el dipolo que habíamos descubierto y que yo anunciara quince años atrás. Levanté luego el cartel que mostraba el dipolo ($L = 1$): demostraba que el aparato funcionaba bien. Se lo pasé a Jon Aymon. A continuación, y después de una pausa por demás efectista, cogí el siguiente cartel ($L = 2$) y anuncié: «Tenemos el cuadripolo». La sensación de alivio en el público fue palpable, ya que todos eran conscientes de lo importante que era lo que estaba diciendo. Le pasé el cartel a Chuck Bennett, no sin antes señalar que él diría más sobre el cuadripolo en su charla.

Incluso aquellos asistentes que habían adivinado que nuestro gran anuncio sería el descubrimiento del cuadrupolo, no podían imaginarse que habíamos llegado incluso más lejos. Levanté simultáneamente los carteles con las inscripciones $L = 3$, $L = 4$ y $L = 5$ y pedí a los otros miembros del equipo que hicieran lo propio con los demás, hasta llegar al $L = 20$. La mayoría de la gente quedó impresionada, pues no sólo revelábamos que habíamos hallado el cuadrupolo sino que también habíamos detectado un espectro de arrugas de todas las magnitudes.



Ese instante marcó para mí investigación, y para la cosmología veinte años de largo viaje para comprender la naturaleza del universo. Simplemente, el descubrimiento de las arrugas salvó la teoría del Big Bang en un momento en que era atacada por un número cada vez mayor de detractores. El resultado indicaba que la gravedad realmente pudo haber dado forma al universo presente a partir de las minúsculas fluctuaciones cuánticas que se produjeron en la primera fracción de segundo posterior a la creación. Stephen Hawking tal vez haya exagerado cuando comentó que nuestro descubrimiento era «el más importante del siglo, quizá de todos los tiempos», pero lo cierto es que fue trascendental. Antes de él, nuestra comprensión

del origen y la evolución del universo se basaba en cuatro tipos de observación: primero, la oscuridad del cielo nocturno; segundo, la composición de los elementos, con una gran preponderancia de hidrógeno y helio sobre los elementos más pesados; tercero, la expansión del universo; cuarto, la existencia de la radiación cósmica de fondo, el resplandor de la ardiente creación.

El hallazgo de las arrugas que estuvieron presentes en la estructura del universo 300.000 años después del Big Bang, se convirtió en el quinto pilar de esta construcción intelectual y nos proporcionó el instrumento para entender cómo estructuras de todas las magnitudes, desde galaxias hasta supercúmulos, pudieron formarse durante la evolución del universo a lo largo de 15.000 millones de años.

La evolución del universo es, en efecto, el cambio en la distribución de la materia a través del tiempo, el paso de una homogeneidad virtual a comienzos del universo al aspecto «grumoso» que éste tiene actualmente, en el que la materia aparece condensada en forma de galaxias, cúmulos, supercúmulos y estructuras incluso mayores. Podemos considerar esa evolución como una serie de fases de transición en las que la materia pasó de un estado a otro debido a la influencia de la temperatura decreciente (o energía). Todos estamos familiarizados con el modo en que el vapor se condensa al enfriarse; se trata de una fase de transición de un estado gaseoso a uno líquido. Si la temperatura se reduce aún más, el agua termina por congelarse, esto es, se crea una transición del estado líquido al sólido. Pues bien, éste es el modo como se ha comportado la materia, pasando por una serie de fases de transición desde el primer instante del Big Bang.

Una diez millonésima de billonésima de billonésima de billonésima (10^{-42}) de segundo después del Big Bang —es decir, el menor espacio de tiempo del que podemos hablar razonablemente— todo el universo que observamos actualmente era una fracción mínima del tamaño de un protón. El espacio y el tiempo no hacían más que empezar. (Recuérdese que el universo no se expandió *en* el espacio existente después del Big Bang, sino que su expansión creó espacio-tiempo a medida que se producía.) En ese punto la temperatura era de 10^{32} grados, y las tres fuerzas de la naturaleza — electromagnética y fuerzas nucleares fuerte y débil— se hallaban fusionadas en una sola. Materia y energía eran lo mismo y las partículas aún no existían.

En una diez mil millonésima de billonésima de billonésima (10^{-34}) de segundo la inflación expandió el universo (a un ritmo acelerado) un quintillón de veces (10^{30}) y la temperatura descendió mil cuatrillones (10^{27}) de grados. La fuerza nuclear fuerte se separó y la materia experimentó su primera transición de fase, existiendo ahora como quarks (el componente esencial de protones y neutrones), electrones y otras partículas fundamentales.

La siguiente transición de fase tuvo lugar a las diez milésimas de segundo, cuando los quarks empezaron a unirse para formar protones y neutrones (así como antiprotones y antineutrones). Comenzó entonces la aniquilación de partículas de materia y antimateria, hasta que por fin quedó un leve residuo de materia. Todas las fuerzas de la naturaleza ya estaban separadas.

Al cabo de un minuto aproximadamente la temperatura había descendido lo suficiente para permitir que protones y neutrones se unieran al chocar entre ellos formando núcleos de hidrógeno y helio, el material de que están hechas las estrellas. Esta sopa de materia y radiación, que inicialmente tenía la densidad del agua, continuó expandiéndose y enfriándose durante otros 300.000 años, pero era demasiado energética para que los electrones se adhirieran a los núcleos de hidrógeno y helio para formar átomos. Los fotones energéticos convivían con las partículas que formaban la sopa en un frenesí de interacciones. Pero entre estas interacciones los fotones sólo podían viajar una distancia muy corta. El universo era esencialmente opaco.

Cuando a los 300.000 años la temperatura cayó a unos 3.000° , tuvo lugar una transición de fase crucial. Los fotones ya no eran lo bastante energéticos para desalojar a los electrones de los núcleos de hidrógeno y helio, de modo que se formaron los átomos de estos dos elementos y permanecieron juntos. Los fotones dejaron de interactuar con los electrones y pudieron escapar y viajar grandes distancias. De pronto, esta separación de materia y radiación hizo que el universo se hiciera transparente; la radiación se dispersó en todas las direcciones, corriendo a través del tiempo en forma de radiación cósmica de fondo, tal como actualmente podemos detectarla. La radiación liberada en ese instante, nos proporciona la imagen instantánea de cómo estaba distribuida la materia en el universo cuando éste tenía 300.000 años de edad. Si toda la materia se hubiese distribuido de

manera uniforme, la estructura del espacio habría sido plana y las interacciones entre los fotones y las partículas, homogénea, dando como resultado una radiación cósmica de fondo completamente uniforme. Nuestro descubrimiento de las arrugas revelaba que la materia no se encontraba distribuida de manera uniforme, que ya estaba estructurada y que había generado las semillas a partir de las cuales ha crecido el universo actual.

