

Robert P. Kirshner

El universo extravagante

Estrellas explosivas,

energía oscura

y cosmos acelerado

Traducción de Luis Enrique de Juan

Índice

El universo extravagante

Prefacio	13
1 El gran escenario	17
2 Agentes violentos del cambio cósmico	33
3 Otro tipo de explosión	55
4 Einstein añade una constante	73
5 Expansión cósmica	85
6 ¿Qué hora es?	111
7 Un caluroso día en Holmdel	145
8 Aprendiendo a nadar	169
9 Ser los primeros	193
10 Haciendo las cosas bien	233
11 ¿El cañón humeante?	279
Epílogo	311
Agradecimientos	321
Referencias útiles	323
Notas	325
Láminas en color	335
Índice analítico	349

*Para Rebecca y Matthew,
que vivirán en un universo
cada vez más grande.*

Prefacio

Desde 1970, soy uno de los astrónomos que observan las estrellas explosivas conocidas como supernovas para saber qué son, cómo funcionan y en qué modo afectan a la química del universo. Como beneficio añadido, esta investigación ha convertido a esos objetos en la mejor vara de medir distancias cósmicas. Cierta variedad de supernovas proviene de la explosión termonuclear de la densa escoria que queda tras la combustión de una estrella como nuestro Sol. Estas «supernovas de tipo Ia» (SN Ia) son explosiones estándar cuya distancia a la Tierra puede ser estimada con precisión a partir de su brillo aparente. Empleando las SN Ia como un marinero usaría la luz de una casa para estimar la distancia en el mar, podemos medir distancias a las galaxias, esas ruedas gigantes formadas por estrellas en el seno de las cuales estallan las supernovas¹. La medida de las distancias a las supernovas ha conducido a un drástico cambio en nuestra imagen del contenido del universo, dominado ahora por una energía oscura que surge de las propiedades del mismo espacio vacío.

Los astrónomos llevan midiendo los movimientos de las galaxias desde 1912. Casi todas se alejan de la nuestra, la Vía Láctea, dando lugar a un efecto conocido como desplazamiento al rojo. En 1929, Edwin Hubble relacionó las distancias a las galaxias con sus desplazamientos al rojo y demostró que las más lejanas se separan de nosotros más deprisa que las más próximas. Este hecho significa que vivimos en un universo en expansión.

La noticia de que el universo se expande constituyó una sorpresa para Albert Einstein. Cuando en 1917 consultó con los astrónomos, todos habían coincidido en que el universo era estático. Su teoría de la relatividad general, recién formulada, predecía que el universo o bien se hallaba en expansión o se estaba contrayendo. Pero no

cabe luchar contra las evidencias, aunque estén equivocadas. Así que Einstein suspiró y se sacó de la manga una constante para resolver el «problema»; inventó una propiedad expansiva del espacio mismo, que hoy denominamos «energía oscura», con el fin de equilibrar la atracción gravitatoria de la materia. El término einsteniano, la constante cosmológica, se introdujo para hacer que el universo se sostuviera en equilibrio como un ciclista ante un semáforo. Cuando, una década después, Einstein se enteró de que las observaciones de Hubble demostraban que el universo *no* se estaba quieto, se apresuró a arrojar su constante por la borda. «En cualquier caso, era poco satisfactoria desde el punto de vista teórico», afirmó². La constante cosmológica fue desterrada de las discusiones cosmológicas serias. ¿Quién la necesitaba?

En los años noventa, a medida que los astrónomos hacíamos un inventario del contenido del universo, nos enfrentábamos a un problema, a un rompecabezas y a un enigma. El problema es que la mayor parte del material gravitatorio del universo es invisible; el rompecabezas es que no hay material suficiente y el enigma, que, de haberlo, se llegaría a la sorprendente conclusión de que el universo es más joven que su contenido. El hecho de que sea invisible no es tan grave; podemos detectar los *efectos* de una masa invisible, aunque no emita luz, al igual que un marinero descubre una invisible ráfaga de viento por las ondulaciones que produce en el agua. La materia visible fluye hacia la invisible red de hoyos cósmicos formada por la materia fría y oscura. Pero el rompecabezas sigue siendo que la cantidad total de materia sólo es aproximadamente un tercio de la que nuestras teorías favoritas sobre un universo ordenado requieren. Y lo peor es el enigma que plantean las escalas temporales cósmicas. Las estrellas más viejas de nuestra galaxia aparentan tener unos 12.000 millones de años. Si el universo alojaba ya todo su material gravitatorio en esa época, la expansión cósmica debería haberse ralentizado con el tiempo y el reloj del universo sólo debería haber avanzado unos 10.000 millones de años desde el *Big Bang*. El que existan estrellas de 12.000 millones de años en un universo de 10.000 millones no favorece precisamente la credibilidad de nuestras teorías sobre el mundo físico. ¿Dónde está el error en nuestro

escenario? Esas pequeñas grietas en el decorado ¿demuestran que hay un serio problema conceptual con el *Big Bang* o es que falta algo?