Esas regiones del universo con una alta concentración de materia ejercieron una atracción gravitacional mayor y, por lo tanto, curvaron el espacio positivamente; las áreas menos densas, por su parte, tenían menos atracción gravitacional, dando como resultado una menor curvatura del espacio. Cuando después de 300.000 años la materia y la radiación se separaron, el flujo de fotones cósmicos de fondo repentinamente liberados llevaba la marca de esas distorsiones del espacio, esto es, las arrugas que aparecen en nuestros mapas. La radiación que se desplaza de las áreas más densas es más fría que el fondo promedio; cuanto menos densa, más caliente.

Como hemos visto, en el universo hay dos clases de materia —materia oscura y materia visible—, y su función en la formación gravitacional de estructuras es diferente. La materia oscura, que por su naturaleza no es afectada por la radiación pero sí por la gravedad, pudo haber comenzado a formar estructuras mucho antes que la materia visible, que es golpeada por el flujo energético de fotones. Moldeada por los contornos del espacio que en el universo preinflacionario se originaron como fluctuaciones cuánticas, la materia oscura pudo haber comenzado a agregarse, bajo la influencia de la gravedad, tan pronto como diez mil años después del Big Bang. A los 300.000 años la separación de la materia y la radiación liberó una materia ordinaria visible que sería atraída por las estructuras formadas por la materia oscura. A medida que la materia visible se agregaba, las estrellas y las galaxias iban tomando forma. Un buen ejemplo ilustrativo son las telas de araña; a menudo no son visibles con la luz corriente, pero surgen ante nuestra vista cuando el rocío que se ha depositado sobre sus hilos durante la noche es iluminado por el sol de la mañana. La gasa sutil de las galaxias que contemplamos en el cielo nocturno es el trémulo rocío depositado sobre una tela de araña cósmica, donde la materia visible

señala los contornos de las estructuras de materia oscura invisible hacia las que ha sido conducida por la atracción gravitacional.

A causa de las limitaciones del radiómetro diferencial de microondas instalado a bordo del COBE, la resolución de nuestros mapas es relativamente pobre. Los objetos más pequeños que podemos ver como arrugas son enormes, y conducen a estructuras tanto o más grandes que la Gran Muralla, una lámina vasta y concentrada de galaxias que se extiende a través de muchos cientos de millones de años luz. Cuando podamos obtener una definición mayor, espero que seamos capaces de distinguir estructuras del tamaño de galaxias. Sin embargo, a pesar de las limitaciones el mensaje de nuestros resultados —el mismo que ese día de abril produjo tanto alivio entre los cosmólogos— es claro. Fred Hoyle sostuvo en una ocasión que la teoría del Big Bang había fracasado porque no tenía modo de explicar la temprana formación de galaxias. La información obtenida por el COBE demostró que estaba equivocado. La existencia de arrugas en el tiempo, tal como las vemos, es una prueba de que la teoría del Big Bang, incorporado el efecto de la gravedad, no sólo puede explicar la formación temprana de galaxias sino el modo como se juntaron a lo largo de 15.000 millones de años hasta dar las estructuras masivas que conocemos en el universo actual. Este fue un triunfo de la teoría y de la observación.

No imaginamos la repercusión que tendría nuestro anuncio, tanto de manera inmediata como en las semanas que siguieron al mismo. Yo sabía que se trataba de algo de la mayor importancia para los cosmólogos. Cuando Gary Hinshaw se dirigía al podio para dar su charla, pasó junto a mí y murmuró: «¿Cómo se supone que continúo eso?» Más tarde, la astrofísica Sun Rhie comenzó su conferencia sobre defectos topológicos con las siguientes palabras: «Después del anuncio hecho por el equipo del COBE, no sé si debería atreverme a dar esta charla». Así como nuestro descubrimiento apoyaba el crecimiento gravitacional de las fluctuaciones primordiales y la inflación, echaba por tierra las teorías opuestas, en especial la de los defectos topológicos. Esta teoría predecía un modelo muy distinto del número y magnitud de las arrugas del que habíamos observado. David Spergel, coautor con Neil Turok del diseño de la teoría de los defectos topológicos, declaró después de la sesión: «Estamos muertos». Paul Steinhardt, uno de los principales teóricos de la

inflación, dijo: «Me alegro de haber estado aquí en un día tan histórico... Me habría gustado traer conmigo a mis estudiantes.»

Por supuesto que eso era gratificante, sobre todo cuando por fin pudimos oír las exposiciones de los equipos del MIT y del Polo Sur. Aunque Lyman Page describió los datos del MIT como contradictorios con los obtenidos por el COBE, por su diagrama final pude ver que no era así. Ellos sostenían que no había arrugas, pero para mí estaba claro que la curva de correlación era compatible con los datos del COBE⁴⁴. Sentí un gran alivio cuando advertí que no habría controversia sobre ese tema. Luego, Tod Gaier y su supervisor, Phil Lubin, dieron a conocer los resultados de su experimento en el Polo Sur; estuvieron muy cerca de discrepar con nosotros, pero había muchas razones posibles para ello. Al menos por ese día estábamos libres.

Tuve un momento para tomar un bocadillo, pensar sobre la conferencia de prensa programada para el mediodía y buscar el diagrama que habíamos hecho para explicar nuestros resultados a los periodistas. Llegó en el último momento, recién salido de la mesa de dibujo.

Entonces me dirigí a la sala donde tendría lugar la conferencia de prensa. Había una multitud; los focos instalados para las cámaras de televisión me hicieron parpadear. Cuando Ned Wright, Chuck Bennett, Al Kogut y yo subimos al podio, comencé a darme cuenta del enorme interés que nuestros resultados habían suscitado. Hice un esfuerzo por encontrar las palabras y metáforas que pudieran explicar las implicancias de nuestros resultados de manera clara y comprensible. Yo era el primero en hablar, y traté de transmitir la enorme trascendencia de nuestro descubrimiento: «Hemos observado las estructuras más grandes y antiguas jamás vistas del universo primitivo —comencé—. Fueron las semillas primordiales de estructuras modernas como las galaxias, cúmulos de galaxias y otras. No sólo eso, sino que representan enormes arrugas en la estructura del espacio-tiempo que queda del período de la creación.»

Siguieron muchas preguntas, pero casi todas se centraban en dos temas: el tamaño de las estructuras y el significado de nuestros resultados. Respondí que ningún

⁴⁴ En diciembre de 1992 Stephen Meyet, miembro del equipo del MIT, informó en el encuentro Texas-Pasco que se celebró en Berkeley, que los resultados obtenidos por su experimento en globo confirmaban esencialmente los del COBE.

adjetivo superlativo servía para dar una idea de esas estructuras, que se extendían a través de distancias tan enormes que a su lado la Gran Muralla quedaría reducida al tamaño de un fríjol, a pesar de que tiene muchos cientos de años luz de extensión.



George Smoot, en la conferencia de prensa del 23 de abril de 1992, dando a conocer el descubrimiento de arrugas en el espacio-tiempo. (Ap/Wide World Photos.)

Algunas eran tan grandes que en el tiempo que el universo llevaba existiendo la luz aún no las había recorrido del todo. ¿Cuál era su significado? Hice muchas comparaciones, pero la prensa se hizo eco principalmente de una: «Si usted es religioso, es como ver a Dios». El Big Bang es un icono cultural, una explicación científica de la creación. Después de cuarenta minutos respondiendo preguntas sobre la importancia para la gente corriente de los resultados del proyecto COBE, esa frase fue la más citada y recordada.

En la cosmología confluyen la física, la metafísica y la filosofía, y cuando las indagaciones nos aproximan al interrogante definitivo de nuestra existencia, las fronteras que delimitan esas disciplinas se tornan inevitablemente imprecisas. Einstein, que estaba dedicado a encontrar una explicación racional del mundo, dijo

una vez: «Quiero saber cómo creó Dios el mundo. Quiero conocer sus pensamientos.» Lo decía metafóricamente, para dar a entender la profundidad de su búsqueda. Mi muy citada observación fue cortada por el mismo patrón.

Metafóricamente o no, tanto mi comentario como los de otros cosmólogos y miembros del equipo del COBE aparecieron en periódicos de todo el mundo, lo cual confirmaba el gran interés que había por comprender el origen del universo y nuestro lugar en él. Ned Wright habló después de mí. Su charla consistió en explicar de manera más detallada el significado de nuestros resultados en términos de teorías de la formación de la estructura y de la necesidad de la materia oscura. Chuck Bennett hizo un breve informe sobre la interpretación de los datos obtenidos y respondió algunas preguntas al respecto. Finalmente, Al Kogut habló de los esfuerzos que hicimos para procesar cuidadosamente la información y aseguró que habíamos suprimido todos los efectos instrumentales. Habló también de lo difícil que había resultado el experimento y luego invitó a los periodistas a hacer preguntas generales. Al cabo de un par de horas decidimos dar por terminada la conferencia de prensa. Lo que siguió fueron numerosas entrevistas personales a nosotros, a otros miembros del equipo y a gente como Alan Guth y Paul Steinhardt, autores de la teoría de la inflación.

En un momento dado, Philip Schewe y otros miembros de la Sociedad Americana de Física nos condujeron de vuelta a la sala donde habíamos dado la conferencia de prensa, para que pudiéramos atender a aquellos reporteros que no habían estado presentes. Durante toda la tarde seis de nosotros estuvimos concediendo entrevistas a la televisión, la radio, y diversos diarios y revistas. El único hecho destacable que recuerdo tuvo lugar alrededor de las cinco de la tarde. Entre la multitud vi a Philip Schewe y le pregunté: «¿Armáis jaleos como éste muy a menudo?» Philip respondió: «La única vez que vi algo así fue cuando el anuncio de la fusión fría». De pronto, la sala quedó en completo silencio. Todos parecían estar pensando en qué ocurriría si estábamos equivocados. Pero no fue más que un instante; enseguida volvimos a las entrevistas.

En los días que siguieron, varios cosmólogos y miembros del equipo del COBE fueron invitados a programas de radio y televisión y sus declaraciones aparecieron en casi todos los periódicos. El tremendo interés despertado significaba una

oportunidad única para discutir sobre temas científicos con una gran audiencia y fomentar la idea de que, con empeño, los hombres podemos revelar los misterios de la naturaleza. Esa experiencia me sirvió para darme cuenta de lo profundamente interesada que está la gente por las metáforas de la creación, aun cuando la ciencia misma exige un gran esfuerzo.

Estoy convencido de que a medida que nos acercamos al momento en que empezó el universo, los constituyentes y las leyes de éste se hacen más simples, y esta convicción incrementa mi esperanza en que algún día llegemos a entender la esencia misma de la creación. Una analogía de lo que digo es la vida misma o, mejor aún, un solo ser humano. Cada uno de nosotros es una entidad inmensamente compleja, formada por muchos tejidos diferentes y capaz de infinitos pensamientos y conductas. Retrocedamos en la vida de este ser humano hasta el momento en que un óvulo fue fertilizado por un solo espermatozoide. El individuo se hace cada vez más simple, hasta que lo hallamos encapsulado como información codificada en el ADN de un conjunto de cromosomas. El desarrollo gradual que hace que un código de ADN se transforme en un individuo maduro es un desdoblamiento, un proceso cada vez más complejo en el que la información contenida en el ADN es trasladada y puesta de manifiesto a lo largo de muchas etapas de la vida. Lo mismo, en mi opinión, ocurre con el universo. En la actualidad lo percibimos como un ente sumamente complejo, y nosotros formamos parte de esa complejidad.