En los últimos años, numerosos equipos de científicos han usado nuevos instrumentos y nuevos telescopios, entre ellos el telescopio espacial Hubble, para encontrar supernovas lejanas. Ellas nos permiten medir directamente la historia de la expansión cósmica. Esperábamos ver cuánto se ha ralentizado el universo desde el *Big Bang*. Personalmente, he formado parte de uno de esos equipos, un alegre y ligeramente anárquico grupo de hermanos (y hermanas, por supuesto), que bautizamos con el nombre de «equipo de investigación de supernovas de alta z». La letra «z» es la abreviatura que usan los astrónomos para referirse al desplazamiento al rojo; «alta z» significa que buscamos estrellas explosivas con grandes desplazamientos al rojo, es decir, situadas a grandes distancias.

En 1997, los trabajos estaban en marcha cuando fui invitado por la Universidad de Princeton a dar una serie de conferencias que se convertirían en el germen del presente libro. Examinando mis viejas notas, he comprobado que casi no había resultados que presentar en 1997: aunque conocíamos las preguntas y teníamos idea de cómo obtener las respuestas, la sorprendente solución a esos enigmas astronómicos llegó después. Así que hablé mucho de cómo hacen explosión las supernovas y cómo producen nuevos elementos químicos y sólo un poco del modo en que las supernovas medirían la historia de la expansión cósmica. Ahora disponemos ya de algunos resultados preliminares y de una sorprendente síntesis que resuelve los problemas, rompecabezas y enigmas de hace una década.

Las observaciones de supernovas lejanas muestran un universo que no es estático, como Einstein pensaba, y que ni siquiera se expande uniformemente, como Hubble demostró, sino que ¡crece de forma acelerada! Atribuimos este incremento en la expansión a lo largo del tiempo a cierta energía oscura que produce una presión hacia el exterior. En su forma más simple, se trataría de la constante cosmológica de Einstein, algo que durante sesenta años se consideró un anatema teórico. La energía oscura representa esa masa-energía que buscaban los teóricos, reconcilia la edad de los objetos cósmicos con la tasa de expansión actual del universo y

aporta nuevas formas de medir el inextinguible brillo del *Big Bang*, dando lugar a una clara y sorprendente imagen del contenido del universo.

En cierto sentido, los últimos cinco años han sido como ese momento, cuando se ensambla un *puzzle*, en el que completamos el marco; las piezas ocupan rápidamente su lugar y empezamos a entrever las formas que contienen las piezas que faltan. Y esas piezas ausentes suelen ser las más importantes. Un universo gobernado por energía oscura sugiere la existencia de una gran laguna en nuestra comprensión de uno de los aspectos más profundos del espacio: las propiedades del vacío. Ningún laboratorio realiza medidas y ninguna teoría física predice la cantidad de energía oscura implicada en nuestras observaciones. El próximo paso en la comprensión del universo a la más pequeña escala será fusionar la gravedad con las otras fuerzas de la naturaleza. Tal vez, cuando exista esa nueva visión teórica, este extravagante universo propulsado por energía oscura nos parezca simple e inevitable. Pero, de momento, al resolver los misterios de este universo acelerado hemos creado un nuevo rompecabezas.

Nuestra hipótesis de trabajo actual sobre el universo es verdaderamente extravagante: incluye neutrinos como materia oscura caliente; un ente desconocido como materia oscura fría; inflación en los primeros 10^{35} segundos tras el *Big Bang* y expansión acelerada ahora, cuando el universo es 10^{52} veces más viejo, debida a la energía oscura. Es más de lo que ninguno osaría imaginar, pero está basada en evidencias aunque todo lo anterior sea invisible. Hemos construido esa hipótesis observando la luz procedente del propio *Big Bang*; la que nos llega de las estrellas, fijas, variables y explosivas, y la que proviene de las galaxias que se hallan en los confines del universo observable.

Ser los primeros en contemplar nuevos aspectos del universo ha sido la recompensa de quienes se citan en este libro. Pero ¿por qué no compartir un premio así? Mi propósito, pues, es ayudar al lector a participar en una aventura en la que la emoción nace del conocimiento.

1 El gran escenario

A primera vista, la idea de comprender el universo parece absurda, presuntuosa o, en cualquier caso, fuera de nuestro alcance, precisamente porque el universo no está construido a escala humana ni en tamaño ni en tiempo. Pero hoy disponemos de una imagen física de la historia y evolución del cosmos. ¿Cómo hemos superado las limitaciones de nuestros pequeños cerebros, nuestras cortas vidas y nuestra ridículamente pequeña estatura para comprender un inmenso y viejo universo?

Somos tan *efímeros*... Las estrellas nos parecen eternas, pero es sólo porque estamos de paso. Si nuestros 100 años de vida son sólo una parte en 100 millones de la edad del universo, ¿cómo cabe pretender observar el flujo del cambio cósmico? Enfrentar nuestra vida a la edad del universo es como comparar el máximo tiempo que somos capaces de contener la respiración con nuestra propia vida. Y así es en realidad. Un suspiro es a una vida como una vida es a la edad del universo. Inhalemos profundamente.

El tiempo cósmico desborda nuestro sentido de la historia. Toda la historia humana de la que existe registro abarca sólo 10.000 años: 100 generaciones de 100 años cada una. El profundo tiempo cósmico retrocede un *millón* de veces más atrás que el primer destello de civilización, cuando el perro decidió acompañar al ser humano en su cueva. Salvo en muy pocas y espectaculares excepciones, como cuando una estrella se autodestruye en una explosión de supernova, no tenemos la suerte de ver cómo cambia el universo durante una vida humana, aunque sepamos que los procesos de cambio están en marcha. Pero conociendo qué son las supernovas, cómo funcionan y cómo hacer uso de ellas, podemos rastrear la historia de la expansión cósmica hasta un pasado lejano.