La cosmología, a través de la unión de la astrofísica y la física de partículas, nos muestra que esa complejidad surge de una materia extremadamente simple metamorfoseada a lo largo de una serie de transiciones de fase. Si fuese posible retroceder en el tiempo a través de esas transiciones, veríamos una simplicidad y una simetría aún mayores, en las que las fuerzas primigenias de la naturaleza se fusionan y las partículas se transforman en componentes fundamentales. Si retrocediéramos todavía más, llegaríamos al punto en que el universo era una concentración de energía infinitamente pequeña, infinitamente densa, un fragmento del espacio-tiempo primordial. Esta simetría y esta simplicidad crecientes que encontramos a medida que nos acercamos al momento de la creación, son el motivo de mi esperanza en que llegemos a entender el universo utilizando los poderes de

la razón y la filosofía. Entonces, como advirtió Einstein, el universo será comprensible.

Pero, ¿qué ocurre si retrocedemos más allá del momento de la creación? ¿Qué había allí antes del Big Bang? ¿Qué había allí antes de que comenzara el tiempo? Encarar esta pregunta definitiva supone un desafío para nuestra fe en la capacidad de la ciencia para explicar los misterios de la naturaleza. La existencia de una singularidad —en este caso el estado único del que emergió el universo— es un anatema para la ciencia, ya que resulta imposible de explicar. Puede no haber respuesta a por *qué* existió ese estado. ¿Es en este punto donde la explicación científica fracasa y Dios, el artífice de tal singularidad, toma posesión de esa simplicidad inicial? En su libro *God and the Astronomers*, el astrofísico Robert Jastrow describe semejante perspectiva como la pesadilla de los científicos: «Ha escalado las montañas de la ignorancia; está por conquistar el pico más alto. Mientras se arrastra por la última roca es saludado por una pandilla de teólogos que han estado sentados allí durante siglos.»

En su larga lucha por evitar este mal sueño, los cosmólogos han buscado explicaciones del universo que eviten la necesidad de un comienzo. Debemos recordar que Einstein se negaba a creer en las consecuencias de sus propias ecuaciones —que el universo se expande y, por lo tanto, ha de haber tenido un comienzo— y, para evitarlo, inventó la constante cosmológica. Sólo creyó en ellas cuando vio que las observaciones del Hubble revelaban un universo en expansión. Para muchos defensores de la teoría del estado estable, uno de sus principales alicientes era que esta teoría estipulaba que el universo no tenía principio ni fin y, en consecuencia, no requería explicar qué había existido antes de que el tiempo fuese igual a cero. Era conocido como el principio cosmológico perfecto.

Hace una década, Stephen Hawking y J. B. Hartle trataron de resolver el desafío de manera diferente, argumentando la singularidad fuera de la existencia. Basándose en un intento de la teoría de la gravedad cuántica, acordaron que el tiempo es finito pero que carece de comienzo. Si se piensa en la superficie de una esfera, esto es menos extraño de lo que suena. La superficie de una esfera es finita, pero no tiene principio ni final —uno puede pasar su dedo sobre ella continuamente terminando, quizá, en el mismo lugar donde empezó—. Suponga ahora el lector que el universo

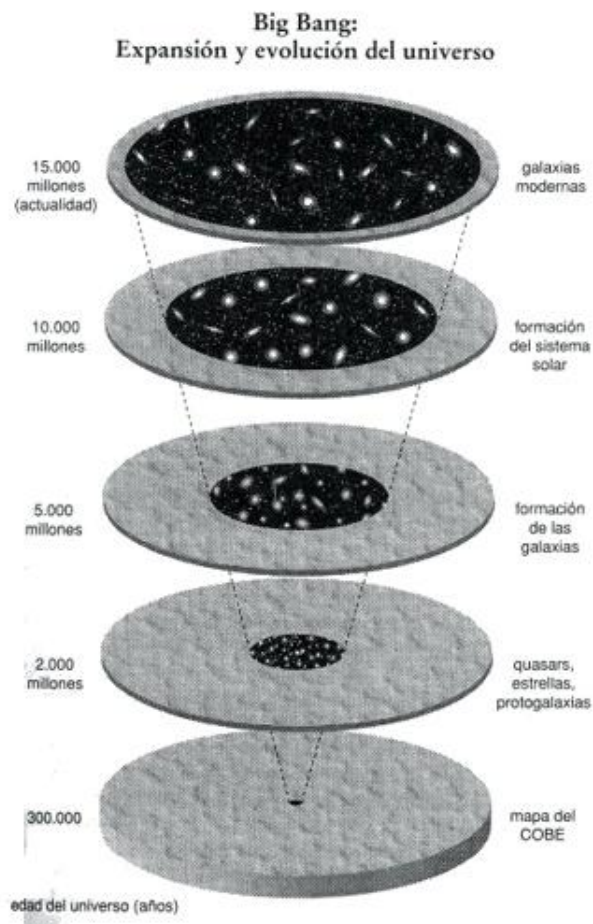
es una esfera de espacio-tiempo. Se puede viajar por su superficie y acabar donde se comenzó, tanto en el espacio como en el tiempo. Esto, por supuesto, requiere un tiempo de viaje, lo cual viola el principio de Mach. Pero el mundo de la mecánica cuántica, con su principio de incertidumbre, es un lugar extraño en el que es factible que ocurran cosas propias de otros mundos. Y hasta tal punto resulta extraño que puede escapar al entendimiento humano, ya que somos criaturas del mundo de la mecánica newtoniana.

Sencillamente, todavía ignoramos si el universo tuvo un comienzo, y es por ello que el origen del espacio-tiempo sigue siendo una *térria incógnita*. Ninguna pregunta es más fundamental o mágica, tanto en términos científicos como teológicos. Mi convicción —quizá deba decir mi fe— es que la ciencia continuará acercándose al momento de la creación, porque lo que encuentre a medida que se aproxime a ella será cada vez más simple. Algunos físicos argumentan que la materia, a la larga, se reduce a objetos semejantes a puntos con ciertas propiedades intrínsecas. Otros sostienen que las partículas fundamentales son cuerdas extraordinariamente delgadas que vibran para producir sus propiedades. De todos modos, en combinación con ciertos conceptos como el de inflación, es posible encarar la creación del universo *casí* a partir de la nada. Creación prácticamente *ex nihilo*, pero no del todo. Sería un gran logro intelectual, sin duda, pero también una demostración de los límites hasta los que pueden llegar los interrogantes de la ciencia; se acabaría con una descripción de la singularidad, pero no con una explicación de ésta.