Y somos muy *pequeños*. Tan diminutos que no podemos ver la

curvatura de la Tierra, la cual es 10 millones de veces más grande que una persona. La idea de sentido común de que la Tierra es plana es errónea, simplemente porque nuestro planeta –y no digamos otros objetos cósmicos más grandes– no está hecho a nuestra medida¹. Normalmente, sabemos que la Tierra es redonda porque aceptamos dócilmente un dogma que nos enseñaron en la escuela. Un método mejor es lanzar gente hacia lo alto para que eche un vistazo. Los astronautas viajan por nosotros y nos traen imágenes que ilustran la geometría verdadera de la Tierra. Aunque sepamos qué es lo que esas fotografías deberían mostrar, las imágenes de un planeta redondo conquistan nuestro sentido común e introducen en él el concepto de una Tierra esférica.

Alejarse para obtener perspectiva no siempre es fácil cuando se trata de ver la forma de objetos astronómicos más grandes. Igual que una rodaja de salchicha crepitando en medio de la *mozzarella* lo tiene difícil para contemplar la pizza en su totalidad, para nosotros es casi imposible ver el disco aplastado de la galaxia en la que está situado nuestro Sol. No disponemos de perspectiva sobre la forma de la Vía Láctea y no hay modo de apartarse un poco. Nuestra dificultad para imaginar la forma del universo en el que residen la Vía Láctea y otros 100.000 millones de sistemas equivalentes es aún más grave: es imposible salir fuera para gozar de la perspectiva.

¿Cómo superar esas limitaciones y obtener una imagen del universo? Aunque poseamos pequeños cerebros, cortas vidas y un sentido común un tanto propenso al error, la situación no es desesperada. La cuestión no es el tamaño del cerebro, sino tener las ideas claras. En los últimos 500 años hemos comenzado a entender dónde estamos y cómo funcionan las cosas.

La imaginación humana puede empezar a explorar las posibilidades. En el antiguo billete de 10 marcos, hoy sustituido por el euro, aparecía el gran matemático Karl Friedrich Gauss. Su puesto en la administración pública consistía en dirigir el observatorio astronómico de Gotinga. Los astrónomos usan su nombre a diario, cuando utilizan su curva en forma de campana para evaluar los efectos del azar en todo tipo de evidencias astronómicas, desde los movimien-



Figura 1.1. **El telescopio de 4 metros Victor y Betty Blanco, ubicado en Cerro Tololo, Chile, perfilándose contra la Vía Láctea.** En 1917, cuando Einstein consideró por primera vez los efectos de la gravedad sobre el universo como un todo, los astrónomos pensaban que la Vía Láctea era todo el universo. Hoy la consideramos una más entre 100.000 millones de galaxias similares. A la izquierda vemos la Gran Nube y la Pequeña Nube de Magallanes. Cortesía de Roger Smith/NOAO/AURA/NSF.

tos en el sistema solar hasta las fluctuaciones en el brillo procedente del *Big Bang*².

Las ideas sobre un espacio curvo fueron propuestas por Gauss en la década de 1820 y desarrolladas treinta años después por su brillante discípulo y colega en Gotinga, Bernhard Riemann. Como matemático, Riemann no se limitó a razonar sobre espacios bidimensionales como la superficie de una pelota de playa, sino que extendió su pensamiento hacia las propiedades generales de



Figura 1.2. **Karl Friedrich Gauss en el billete de 10 marcos.** Gauss alcanzó un temprano éxito en la predicción de órbitas y se convirtió en director del observatorio de Gotinga. La curva en forma de campana que aparece en el centro del billete describe la probabilidad de obtener, por azar, un resultado experimental que difiera del verdadero valor. Cuando los astrónomos estiman la edad del universo con un margen de incertidumbre, o la probabilidad de que los datos impliquen la existencia de una constante cosmológica, hacen uso de las ideas de Gauss.

la curvatura de espacios matemáticos de tres, cuatro o muchas más dimensiones.

En 1915, Einstein hizo uso de esas ideas sobre espacios curvos para elaborar una nueva teoría de la gravitación. En la relatividad general einsteniana, la presencia de materia y energía da lugar a un espacio-tiempo tetradimensional y afecta al modo en que la luz viaja a través del universo. Las matemáticas que habían desarrollado los matemáticos para sí mismos eran justo la herramienta que Einstein necesitaba para describir el mundo físico. La gravedad aquí, donde vivimos, es débil y nuestro sistema solar, muy pequeño; por ello, la curvatura del espacio introduce sólo sutiles diferencias, igual que la curvatura de la Tierra sólo produce minúsculas anomalías cuando trazamos un campo de béisbol. Pero, a distancias cósmicas, la curvatura del espacio sí que tiene trascendencia. La teoría general de la relatividad de Einstein describe el modo en que la materia y la energía curvan el universo y cómo el contenido de ese universo le

hace expandirse o contraerse a la más grande escala imaginable. Gracias a las estrellas explosivas, al residuo de calor procedente del *Big Bang* y a una tupida red de conocimientos físicos, tejida a través de los siglos, vislumbramos hoy por primera vez la historia y la geometría cósmicas.