Para un ingeniero, la diferencia entre nada y casi nada puede ser mínima. Para un científico y, desde luego, para un filósofo, esa diferencia, por minúscula que sea, puede serlo todo. Para sufrir la pesadilla descrita por Jastrow basta hacernos la pregunta definitiva: «¿Por qué?» Pero la ciencia no se somete a este tipo de interrogantes que siempre corresponden a filósofos y teólogos quienes, aun cuando no están en condiciones de dar una explicación material, al menos proporcionan algo de alivio.

Pero, ¿qué ocurriría si el universo que vemos fuese el único posible, el producto de un estado singular inicial modelado por leyes singulares de la naturaleza? Ahora está claro que la mínima variación en el valor de una serie de propiedades

fundamentales del universo habría dado como resultado un «no universo» o, cuando menos, uno muy distinto del actual. Por ejemplo, si la fuerza nuclear fuerte hubiese sido algo más débil, el universo sólo habría estado compuesto de hidrógeno. Si hubiese sido un poco más fuerte, todo el hidrógeno se habría convertido en helio. Una pequeña variación en el exceso de protones en relación a los antiprotones —mil millones y uno en mil millones— podría haber producido un universo sin materia bariónica o una cantidad desastrosa de ella. Si un minuto después del Big Bang el ritmo de expansión del universo hubiese sido menor de una parte en cien mil billones, éste habría sufrido un colapso hace mucho tiempo. Una expansión más rápida que una parte en un millón habría impedido la formación de estrellas y planetas.



La lista de coincidencias cósmicas requeridas para nuestra existencia en el universo es tan larga, que Stephen Hawking comentó: «Las probabilidades en contra de un universo como el nuestro, surgido del Big Bang, son enormes». Freeman Dyson, físico de Princeton, fue más lejos aún al afirmar: «Cuanto más examino el universo y los detalles de su arquitectura, encuentro más evidencias de que, en algún sentido, el universo sabía que nosotros íbamos a llegar». Esta concatenación de coincidencias requerida para nuestra presencia en el universo ha sido llamada «principio antrópico», el cual no es más que una afirmación de lo obvio: si las cosas hubieran sido diferentes, no existiríamos. Pero, de acuerdo a la interpretación de la teoría de la inflación, es posible que haya muchos universos distintos, y que algunos incluso existan paralelamente al nuestro. Esto nos permitiría especular con la posibilidad de que nuestro universo haya dado lugar a una estructura mayor de espacio— tiempo — como una fresa en una plantación de muchas fresas—. Mi idea, sin embargo, es que el número de posibilidades es limitado precisamente porque a medida que nos acercamos al momento de la creación las cosas son cada vez más simples. Es factible, incluso, que sólo haya habido una posibilidad, y que si todo es tan perfecto se debe a que no pudo haber sido de otra forma.

En este caso, ¿qué podríamos decir sobre la pregunta definitiva? ¿Qué Dios no podía elegir cómo sería el universo y, por lo tanto, la necesidad no existe? ¿O que Dios fue muy hábil y por eso lo hizo tan bien? En cualquier caso, la ciencia seguiría preguntándose por qué esas condiciones y no otras. O, tal vez, la comprensión del universo en esos términos sea una explicación suficiente. La propia existencia del universo es su verdad y su tesoro, y nuestra búsqueda de esa verdad y ese tesoro será eterna, como el universo mismo.

Nuestro descubrimiento de las arrugas en la estructura del tiempo forma parte de la eterna búsqueda y marca un importante paso hacia adelante en esta edad dorada de la cosmología. De pronto, las piezas de un gran rompecabezas comienzan a encajar: la inflación parece más fuerte y la materia oscura más real. Nuestra confianza en el Big Bang se ve revitalizada; al cielo oscuro de la noche, a la composición de los elementos, a la evidencia de un universo en expansión y al resplandor de la creación, se suma ahora un medio por el cual pudieron formarse las estructuras del universo actual. La fuerza más potente del universo es su

creatividad, que a través del tiempo formó la materia y la estructura de estrellas, galaxias y, finalmente, nosotros mismos. Las arrugas son el corazón de esa creatividad, que ha montado estructuras a partir de la homogeneidad.

La búsqueda continuará, con la doble finalidad de descubrir la materia oscura y entender el origen del espacio-tiempo. Nadie sabe de dónde vendrán las respuestas, pero si la historia reciente ha de servirnos de guía, será de la mayor importancia que la ciencia observacional y la física de partículas trabajen codo con codo. Serán lanzados nuevos satélites, y uno de los mayores esfuerzos científicos de todos los tiempos, el superconductor supercolisionador (SSC), se encuentra en proceso de construcción en Texas. Sin duda es caro — quizá tanto como diez mil millones de dólares—, pero el desarrollo de esta ciencia ha llevado a desarrollar este tipo de instrumentos. Tal vez no exista otro modo de entender los primeros instantes de la creación que recreando muchas clases de Big Bang en una máquina enorme como este superconductor supercolisionador de 87 kilómetros de circunferencia. Como cultura que somos, tenemos que decidir hasta qué punto es válida la búsqueda intelectual que lleve a responder la pregunta definitiva.

Cuanto más sabemos sobre la evolución del universo, más sabemos sobre nosotros mismos y sobre las preguntas que estamos dispuestos a hacer.

En 1977, Steven Weinberg publicó *The First Three Minutes*, uno de los mejores libros de divulgación que jamás se hayan escrito sobre temas cosmológicos. La obra estaba basada en un curso sobre gravitación y cosmología que dictó en el MIT mientras yo preparaba mi licenciatura —curso que influyó en mi decisión de dedicarme a la investigación en este campo—. Hacia el final del libro Weinberg medita acerca de nuestros interrogantes, en particular la convicción de que, de algún modo, el género humano no es un mero accidente cósmico, que la casualidad es el resultado de una concatenación de procesos físicos en un universo que nos empequeñece en relación con cualquier escala. Su punto de vista lo expresa así: «Resulta muy duro darse cuenta de que [este bello planeta] no es más que una pequeña parte de un universo abrumadoramente hostil. Pero es aún más duro darse cuenta de que este universo presente se ha desarrollado a partir de una primera condición inexpresable y desconocida, y que se enfrenta a su extinción a causa de

un frío sin fin o un calor insoportable. Cuanto más comprensible parece el universo, más carente de sentido se nos antoja.»