Nadie tiene que construir desde cero esa imagen del universo: la ciencia nos permite acumular el conocimiento de grandes cerebros del pasado, como los de Gauss y Einstein, colaborar y competir con nuestros contemporáneos y utilizar tecnologías en rápida evolución para analizar ingentes cantidades de datos. Puede que otras facetas de la cultura no hayan avanzado sensiblemente desde la época de Shakespeare, Mozart o Rembrandt, pero la ciencia actual es claramente superior a la de los siglos pasados, e incluso a la de la década anterior. Podemos emplear las buenas ideas o las medidas procedentes del pasado porque los científicos publican sus hallazgos en revistas serias y rigurosamente editadas. En nuestras exploraciones disponemos de nuevas y precisas herramientas, como el telescopio espacial Hubble (TEH), cámaras electrónicas gigantes y potentes ordenadores. En este sentido, hasta la gente de la calle puede obtener hoy medidas mucho mejores que las que Galileo, Newton o Hubble tuvieron nunca a su alcance. Pudiendo acceder a la obra de Einstein y disponiendo de nuevos y poderosos medios de observación, muy malos astrónomos tendríamos que ser si no hiciéramos algunos progresos en el conocimiento de la historia del universo.

Podemos desentrañar el universo porque las leyes físicas descubiertas en la Tierra siguen siendo válidas en lugares remotos. La gravedad que acelera los vagones de una montaña rusa (y a sus divertidos ocupantes) en el Paseo Marítimo de Santa Cruz no es sino una manifestación local de la gravitación universal que mantiene a los planetas y asteroides en sus órbitas, gobierna los movimientos de las estrellas en los cúmulos y galaxias y determina si el universo se expandirá o no eternamente. Los átomos de calcio, ya se hallen en nuestro fémur, en la atmósfera del Sol o en la de una estrella lejana, son unidades intercambiables gobernadas por fuerzas eléctricas que interaccionan mediante las mismas leyes de la mecánica cuántica. El modo en que un átomo emite o absorbe luz en el tubo fluores-

cente que ilumina la sala de control de un telescopio es idéntico al de un átomo similar en una estrella explosiva. Es posible averiguar qué elementos químicos están presentes en una estrella y cómo se mueve ésta capturando su luz con un telescopio y analizando cuidadosamente su espectro. Otras leyes físicas menos conocidas, descubiertas en los aceleradores de partículas situados en la Tierra, controlan las fuerzas débil y fuerte que determinan la forma en que están ensambladas las partículas subatómicas y cómo se atraen o repelen unas a otras. Esas leyes físicas, combinadas con la imaginación humana y auxiliadas por las observaciones astronómicas, nos dicen por qué brillan las estrellas y qué es lo que hace que algunas hagan explosión como supernovas, y nos permiten interpretar esos vestigios del pasado que un universo expansivo y caliente ha ido dejando tras de sí.

A pesar de los grandes éxitos alcanzados, la imaginación humana es débil. El universo es más estrambótico de lo que nos cabe imaginar: siempre subestimamos su rareza. Así, la astronomía no es exactamente una ciencia experimental dedicada a comprobar las sesudas predicciones de una teoría física. La astronomía es una ciencia impulsada por los descubrimientos, pues los objetos que observamos son más extraños y exóticos de lo que predeciría la especulación más desenfadada. Donde los efectos físicos son simples, la astronomía se asemeja a la física. Por ejemplo, los rescoldos de un *Big Bang* caliente pueden ser detectados en todas direcciones en la forma de un débil siseo de radio que denominamos radiación de fondo de microondas. Las predicciones y medidas de esta radiación proporcionan claras evidencias de la física simple de un *Big Bang* caliente. Pero, cuando los fenómenos tienen demasiadas partes móviles como para permitir un análisis sencillo, las observaciones astronómicas toman el relevo. A medida que el cosmos se hacía más complejo y la materia se aglutinaba en las estrellas, el universo resultaba menos predecible y mucho más interesante. Los mecanismos exactos mediante los cuales las estrellas estallan en explosiones termonucleares no se conocen aún y no pudieron predecirlos ni las mentes más preclaras. Y ahí están esas estrellas que brillan con la luz de mil millones de soles. Pero el hecho de que no sea posible

calcular exactamente la forma en que una llamarada termonuclear destruye una estrella no significa que no podamos medir el comportamiento de las supernovas lo suficientemente bien como para convertirlas en un patrón de medida del tamaño del universo. Los astrónomos están acostumbrados a basarse en evidencias fragmentarias y circunstanciales y en rumores. A menudo no hay modo de realizar un experimento controlado sobre la Tierra para comprobar teorías astronómicas, pero es posible reunir las suficientes evidencias a partir de las observaciones como para concluir que se está en el camino correcto.

La mayor parte de la astronomía aplica leyes físicas conocidas a escenarios astronómicos, pero algunas medidas astronómicas revelan propiedades fundamentales del mundo: las leyes que subyacen tras el comportamiento de la materia y la energía. Los objetos astronómicos crean situaciones que no es posible reproducir en laboratorios terrestres.

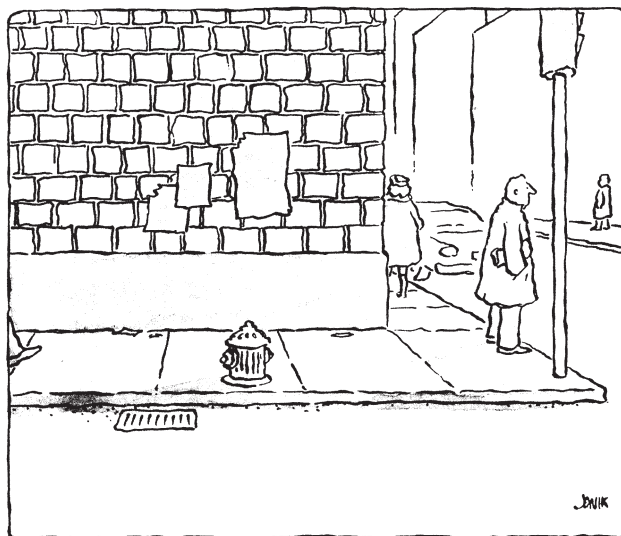
Una propiedad física fundamental que fue descubierta mediante la observación astronómica es el carácter finito de la velocidad de la luz. En 1676, el danés Ole Rømer se hallaba trabajando en París, observando las lunas de Júpiter. Los eclipses de esas lunas, cuando pasaban por detrás del planeta, eran predecibles, pero las medidas presentaban molestos errores estacionales. Rømer disponía de un buen reloj sobre el firme suelo del Observatorio de París. Observó que, en los meses en los que la órbita de la Tierra alrededor del Sol estaba más cerca de Júpiter, los eclipses tenían lugar un poco antes, mientras que el resto del año, cuando nuestro planeta se hallaba más lejos, los eclipses sucedían más tarde. Rømer dedujo que a la luz le llevaba un tiempo atravesar el diámetro de la órbita terrestre. Midió ese tiempo y resultó ser de unos 16 minutos. En los tiempos de Rømer, esta medida fundamental de un efecto físico tan trascendente –el carácter finito de la velocidad de la luz– sólo podía ser realizada mediante procedimientos astronómicos. La luz se desplaza un pie en un nanosegundo, la milmillonésima parte de un segundo³. En la época de los relojes de péndulo no había ningún aparato de laboratorio capaz de medir un intervalo tan corto para distancias accesibles. La velocidad de la luz no fue medida en

laboratorio hasta 1850, fecha en que Fizeau utilizó un ingenioso dispositivo óptico dotado de un espejo que giraba rápidamente. En la actualidad (al menos en 2002), la energía y la presión asociadas al propio espacio vacío no son detectadas por ningún experimento de laboratorio ni son el resultado natural de ninguna teoría física bien establecida. Esta propiedad fundamental sólo se manifiesta en las medidas astronómicas de supernovas lejanas que revelan un universo en aceleración, algo que constituye uno más de los motivos por los que nuestro trabajo es tan apasionante.

La lentitud de la luz proporciona a la astronomía, como la geología, la posibilidad de examinar el pasado. Nunca vemos las cosas como son. Siempre las vemos como eran cuando la luz salió de ellas. Para los objetos de una habitación eso significa algunos nanosegundos atrás. A escala exclusivamente terrestre, es aceptable pensar que vemos las cosas tal como son. Pero a escala astronómica, el tiempo que transcurre durante la travesía de la luz tiene importantes efectos. Nos permite superar la brevedad de nuestras vidas y observar cómo ha cambiado el universo a lo largo de grandes períodos de tiempo cósmico. El hecho de que la luz no viaje instantáneamente convierte a los telescopios en verdaderas máquinas del tiempo⁴. En lugar de ver un instante congelado, un «ahora» a través del espacio, contemplamos una rodaja espaciotemporal: vemos el presente aquí cerca y el pasado cuando miramos a lo lejos. Podemos trazar la historia del universo observando directamente el pasado, limitados tan sólo por la potencia de nuestros instrumentos.

Hasta la fecha, no disponemos de un modo de escudriñar el futuro, pero cabe utilizar las medidas directas del pasado y nuestros conocimientos físicos sobre cómo funcionan las cosas para predecirlo. Las estrellas no predicen nuestro futuro pero, en cambio, nosotros sí podemos predecir el suyo, basándonos en la serie de sucesos que tienen lugar a escala atómica en su seno y que hacen que brillen. En este caso, tales predicciones pueden ser comprobadas, pues contemplamos estrellas de distintas edades y podemos trazar sus ciclos de vida, desde su nacimiento hasta su madurez y su muerte, la cual puede ser tranquila o violenta.

El carácter finito de la velocidad de la luz está implícito en la



THE MILKY WAY
(Detail)

Figura 1.3. En 1917, Einstein fue advertido de que la Vía Láctea era el universo. Confundir una parte con el todo es algo bastante común tratándose de grandes entidades. Copyright © 2002 *The New Yorker Collection* en cartoonbank.com. Reservados todos los derechos.

[LA VÍA LÁCTEA (detalle)]

terminología astronómica: usamos el término «año luz» para expresar la distancia que la luz recorre en un año⁵. El tiempo que tarda en alcanzarnos la luz de una estrella que esté a 100 años luz de la Tierra es exactamente un siglo. Esta noche podemos dar una vuelta y, si está despejado, contemplar estrellas que emitieron su luz antes de que hubieran nacido nuestros padres. La luz procedente de las supernovas más lejanas observadas hasta la fecha contiene información sobre el modo en que el universo se ha estado expandiendo durante los últimos 10.000 millones de años, las dos terceras partes del lapso transcurrido desde el *Big Bang*. Medir la luz de esas estrellas tan lejanas no es fácil –el cielo es brillante, las estrellas son

tenues y hay muchas trampas para los incautos— pero la recompensa por construir una imagen coherente del universo es enorme.