Debo decir que no coincido con mi viejo maestro. Para mí el universo no carece en absoluto de sentido. Cuanto más sabemos, más advertimos que todo armoniza, que hay una unidad subyacente al mar de materia, estrellas y galaxias que nos rodean. Por otra parte, cuando estudiamos el universo como una totalidad, percibimos que el «microcosmos» y el «macrocosmos» son, en definitiva, la misma cosa. Al unificarlos, descubrimos que la naturaleza no es la consecuencia azarosa de una serie de hechos sin significado, sino todo lo contrario. Cada vez más comprendemos que el universo es como es porque *debe* ser así; su evolución fue escrita en sus comienzos, en el ADN cósmico, si el lector me permite la expresión. En la evolución del universo hay un orden claro que va desde la simplicidad y la simetría a una estructura y una complejidad mayores. A medida que el tiempo pasa, los componentes simples se unen a elementos básicos sofisticados que producen un entorno más rico y diverso. Los accidentes y el azar son, de hecho, esenciales en el desarrollo de la riqueza general del universo. En ese sentido (aunque no en el sentido de la física cuántica), Einstein estuvo en lo cierto: Dios no juega a los dados con el universo. Aunque los sucesos individuales parezcan azarosos, en el desarrollo de los sistemas complejos hay una inevitabilidad general. La evolución de seres capaces de cuestionar y comprender el universo parece muy natural. Me sorprendería mucho que una inteligencia como esa no haya aparecido en muchos lugares de nuestro vasto universo.

Esta comprensión se parece mucho a lo que experimentamos cuando estamos delante de una obra de arte. Cuando viajo por el mundo, me gusta visitar grandes museos de arte para ver las esculturas clásicas, las obras talladas y pintadas a lo largo de los siglos por artistas visionarios. Los cosmólogos y los artistas tienen mucho en común: ambos buscan la belleza, unos en el cielo, otros en los lienzos o en la piedra. Cuando un cosmólogo percibe el modo en que las leyes y los principios del cosmos comienzan a adaptarse, a entrelazarse, cómo ponen de manifiesto una simetría que las viejas mitologías reservaban para sus dioses —cómo expresan que el universo *debe* estar en expansión, *debe* ser plano, *debe* ser todo lo que es—, entonces él o ella perciben una belleza pura, sin alteraciones.

El concepto religioso de la creación surge del asombro ante la existencia del universo y el lugar que ocupamos en él. El concepto científico trasluce un asombro similar: estamos impresionados por la simplicidad última y el poder creativo de la naturaleza física, y por su belleza en todas las escalas.

Agradecimientos

Los misterios del universo nos fascinan. *Arrugas en el tiempo* intenta transmitir al público lector algo de este sentimiento de misterio y fascinación que experimentan los científicos. Y también compensar en parte la deuda contraída con los ciudadanos que, a través de sus impuestos, proporcionan los medios necesarios para realizar este trabajo. Doy las gracias a las instituciones y organismos —la NASA, el Departamento de Energía y la Fundación Nacional de la Ciencia— cuyo soporte y colaboración ha sido inestimable, y en especial al Lawrence Berkeley Laboratory y al Space Sciences Laboratory, al National Scientific Balloon Facility y a la South Pole Station, así como a todos los observatorios, centros científicos y agencias espaciales que han prestado su desinteresado apoyo. Ha sido un placer y un privilegio trabajar con ellos. Agradezco muy particularmente a los responsables del Departamento de Física del Lawrence Berkeley Laboratory (Bob Birge, Dave Jackson, Pier Oddone y Bob Cahn) y a los directores del Space Sciences Laboratory (Kinsey Anderson, Buford Price y Chris McKee) toda la colaboración que me han dispensado.

También doy las gracias a mis profesores de todos los niveles, desde el colegio a la universidad, que siempre me dieron la oportunidad y el incentivo para aprender y estudiar los trabajos de las generaciones anteriores. Mis profesores me imbuyeron un profundo respeto por el conocimiento y por los libros, así como una insaciable curiosidad por aprender. Uno de los grandes logros de nuestro país es la excelencia de su sistema educativo.

Por supuesto, todo empieza en casa. Tengo que agradecer profundamente a mi familia y a mis amigos el apoyo continuo e incondicional que me brindaron. Especialmente doy las gracias a mi madre, que siempre me animó y me ofreció un excepcional ejemplo como persona y como profesora de ciencias. Y a mi padre, un modélico investigador siempre abierto a las nuevas ideas y tendencias de la ciencia. La investigación en cosmología es un esfuerzo a gran escala que involucra a numerosas personas. Yo y el resto de los científicos hemos contraído una gran deuda con aquellos que dedican sus esfuerzos a esta empresa. La historia de este libro es el resultado del trabajo y el esfuerzo conjunto de mucha gente. Ha sido un honor trabajar con los científicos más famosos, así como con los menos conocidos.

También conté con la colaboración de ingenieros y técnicos que raramente son conocidos pero cuya actividad resulta de vital importancia para la consecución de los objetivos propuestos. Asimismo, trabajé con muchos destacados estudiantes, posgraduados, doctores y académicos. A todos ellos, mi agradecimiento más sincero.

El proyecto COBE involucró a una amplia lista de colaboradores y colegas cuya extensión me impide mencionar detalladamente. Sin embargo, quiero dar las gracias muy especialmente al equipo científico del COBE, integrado por Chuck Bennett, Nancy Bogess, Ed Cheng, Eli Dwek, Sam Gulkis, Mike Hauser, Mike Janssen, Tom Kelsall, Phil Lubin, John Mather, Steve Meyer, Rainer Weiss, Dave Wilkinson y Ned Wright.

Finalmente quisiera testimoniar mi agradecimiento a todos aquellos que han colaborado en este libro, particularmente a Keay Davidson, Roger Lewin, a los editores de la agencia William Morrow y a nuestro agente John Brockman. Christopher Slye convirtió mis dibujos y bosquejos en bellas ilustraciones que enriquecen el libro. Y, sobre todo, muchas gracias a los lectores, que espero disfruten y satisfagan sus inquietudes con este libro; ellos representan un insoslayable apoyo para la ciencia y la cultura.