En 1917, cuando Einstein comenzó a relacionar su recién acuñada teoría geométrica de la gravitación con el universo, los astrónomos pensaban que las estrellas de la Vía Láctea eran todo lo que contenía aquél. Hoy sabemos que la Vía Láctea no es todo el universo, sino sólo una pequeña parte de él. Las estrellas se agrupan en colosales galaxias y las galaxias, con más de 100.000 millones de estrellas como nuestro Sol cada una, son las unidades en las que se manifiestan las propiedades subyacentes del universo.

El Sol está situado en uno de los brazos espirales externos de la Vía Láctea, a unos 20.000 años luz de su centro. Todas las estrellas que vemos por la noche pertenecen a la galaxia de la Vía Láctea y muchas de ellas se hallan en esa estrecha y débil franja de luz que los habitantes de las ciudades nunca ven. El gigantesco tamaño de las galaxias significa que muchos acontecimientos trascendentales han tenido ya lugar, pero los desconocemos simplemente porque la información aún no ha llegado hasta nosotros. Andrew Jackson ganó la Batalla de Nueva Orleans (Old Hickory) en 1815, 15 días *después* de que se hubiera firmado la paz con los británicos en Gante, Bélgica. La buena nueva tardó un tiempo en llegarle, así que continuó peleando. El destello de una supernova al estallar en la Vía Láctea viaja a la velocidad de la luz, pero existe un retraso similar debido a la enorme distancia que ésta debe atravesar; ha habido muchas explosiones de supernovas en la Vía Láctea de las cuales todavía no hemos visto el destello. Las supernovas estallan cada 100 años aproximadamente en una galaxia como la nuestra. Como la luz de una supernova puede tardar 20.000 años en alcanzarnos, destellos de cientos de supernovas de nuestra propia galaxia están viajando ahora mismo hacia nosotros como pompas de jabón que crecen a la velocidad de la luz, o como la onda que provoca un pez al saltar en un estanque tranquilo. ¿Llegará a nuestra orilla alguna de esas débiles ondas esta noche? ¿Tendremos la suerte de ver una supernova en nuestra galaxia igual que Tycho Brahe, el último gran astrónomo antes de la invención del telescopio, en 1572? No lo sabemos. *No podemos* saberlo, pues no hay nada que viaje más deprisa



Figura 1.4. **La pareja de galaxias espirales NGC 2207 e IC 2163.**

Las distancias entre las galaxias no siempre son grandes comparadas con el tamaño de las propias galaxias. Estas dos se hallan en colisión. Obsérvese la absorción de luz de una de ellas debida a las estelas de polvo de la otra. Cortesía de la NASA y del Hubble Heritage Team (STScI/AURA). (Véase también la fotografía en color, pág. 337.)

que la luz que pudiera anticiparnos la noticia. La última supernova verdaderamente brillante fue vista en 1987, no en nuestra galaxia, sino en nuestra vecina del sur, la Gran Nube de Magallanes. Personalmente, no me importaría ver otra.

Las estrellas individuales son diminutas comparadas con las distancias que hay entre ellas, sin embargo las galaxias no son tan pequeñas frente a las distancias que las separan. Si imaginamos un modelo a escala en el que una estrella como nuestro Sol tuviera el tamaño de un guisante, las estrellas vecinas estarían a 160 kilómetros. Al ser tan pequeñas frente a la distancia que hay entre ellas, raramente colisionan y nuestra galaxia parece un espacioso lugar con un cielo oscuro. Pero las distancias que hay entre las galaxias, aunque sean un millón de veces mayores, no son tan grandes respecto al tamaño de las propias galaxias. Si imaginamos la Vía Láctea del tamaño de un plato sopero, nuestra vecina más próxima, la gran galaxia de Andrómeda (conocida también como M31, por su lugar en el catálogo de Messier de objetos difusos) estaría a tan sólo tres metros, al otro extremo de la mesa del Día de Acción de

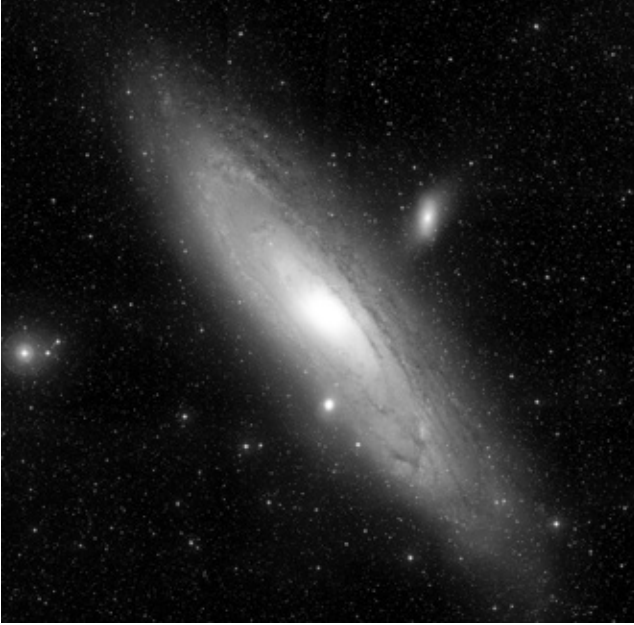


Figura 1.5. **La galaxia espiral vecina M31.** M31 forma parte del Grupo Local de galaxias. En la década de 1920, Hubble observó en esta galaxia estrellas variables cefeidas individuales que parecían hallarse demasiado lejos de nosotros como para pertenecer a la Vía Láctea, por lo que debían formar parte de un sistema lejano de un tamaño comparable al del nuestro. Cortesía de P. Challis, Centro Smithsoniano de Astrofísica de Harvard, procedente del Observatorio Digital del Cielo.

Gracias. Conforme las galaxias se mueven bajo la mutua acción de sus respectivas fuerzas gravitatorias, no es infrecuente que choquen o, incluso, se fusionen. Pero las galaxias experimentan una extraña clase de colisión, completamente distinta de la de dos platos haciéndose añicos junto a la sopera, ya que sigue siendo improbable que las estrellas individuales que constituyen cada galaxia choquen unas con otras. En unos 5.000 millones de años, la Vía Láctea en la que vivimos y la M31, que actualmente se encuentra a unos 2 millones de años luz de nosotros pero que se dirige hacia aquí, entrarán en

colisión. Las estrellas individuales se evitarán unas a otras, como dos enjambres de abejas que se cruzaran.

Las galaxias están distribuidas por todo el universo observable, con separaciones típicas en torno a unos pocos millones de años luz. Son muy sociables; se apiñan formando grupos amplios y densos racimos, dejando grandes vacíos de algunos cientos de millones de años luz entre ellos. La Vía Láctea se halla en un pequeño grupo que denominamos Grupo Local y que incluye a la Pequeña y a la Gran Nube de Magallanes y a las M31 y M33 (otra galaxia espiral vecina), entre otras. El cúmulo de galaxias de cierto tamaño más próximo se encuentra en la dirección de la constelación de Virgo y se denomina Cúmulo de Virgo. Calculando la distancia a partir del brillo aparente de las estrellas que componen sus galaxias, observadas desde el telescopio espacial Hubble, las galaxias del Cúmulo de Virgo están situadas a unos 50 millones de años luz de nosotros. Armados de un pequeño telescopio y en un lugar de cielo oscuro, cabe observar sin problemas esas galaxias, e incluso otras más lejanas, que emitieron su luz cuando los dinosaurios aún dominaban la Tierra.

El límite actual en cuanto a observación lo constituye la imagen denominada «Campo Profundo del Hubble», generada por la superposición de 342 imágenes, tomadas a lo largo de 10 días a finales de 1995, por el telescopio espacial Hubble. Esas horas de observación intensiva de una fracción diminuta del cielo septentrional han producido nuestra imagen más profunda del pasado. El Hubble se halla en órbita en torno a la Tierra por encima de la atmósfera, con lo que puede obtener imágenes libres de la distorsión que produce un aire siempre cambiante. Pero es un telescopio relativamente pequeño; su área es sólo 1/16 de la del mayor de los instrumentos terrestres, por lo que le lleva mucho tiempo recolectar la luz de las tenues y lejanas galaxias. En la imagen del Campo Profundo del Hubble casi todo lo que se ve son galaxias. Las galaxias en primer plano se superponen a las galaxias del fondo y vemos también galaxias colindantes. El Campo Profundo del Hubble es lo máximo que cabe conseguir con la tecnología actual y nos acerca al más profundo de los estratos accesibles de la historia cósmica, a tan sólo 2.000 millones de años del *Big Bang*.

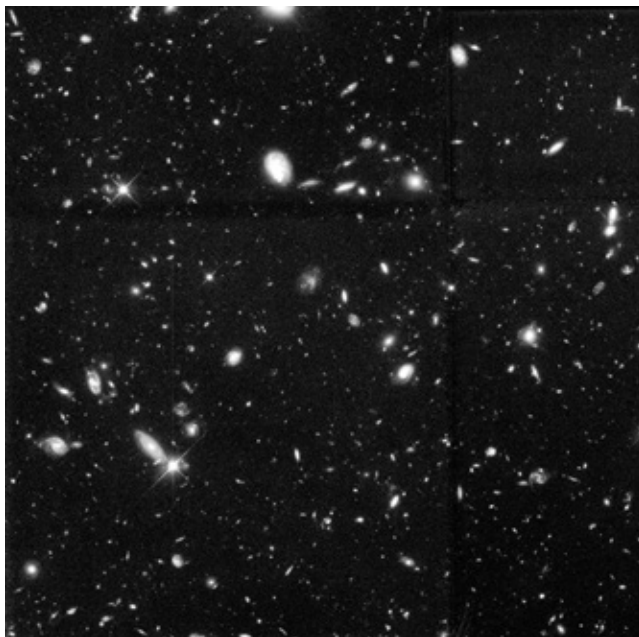


Figura 1.6. **El Campo Profundo del Hubble.** Compuesta por 342 fotografías tomadas durante 10 días a finales de 1995, esta imagen representa el límite de los actuales métodos de observación de objetos jóvenes, débiles y distantes. Casi cada punto y cada mancha en la imagen es una galaxia, cuya luz, en el caso de las más lejanas, ha viajado durante 12.000 millones de años hasta llegar a nosotros. Cortesía de R. Williams/NASA/STScI/AURA. (Véase también la fotografía en color, pág. 338.)