Lecturas adicionales para profundizar sobre el tema

- BARROW, J.-SILK, J. *The Left Hand of Creation: The Origin and Evolution of the Expanding Universe*, Nueva York, Basic Books, 1983.
- CORNELL, J. *Bubbles. Voids and Bumps in Time: The New Cosmology*, Nueva York, Cambridge University Press, 1989.
- DAVIES, P. *The Cosmic Blueprint*, Nueva York, Simon & Schuster, 1988; — *The New Physics*, Nueva York, Cambridge University Press, 1987; — *Corning of Age in the Milky Way*, Nueva York, W. Morrow, 1988.
- FERRIS, T. *The Red Limit*, Nueva York, William Morrow, 1977.
- GAMOW, G. *The Creation of the Universe*, Nueva York, Viking, 1957. (Libro de interés histórico.) Versión española: *La creación del universo*, Espasa Calpe; — *Mr. Trompkins in Paperback*, Nueva York, Cambridge University Press, 1965.
- GRIBBIN, J. *In Search of the Edge of Time*, Londres, 1992; — *The Omega Point: The Search for the Missing Mass and the Ultimate Fate of the Universe*, Nueva York, Bantam, 1988.
- GUTH, A.-STEINHARDT, P. «The Inflationary Universe», *Scientific American*, enero de 1990, pp. 116-128. 361
- HARRISON, E. *Darkness at Night: A Riddle of the Universe*, Nueva York, Cambridge University Press, 1987.
- HAWKING, S. *Historia, del tiempo*, Barcelona, editorial Crítica, 1988.
- KRAUSS, L. M. *The Fifth Essence: The Search for Dark Matter in the Universe*, Nueva York, Basic Books, 1989.
- LAYZER, D. *Cosmogogenesis: The Growth of Order in the Universe*, Nueva York, Oxford University Press, 1990.
- LEDERMAN, L.-SCHRAMM, D. *From Quarks to the Cosmos*, Nueva York, Scientific American Library, 1991.
- LIGHTMAN, A. P. *Ancient Light: Our Changing View of the Universe*. Cambridge (Massachusetts: Harvard University Press, 1991).
- LONGAIR, M. *The Origins of Our Universe*, Nueva York, Cambridge University Press, 1991.

- OVERBYE, D. *Lonely Hearts of the Cosmos: The Story of the Scientific Quest for the Secret of the Universe*, Nueva York, Harper Collins, 1991.
- PARKER, B. *Invisible Matter and the Fate of Universe*, Nueva York, Plenum Press, 1989.
- REEVES, H. *Atoms of Silence*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 1981; —*L'heure de s'enivrer: L'universe a-t-il sens?* París, 1986; —*Patience dans l'azure: L'évolution cosmique*, París, 1981.
- RIORDAN, M.-SCHRAMM, D. *The Shadowes of Creation: Dark Matter and the Structure of the Universe*, Nueva York, Freeman & Co., 1991.
- SCHILLING, G. *De Salon van God: Spuertocht naar de Architectuur van de Kosmos*, Amsterdam, Wereldbibliotheek, 1993.
- SILK, J. *The Big Bang*, Nueva York, Freeman & Co., 1989.
- TREFIL, J. *The Dark side of the Universe*, Nueva York, Doubleday, 1989; — *The Moment of Creation: Big Bang Physics from Before the First Millisecond to the Present Universe*, Nueva York, Macmillan, 1984.
- WEINBERG, S. *Los tres primeros minutos del universo*, Madrid, Alianza Editorial, 1978.

Libros sobre cosmologías alternativas:

- ALFVÉN, H. *Worlds-Antiworlds*, San Francisco, W. H Freeman 1966.
- ARP, H. *Quasars, Redshifts, and Controversies*, Berkeley (Calif) Interstellar Media, 1987.
- LEMAÎTRE, G. *The Primeval Atom*, Nueva York, Van Nostrand 1950. LEARNER, E. *The Big Bang Never Happened: A Starling Refutation of the Dominant Theory of the Origin of the Universe*, Nueva York, 1991.

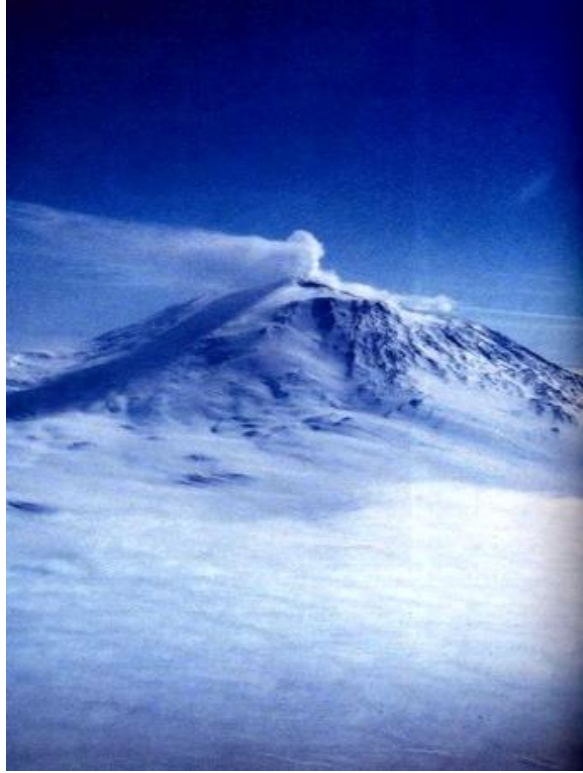
Ilustraciones



Un experimento de antimateria justo después del lanzamiento. La carga tiene el tamaño y peso de un coche. El paracaídas tiene 33 m de longitud. Cuando el globo alcanza una gran altitud, el helio de su interior lo hincha hasta adquirir las dimensiones de un estadio.