Aún recuerdo la enorme desilusión que sentí cuando, a la edad de 12 años, devoré el grueso volumen de *Las aventuras completas de Sherlock Holmes*. Cuando Holmes recorre el camino de la cascada de Reichenbach hacia su mortal encuentro con Moriarty, sentí una juvenil tristeza por la muerte del hombre más honrado y sagaz que el doctor Watson (y yo) habíamos conocido. Pero lo peor fue la sensación de «¿y eso ha sido todo?».

En cierto sentido, el Campo Profundo del Hubble evoca también un sentimiento similar. ¿Eso es todo lo que podemos ver?

Tenemos sólidas razones para pensar que el universo tiene unos 14.000 millones de años, con lo que el objeto más lejano que cabría la posibilidad de observar emitió su luz hace exactamente ese tiempo. Dicho de otra manera, el tiempo finito transcurrido desde el *Big Bang* y la velocidad finita de la luz imponen un límite natural a nuestro conocimiento del universo –el fragmento que podemos observar tiene *sólo* 14.000 millones de años luz de radio–. Los fotones procedentes de algunos de los objetos que aparecen en el Campo Profundo del Hubble fueron emitidos hace unos 12.000 millones de años. Así pues, ¿eso es todo? ¿Hemos alcanzado el límite de lo cognoscible (o, al menos, 12/14 de ese límite)?

Por otra parte, resulta un poco decepcionante vivir en un universo tan pequeño y apretado. Si la distancia típica entre galaxias es de unos pocos millones de años luz, imaginando cada galaxia del tamaño de un plato sopero, viviríamos en un universo observable de tan sólo 32 kilómetros en cualquier dirección. El universo observable parece un tanto abarrotado; se asemeja más a Hong Kong que al estado de Montana.

Sin embargo, en *Las aventuras completas de Sherlock Holmes* aún me quedaban más de cuatrocientas páginas por leer. Ello era, sin duda, una pista de que Conan Doyle se apiadaba del lector y aún había Sherlock Holmes para rato. Del mismo modo, una breve reflexión nos demuestra que aún nos queda mucho por leer en el texto cósmico. La imagen del Campo Profundo del Hubble fue registrada en una gama de colores que abarca poco más de lo que nuestros ojos son capaces de ver. Pero, a medida que penetramos el cielo en busca de galaxias y supernovas lejanas, remontándonos también en el tiempo cósmico, la longitud de onda de la luz emitida por la primera generación de objetos del universo se habría visto alargada por la expansión cósmica hasta quedar fuera del campo de visión del telescopio espacial, desplazada a la banda correspondiente al infrarrojo.

Es como cuando se llega tarde a una película. Odio esa sensación. Te pierdes todos los mensajes codificados en los títulos de crédito y los antecedentes de la acción; en el universo, esto significa el origen de la expansión, la condensación del helio, la formación de los primeros objetos, las explosiones de las primeras estrellas y el comienzo

de los cambios químicos que dan lugar al rico y variado mundo en el que vivimos, incluyendo el carbono, el oxígeno, el calcio y el hierro de nuestros cuerpos. Gran parte de esos sucesos tuvo lugar aún más atrás en el pasado de lo que cabe esperar ver con instrumentos que operan en las longitudes de onda visibles en las que trabajan nuestros ojos, a las que la atmósfera de la Tierra es transparente y en las que el Hubble ha realizado la mayor parte de sus observaciones.

El telescopio espacial Hubble no está diseñado para ver la primera luz de los objetos del universo primitivo. Si deseamos contemplar la escena inicial, necesitaremos construir un instrumento similar que trabaje a longitudes de onda más largas, en el infrarrojo: el telescopio espacial de la próxima generación. Y en ello estamos.

Si queremos ver el resplandor del propio *Big Bang*, debemos examinar longitudes de onda todavía mayores, allí donde trabaja la radio y ninguno de nuestros sentidos. Y, desde 1965, hemos estado haciendo eso también. Pero la mayor parte del universo es invisible, aun dotados de todos nuestros medios técnicos. Sabemos que está ahí porque observamos sus efectos, pero no podemos medirlo directamente. El universo que vemos está gobernado por el universo que no vemos: la materia oscura, que no es como los neutrones y protones de los que están hechos nuestros cuerpos, y la enigmática energía oscura, que se manifiesta en la desenfrenada expansión del universo.

Podemos construir una imagen coherente del universo mediante la observación astronómica y la teoría física. Ambas son caminos difíciles, llenos de pasos en falso, largos períodos de extenuante trabajo y cortos destellos de satisfacción. La ciencia no es una vasta enciclopedia, es una pequeña llama de razón avanzando a través de enormes campos de ignorancia. Descubrir cómo funciona el mundo es una aventura. Puede que seamos diminutos y efímeros, pero tenemos la suerte de estar aquí en un momento en el que los avances técnicos arrojan nueva luz sobre las viejas cuestiones humanas acerca del pasado y el futuro del universo. Las supernovas son nuestro método de investigación y la energía oscura, la víctima. ¡El juego ha comenzado!