El avión U-2 de la NASA-Ames volando por encima del puente Golden Gate; al fondo la ciudad de San Francisco. La gran altura de vuelo de los U-2 se hizo célebre por las misiones de reconocimiento realizadas en tiempos de la guerra fría. En la actualidad estos aviones se usan para investigaciones científicas (NASA-Ames)



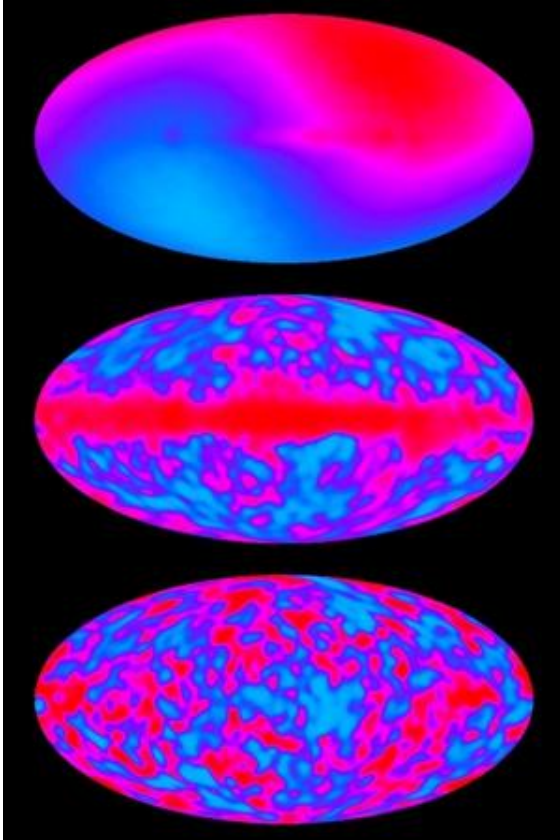
El volcán activo Mount Erebus, en la Antártida fotografiado durante nuestro vuelo al lugar del experimento en el Polo sur



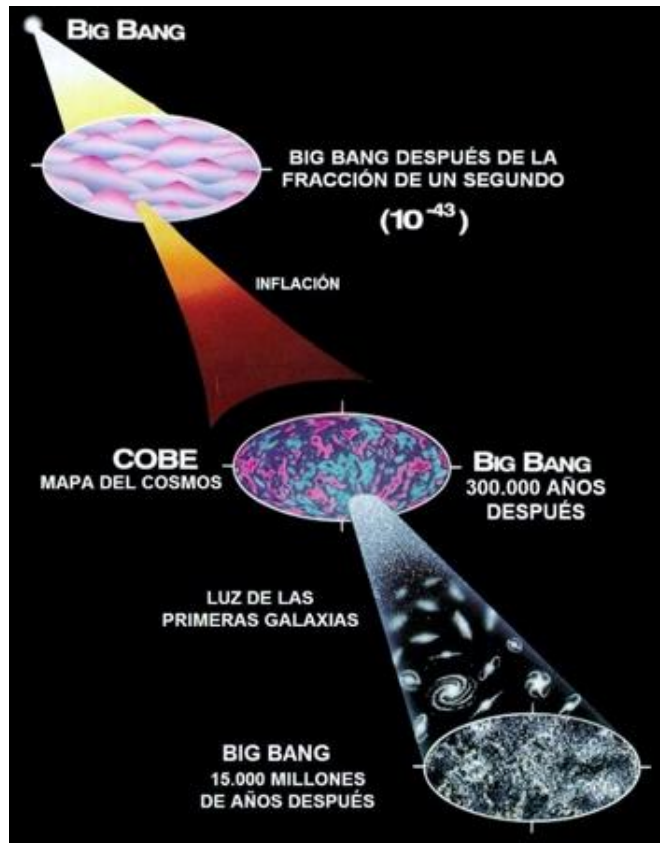
Representación gráfica del COBE, desplegado y en órbita



Lanzamiento del satélite COBE en un cohete Delta.



Tres mapas completos del cielo realizados por el satélite COBE. El DMR (radiómetro diferencial de microondas) permite observar: en la parte superior el dipolo debido al movimiento de la Tierra en relación con la radiación cósmica de fondo (más caliente en la dirección que nos movemos y más frío en la dirección contraria); en el centro, el dipolo que muestra la emisión del plano de la galaxia (la franja horizontal y los rizos del espacio-tiempo a gran escala); en la parte inferior, un mapa de las arrugas del tiempo.



puede estudiarse a través del superacelerador. 4.— A los 10^{-10} seg.; temperatura de 10^{15} grados. Llegamos a la época de la que podemos obtener evidencias gracias a experimentos de la física de partículas que se podrán ampliar con el uso del superacelerador. Las fuerzas electromagnética y débil se han separado claramente. La densidad energética se reduce de modo que ya no es posible la creación de partículas WZ; aquellas existentes se alejan hasta perderse en el universo. Los quarks permanecen juntos y se forman los primeros protones y neutrones estables; el plasma de quarks-gluones se convierte en un gas de hadrones. Los antiquarks desaparecen por aniquilación con los quarks y la densidad energética ya no es suficiente para crear nuevos antiquarks, dejando un exceso residual de materia. 5.— A 1 segundo; temperatura de 10^{10} grados. Electrones y positrones se aniquilan quedando un exceso de electrones. 6.— A los 3 minutos; temperatura de 10^9 grados; los protones y neutrones pueden permanecer juntos creando núcleos, ya que su energía es mayor que la energía media (el universo actúa como un enorme reactor termonuclear). Se crean los primeros núcleos de deuterio (hidrógeno pesado), helio y litio. Esta formación de núcleos es esencial ya que no habrá suficiente energía para su creación a través de la interacción protón-neutrino; así los neutrones libres se reducen drásticamente en 1.000 seg. La parte masiva que constituye el universo está casi a punto (tres cuartas partes de hidrógeno y una de helio); sólo una cantidad relativamente pequeña de otros elementos se formará posteriormente en las estrellas. 7.— A los 300.000 años; temperatura de 6.000 grados. Materia y radiación se han separado y el universo se hace transparente. Se crean átomos de hidrógeno, helio y litio. La energía media es ahora demasiado baja para provocar la destrucción de los átomos. 8.— A los 1,000 millones de años; temperatura de 18 grados. Agrupaciones de materia, por medio de mecanismos que todavía no se conocen suficientemente, forman estrellas y galaxias. En el interior de las estrellas altas energías permiten la formación de nuevos núcleos, por ejemplo, de carbono y de hierro; los elementos pesados aparecen en los colapsos gravitacionales de las supernovas y luego se diseminan. 9.— A los 15.000 millones de años; temperatura de 3 grados. En la actualidad, distintos procesos químicos han permitido la unión de átomos para formar moléculas. El hombre ha emergido del polvo de las estrellas para contemplar el universo a su alrededor.